

# II

## Fundamentos de riego





## Definición de Riego

Se entiende por riego como la aplicación oportuna y uniforme de agua al perfil del suelo para restituir en éste el agua consumida por evapotranspiración de los cultivos entre dos riegos consecutivos (Villalobos, 1999).

El riego presurizado es aquel sistema capaz de distribuir el agua hasta los puntos de emisión mediante una serie de tuberías colocadas en el terreno las cuales para su diseño nos basamos en la teoría de la mecánica de fluidos incompresibles. En relación a la forma de aplicación del agua en el suelo, ésta se puede hacer mediante una simulación de lluvia como es el caso de los sistemas de aspersión, otra forma de hacer la aplicación es de forma localizada como en goteo y microaspersión, en la cual el agua solo es aplicada en cierta fracción del terreno.

Al hablar de riego por superficies o por gravedad nos estamos refiriendo a una metodología del riego que consiste en cubrir toda o parte de la superficie del suelo con una lámina determinada de agua que al ser derivada escurre por influencia de la gravedad inundando las fracciones de finca que se desee. En estos sistemas la finalidad es cubrir el suelo con un caudal que no supere su velocidad de infiltración, pero que no cauce problemas de erosión y que produzca una distribución adecuada del agua por todo el área y perfil del suelo.

## El plan Riego

El plan de riego consiste en la estrategia que se emplea para cubrir todo déficit hídrico que se pueda tener durante el ciclo de un cultivo. Es importante en el plan de riego definir los estudios preliminares

que debemos de realizar, seleccionar el método de riego más adecuado para nuestras necesidades y disponibilidades y elaborar los calendarios, organigramas y demás ayudas que preparen al personal para la realización de las operaciones de riego.

En general, un plan de riego está fundamentado en la realización de una serie de estudios básicos que nos brinda las postulaciones y datos para la realización de un diseño, más específicamente está constituido por los siguientes ítems:

### **Estudios Edafológicos:**

El suelo es fundamental para entender la relación que juega el agua con el desarrollo de la planta, por lo que es importante conocer las características físicas y químicas del suelo a un perfil no menor que a la profundidad efectiva de raíces, así como conocer la conformación superficial del suelo y las características ecológicas del entorno, con el fin de definir un adecuado balance de relación suelo-agua-planta, equilibrio que se alcanza con el diseño y las correcciones propuestas a partir de las evaluaciones que le hagamos al sistema.

Al realizar un estudio edafológico con fines de riego se determina la capacidad del suelo para servir como reservorio, la capacidad de este para retener humedad, la velocidades de penetración del agua (infiltración) y la velocidad de movimiento del agua en los perfiles del suelo (conductividad hidráulica), todo para establecer las posibles áreas de cultivo y los métodos de aplicación de agua entre otros

## La textura

Se refiere a las proporciones porcentuales de los componentes minerales de un suelo menor de 2 mm, es decir la arena, limo, arcilla. La importancia del conocimiento de la textura radica en que esta nos permite deducir ciertas características físicas del suelo como aireación, infiltración, adhesividad entre otras.

Cuadro 2.1. Partículas de suelo menores a 2 mm

Partícula	Diámetro (mm)
Arena	0.02 - 2.0
Limo	0.002 - .02
Arcilla	<.002

Normalmente los expertos en suelos desarrollan la habilidad de determinar la textura utilizando el tacto, mas existen métodos como el de Boyoucos que nos permite determinar la textura en un laboratorio. En este método se procede a la sedimentación diferenciada en el tiempo, de las partículas de arena, limo y arcilla las cuales se decantan a diferentes momentos como consecuencia a sus diferencias en peso.

El método de Bouyoucos consiste en calcular la cantidad de sólidos en suspensión a determinados intervalos de tiempo utilizando el hidrómetro (el cual funciona como un densímetro), las proporciones de las partículas se determinan con las siguientes fórmulas<sup>1</sup> que

---

<sup>1</sup> Las ecuaciones para la determinación de los porcentajes de arena, limo y arcilla fueron deducidas para muestras de 40 gr. de suelo en 1 litro de agua. Esta relación debe de respetarse. Además para este

siguen la Ley de Stoke, se refiere a la caída de una partícula dentro de un fluido:

$$\%arena = 100 - \left( \frac{lect.hidrometro_{40segundos}}{peso.muestra} \right) * 100 \dots (1)$$

$$\%arcilla = \left( \frac{lect.hidrometro_{2horas}}{peso.muestra} \right) * 100 \dots (2)$$

$$\%limo = 100 - \%arena - \%arcilla \dots (3)$$

Nótese que la arena es la primera en decantar por lo que a los 40 segundos el hidrómetro está midiendo la cantidad de arcilla y limo en suspensión; al final de las dos horas las partículas de limo habrán decantado totalmente por lo que la lectura del hidrómetro será la cantidad de arcilla en suspensión.

Una vez que se han determinado las fracciones porcentuales de las partículas se debe observar el diagrama triangular de clases de texturas y en base a él se da el nombre textural que le corresponda a la muestra.

---

procedimiento se debe haber destruido toda la materia orgánica en la muestra de suelo para evitar errores en la lectura del hidrómetro

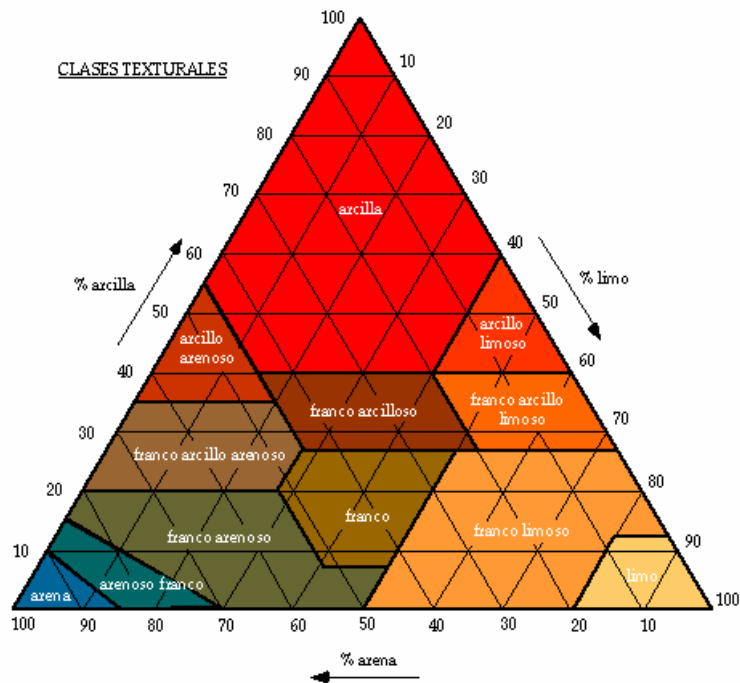


Figura 2.1 Diagrama triangular de clases de textura

### Ejemplo sobre textura

Para la determinación de textura de un suelo, se realizaron los siguientes pasos en el laboratorio:

Se pesó y tamizó 40 gr de la muestra de suelo, esta se agregó en una probeta de 1000 ml con agua y fue agitado fuertemente para luego realizar las siguientes lecturas con el hidrómetro:

Tiempo	Lectura hidrómetro (gr)	Temperatura (°C)
40 Segundos	16	20
2 Horas	4	22

Determinación de la textura utilizando RiegoS:

- 1 Primero, haga clic en el menú principal en la opción de cálculos de textura (*Menú principal / Generales / Textura* )
- 2 Selección la opción de desconocimiento de los porcentajes de partículas (ver Figura 2.2)
- 3 Digite los valores encontrados en la prueba y oprima el botón de Calcular

¿Conoce Usted las relaciones porcentuales de Arcilla, Limo y Arena? ☐ Sí ☒ No

**Datos de laboratorio**

Peso de la muestra  gramos

**40 segundos**  
Lectura del Hidrómetro  Temperatura  ° Celsius

**120 minutos**  
Lectura del Hidrómetro  Temperatura  ° Celsius

Figura 2.2

Los resultados se muestran en las cajas de texto correspondiente, como se muestra en la siguiente figura:



**% de Partículas**

Arena	<input type="text" value="59.6"/>	%
Limo	<input type="text" value="28.5"/>	%
Arcilla	<input type="text" value="12.0"/>	%

**Franco Arenoso**




Figura 2.3

### Peso específico aparente

El peso específico de una muestra de suelos es la relación que existe en peso del suelo seco en la estufa a 110°C durante 24 horas, entre el volumen que este ocupa incluyendo la porosidad la cual sería los espacios vacíos de esta muestra. Normalmente se expresa en  $\text{gr}/\text{cm}^3$

$$Pe = \frac{Pss}{V}$$

donde:

Pe: Peso específico aparente ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

Pss: Peso del suelo seco (gr)

V: volumen ( $\text{cm}^3$ )

Cuadro 2.2. Peso específico aparente promedio

Suelo	Pe (mm)
Arenoso	1.51 – 1.70
Franco	1.31 – 1.50
Arcilloso	1.00 – 1.30

### Porcentajes de humedad en el suelo

Para determinar el contenido de humedad en el suelo usualmente se expresa en porcentaje, este puede ser *porcentaje de humedad gravimétrica*, el cual es la relación del peso de un volumen de agua en una muestra de suelo entre el peso del suelo peso seco de la muestra,

$$\left( \frac{P_{sh} - P_{ss}}{P_{ss}} \right) * 100 = HG \quad ....(4)$$

Donde:

HG: Humedad gravimétrica (%)

Psh: Peso del suelo húmedo

Pss: Peso del suelo seco

Mientras que el *porcentaje de humedad volumétrica* es la relación de la humedad gravimétrica por la densidad relativa del suelo:

$$HV = HG * \left( \frac{Pe}{Pe_{(h_2O)}} \right) \quad ....(5)$$

Donde:

HV: Humedad volumétrica (%)

Pe: Peso específico aparente

Pe<sub>h2O</sub>: Peso del específico del agua

### Ejemplo de humedad en el suelo

Se desea conocer el peso específico, así como el porcentaje de humedad gravimétrica y volumétrica de una muestra de suelo que presenta las siguientes características:

Peso del suelo seco = 600 gr

Peso del suelo húmedo = 750 gr

Volumen de la muestra = 400 gr

Resolución utilizando RiegoS:

1 Primero, haga clic en el menú principal en la opción de cálculos edafológicos (*Menú principal / Generales / Parámetros Edafológicos*)

2 Seleccione la opción de calculo para humedad en el suelo (ver Figura 2.4)

3 Cargue en las cajas de texto correspondiente los valores de pesos de suelo seco, peso del suelo húmedo y volumen de la muestra y oprima el botón de Evaluar

Parámetros Generales del Suelo

Humedad en el Suelo C. C y P.M.P Cálculo de láminas

Humedad en el Suelo

Peso del Suelo Seco 600 gr

Peso del Suelo húmedo 750 gr

Volumen 400 cm<sup>3</sup>

Evaluar

Figura 2.4

Los resultados, inmediatamente se muestra en las cajas de texto correspondiente, como se ve en la siguiente figura:

Peso Específico	% Humedad Gravimétrica	% Humedad Volumétrica
1.5 gr/cm <sup>3</sup>	25.0 %	37.5 %

Figura 2.5

**Potencial hídrico del suelo.**

Al estudiar la humedad del suelo comprendemos que está en función del potencial energético con que el coloide de suelo retiene al agua, esta energía va depender de la atracción de la fase sólida, la concentración de sales y la temperatura; por lo que puede verse el potencial total del agua en el suelo como la suma algebraica del potencial de la fuerza de la gravedad o potencial gravitatorio, del potencial de fuerzas de adhesión cohesión de las partículas o potencial mátrico y potencial de los solutos u osmótico .

$$\psi_s = \psi_m + \psi_o + \psi_g \dots(6)$$

Donde:

$\psi_s$ : Potencial hídrico del Suelo

$\psi_m$ : Potencial mátrico

$\psi_o$ : Potencial osmótico

$\psi_g$ : Potencial gravitatorio

El potencial hídrico del suelo es usualmente dado en unidades de presión, para expresarse de forma equivalente a la presión que necesitaría la planta para extraer el agua al suelo, esto introduce a una clasificación del agua en el suelo según sea:

- *Agua gravitatoria:* Se da cuando el suelo se encuentra saturado (tanto los micro como macro poros del suelo se encuentran llenos de agua). El principal potencial presente es el gravitatorio. Este tipo de humedad en el suelo es considerada como no aprovechable por la planta ya que escurre rápidamente del perfil del suelo. La succión necesaria para la extracción de agua al suelo es igual a cero.
- *Agua a capacidad de campo (CC):* humedad que es retenida flojamente en los microporos del suelo, permitiendo que el suelo reserve por mas tiempo el agua y que las plantas puedan absorberla con poco esfuerzo por lo que es conocida como agua biológicamente útil. La fuerza de retención es de aproximadamente 1/3 de atmósfera.
- *Agua a punto de marchitez permanente(PMP):* es el punto en el cual el valor de la fuerza de retención de humedad del suelo límite, por lo que valores superiores a éste a la planta le sería imposible succionarle el agua al suelo con lo que se marchitaría irreversiblemente. La fuerza de retención es de aproximadamente 15 atmósferas.
- *Agua hidroscópica:* Son valores de retención mucho mayores a los de punto de marchitez permanente por lo que cualquier planta moriría al ser expuestas a este déficit hídrico.
- *Agua Útil:* Se define como la humedad en el suelo que se encuentre entre los valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente  
 $AU = CC - PMP$ .

Usualmente se acostumbra al hablar de CC y PMP definirlos como %HG. Además en forma experimental se ha determinado valores de CC y PMP en función de la textura utilizando las siguientes fórmulas:

$$CC = 0.638 * \%arcilla + 0.2845 * \%limo + 0.0507 * \%arena \quad \dots(7)$$

$$PMP = 0.4897 * CC + 1.1666. \quad \dots(8)$$

Para fines de riego es importante conocer los datos de agua útil, ya que es de nuestro interés mantener los porcentajes de humedad en el suelo dentro de dicho valor, mediante la aplicación de una cantidad de agua que le permita a la planta desarrollarse, lo que se conoce como *lámina de riego*. Este dato depende de la capacidad de reservorio del suelo, el peso específico aparente y la profundidad de raíces,

$$LM = \left( \frac{CC - PMP}{100} \right) \frac{Pe_{suelo}}{Pe_{agua}} * prof.raices \quad \dots(9)$$

Donde:

LM: Lámina máxima (mm , cm, m)

Pe<sub>suelo</sub>: Pesos específicos del suelo (gr/cm<sup>3</sup>)

Pe<sub>Agua</sub>: Pesos específicos del agua (1 gr/cm<sup>3</sup>)

Obsérvese que la lámina tiene unidades lineales y estas va ha depender en que unidades introducimos en la ecuación la profundidad del raíces.

La lámina neta viene a ser la lámina máxima del perfil del suelo multiplicada por un porcentaje de agotamiento, estos nos permita hacer la reposición de agua en el suelo sin tener que esperar hasta el PMP, que como ya se estudio, ocasionaría la muerte del cultivo:

$$Ln = LM * Agotamiento ....(10)$$

Cuadro 2.3 Agotamientos de agua para cultivos (Grassi,1987)

Tipo de Cultivo	Evapotranspiración máxima (mm/día)				
	2	4	6	8	10
Cebolla, Chile, Papa	0.5	0.35	0.25	0.2	0.175
Banano, col, uva, Guisante, tomate	0.675	0.475	0.35	0.275	0.225
Alfalfa, frijol, cítricos, Maní, piña, girasol, sandía y trigo	0.87	0.6	0.45	0.375	0.3
Algodón, maíz, olivo, sorgo, soja, caña, Tabaco	0.875	0.7	0.55	0.45	0.4

Cuadro 2.4 Propiedades físicas, según la textura (Grassi, 1987)

Textura	Peso Específico g/cm <sup>3</sup>	CC % b.s.s	PMP % b.s.s	Lámina Mm/m
Arenoso	1.55-1.80	6-12	2-6	60-100
Franco Arenoso	1.40-1.60	10-18	4-8	90-150
Franco	1.35-1.50	18-26	8-12	140-200
Franco Arcilloso	1.30-1.40	23-31	11-15	160-220
Arcillosoarenoso	1.25-1.35	27-35	13-17	180-230
Arcilloso	1.20-1.30	31-39	15-19	200-250

### Ejemplo C.C. y Punto de Marchites Permanente

De la misma suelo del ejemplo N° 2, se desea conocerle los valores de capacidad de campo y punto de marchites permanente. Recordemos que el suelo es de textura franco arenosa (Arena 59.6%, Arcilla 12%, Limo 28.5 % )

Resolución utilizando RiegoS:

- 1 Primero, haga clic en el menú principal en la opción de cálculos edafológicos (*Menú principal / Generales / Parámetros Edafológicos*)
- 2 Seleccione la opción de calculo para *C.C* y *P.M.P* (ver Figura 2.6)
- 3 Cargue en las cajas de texto correspondiente los valores de porcentaje de las partículas y oprima el botón de Evaluar

Parámetros Generales del Suelo

Humedad en el Suelo C. C y P.M.P Cálculo de láminas

Capacidad de Campo (C.C) y Punto de Marchitez Permanente (P.M.P)

Arena 59.5 %

Limo 28.5 %

Arcilla 12 %

Evaluar

Figura 2.6

Los resultados se muestran en la siguiente figura:

Capacidad de Campo 18.783 %

Pto. Marchitez Permanente 10.365 %

Figura 2.7



## Ejemplo Lámina Máxima y Neta

Se necesita conocer la lámina máxima y neta de un suelo de textura franco arenosa con la siguiente información:

Capacidad de Campo = 18.8 %

Punto de Marchites Permanente = 10.4 %

Peso Específico = 1.5 gr/cm<sup>3</sup>

Profundidad de radicular = 1 m

Agotamiento permisible = 60 %

Resolución utilizando RiegoS:

- \* Primero, haga clic en el menú principal en la opción de cálculos edafológicos (*Menú principal / Generales / Parámetros Edafológicos*)
- \* Seleccione la opción de Cálculo de láminas (ver Figura 2.8)
- \* Cargue en las cajas de texto los respectivos valores y oprima el botón de Evaluar

**Parámetros Generales del Suelo**

Humedad en el Suelo | C. C y P.M.P | **Cálculo de láminas**

Lámina máxima y neta

Capacidad Campo	18.783	%	Profundidad	100	cm
Pto. Marchitez Perma.	10.365	%	Agotamiento	60	%
Peso Específico	1.5	gr/cc	<b>Evaluar</b>		

Figura 2.8

Los resultados se muestran a continuación:

Lámina Neta	Lámina Maxima
7.576	12.627
cm	cm

Figura 2.9

## Infiltración

Infiltración se refiere específicamente a la entrada del agua hacia el interior del suelo por efecto de la gravedad, su movimiento se da tanto en la componente vertical como horizontal. El grado de infiltración se expresa como el volumen por unidad de tiempo entre el área de contacto, simplificándose a unidades de longitud sobre tiempo, o mejor dicho a una lámina por unidad de tiempo. La infiltración por si sola es la única fuente hídrica de provecho para el desarrollo de los cultivos ya sea provista por riego o por lluvia. Son diferentes los factores que rigen en el grado de infiltración, pero principalmente están relacionados con características físicas como: porosidad, compactación, nivel de humedad y otros factores como la temperatura la forma de aplicación del agua, la cobertura, etc...

Al ser un valor tan cambiante a través del tiempo y de las diferentes condiciones, es común expresar la infiltración de diferentes formas, utilizando según el análisis que se desee el modelo de infiltración mas oportuno.

- *Infiltración Instantánea (Ii)*: es la velocidad de infiltración durante un intervalo definido de tiempo, sus valores van decreciendo con el paso del tiempo hasta tender a ser constante, sus unidades se expresan en mm/h ó cm/h
- *Infiltración base (Ib)*: una vez que la infiltración instantánea ha decrecido hasta hacerse constante, el valor de infiltración que leemos es el conocido como infiltración básica o base.

- *Infiltración acumulada (Icum)*: Es la lámina depositada en el perfil del suelo a través del tiempo, su valor crece con el tiempo y sus unidades están expresadas en lámina de agua.

El procedimiento utilizado para calcular infiltraciones instantáneas y acumuladas es el seguido por Kostiakov el cual se basa en calcular las regresiones potenciales de una variable independiente, que en nuestro caso es el tiempo; aquí básicamente se toman registros de infiltración por unidad de tiempo ( $li$ ) versus el tiempo acumulado, para luego encontrar la ecuación de la siguiente forma:

$$li = a * t^b$$

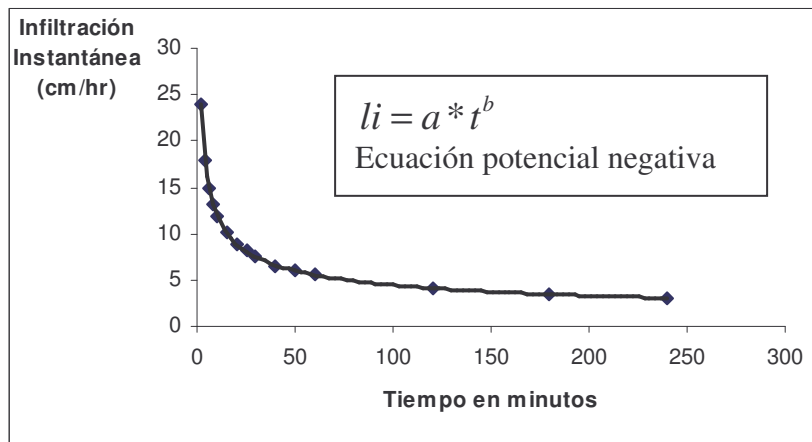


Figura 2.10 Tiempo vrs Infiltración instantánea

se encuentran los valores  $a$  y  $b$  de la siguiente forma:

-Nótese que la ecuación  $li$  es de la forma potencial negativa por lo que su forma lineal se encuentra aplicando logaritmos a ambos lados de sus términos:

$$\log li = \log a + b \log t \quad \dots(11)$$

$$K = \log a \quad \dots(12)$$

$$y = \log li \quad \dots(13)$$

$$x = \log t \quad \dots(14)$$

-aplicando mínimos cuadrados encontramos los valores de b y K con una correlación:

$$K = \frac{\sum y_i \sum x_i^2 - \sum x_i y_i \sum x_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad \dots(15)$$

$$b = \frac{n \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad \dots(16)$$

$$r = \frac{n \sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n \sum x^2 - (\sum x)^2)(n \sum y^2 - (\sum y)^2)}} \quad \dots(17)$$

el valor de “a” lo calculamos de la siguiente forma:

$$a = e^K$$

Una vez que se ha determinado la ecuación de infiltración instantánea (Ii) se procede a determinar la ecuación de infiltración acumulada (Icum), siguiendo la misma metodología, obsérvese que Icum vrs t presentan una relación potencia positiva

$$Icum = A * t^B \quad \dots(18)$$

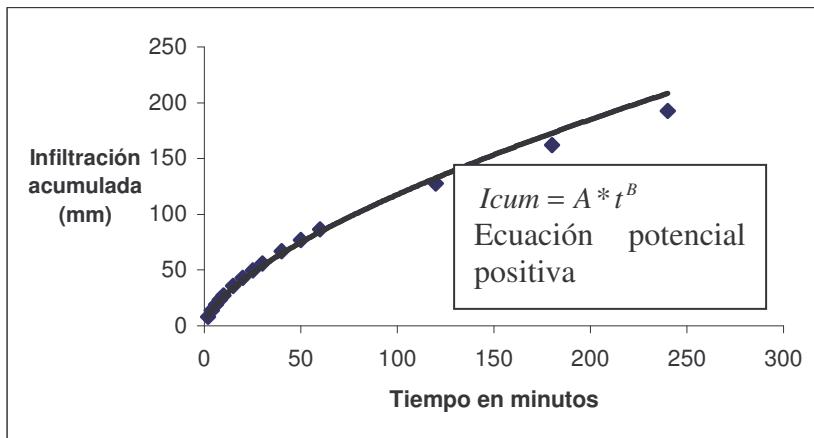


Figura 2.11 Tiempo vrs Infiltración acumulada

por lo que es posible ser resuelto por mínimos cuadrados; otra forma es integrando la ecuación de  $I_i$ , de la cual podemos estimar las constantes A y B de la siguiente forma:

$$A = a/(b+1) \dots (19)$$

$$B = (b+1) \dots (20)$$

Todo siempre y cuando las unidades de todos los términos sean consistentes entre sí.

### Conductividad Hidráulica

La conductividad hidráulica, se define como la capacidad del suelo para transmitir el agua por unidad de tiempo, siempre que el medio se

encuentre saturado. Sus unidades son de velocidad, pero sus valores son tan pequeños que expresan en m/día o cm/hr.

La conductividad de un estrato va a depender de la capacidad de permeabilidad del suelo por lo que factores como: la textura, la densidad del fluido entre otros, van a definir la característica del suelo para movilizar agua, más los valores de conductividad varían con del tiempo, ya sea por efectos de la compactación, deposición de sales en el perfil, formación de galerías por la macro fauna del suelo, etc...

Existen diferentes métodos para su cálculo, pero por asuntos prácticos los de tipo barreno son los más usados.

El método de agujero barreno consiste en cavar un agujero de radio (r) hasta sobrepasar el nivel freático, luego se deprime el nivel de agua en el agujero y se determina el tiempo que se tarda en recuperar a un nivel de referencia; este método es práctico en zonas donde el nivel freático se encuentra a poca profundidad. La conductividad es calculada:

$$K = \frac{4000 * r^2}{(H + 20r)(2 - \frac{y}{H})y} * \frac{\Delta y}{\Delta t} \dots \text{para capa impermeable} > H/2 \dots (21)$$

$$K = \frac{3600 * r^2}{(H + 10r)(2 - \frac{y}{H})y} * \frac{\Delta y}{\Delta t} \dots \text{para capa impermeable} < H/2 \dots (22)$$

Donde:

y = valor medio entre la depresión inicial y la final

H = profundidad de agujero

$\frac{\Delta y}{\Delta t}$  = el cambio del niveles entre un tiempo determinado

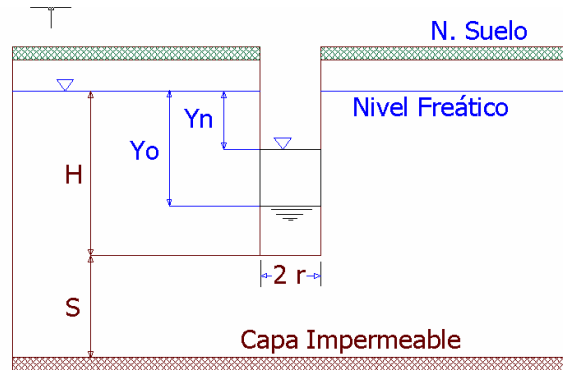


Figura 2.12 Parámetros para determinar la K por el método de agujero barreno

En el método del barreno inverso se cava el agujero se llena con agua y se determina la velocidad de descenso; por su metodología, que no requiere alcanzar el nivel freático, es utilizado en zonas donde la tabla de agua se encuentra gran profundidad.

Matemáticamente el valor de conductividad hidráulica se determina con la siguiente ecuación:

$$K = \frac{r}{2 * (t_2 - t_1)} * \ln \frac{y_1 + \frac{r}{2}}{y_2 + \frac{r}{2}} \quad \dots(23)$$

donde :

$y_1$  = profundidad inicial

$y_2$  = profundidad final

$t_1$  = tiempo inicial

$t_2$  = tiempo final

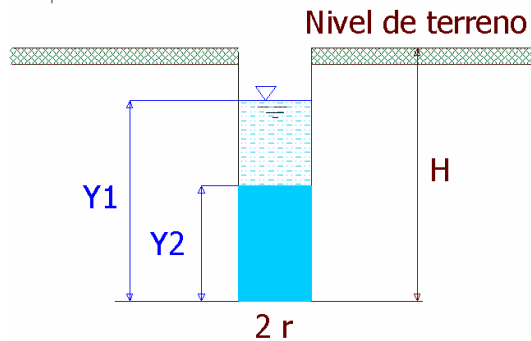


Figura 2.13 Parámetros para determinar la K por el método de barreno invertido.

### Ejemplo Conductividad Hidráulica Método de agujero barreno

En un suelo se realizó la prueba de agujero barreno; determinado diferentes depresiones a cada 25 segundos, se obtuvieron los siguientes resultados:

Radio del agujero = 4 cm

Profundidad del Pozo “H” = 65 cm

Distancia del fondo del agujero al estrato impermeable = “S” 50 cm

Tiempo	Depresión
0	$Y_o = 60$
25	54
50	50
75	46
100	$Y_n = 41$



Resolvemos utilizando RiegoS:

- \* Primero, haga clic en el menú principal en la opción de cálculos de conductividad hidráulicas (*Menú principal / Generales / Conductividad Hidráulica*)
- \* Seleccione la opción de Método de Agujero Barreno (Ver Figura 2.14)
- \* Cargue en las cajas de texto los correspondientes datos y oprima el botón de Evaluar

Figura 2.14

El resultado se muestra en su caja de texto correspondiente, como se muestra en la Figura 2.15:

Figura 2.15

## Ejemplo N° 6

### (Conductividad Hidráulica Método del Barreno Invertido)

Se determino en un suelo, que tenia el nivel freático a una profundidad considerable, la prueba de conductividad por el método de barreno invertido, obteniéndose los siguientes resultados:

Depresión Inicial = 30 cm

Depresión final = 28 cm

Tiempo Inicial = 0 seg

Tiempo Final = 68 seg

Radio del agujero = 4 cm

Resolvemos utilizando RiegoS:

\* Primero, haga clic en el menú principal en la opción de conductividad hidráulica (*Menú principal / Generales / Conductividad Hidráulica*)

\* Seleccione la opción de Método de Barreno Invertido (ver Figura 2.16)

\* Cargue en las cajas de texto los correspondientes datos y oprima el botón de Evaluar

Agujero de barrena		Barreno Invertido			
Método de Barreno Invertido					
Datos de Entrada					
Radio del Agujero (r)	4	cm	Tiempo de la prueba	68	seg
Depresión Inicial (Y1)	30	cm			
Depresión Final (Y2)	28	cm			

Figura 2.16

Los resultados se muestran a continuación:

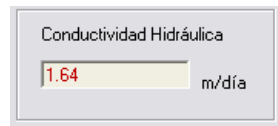


Figura 2.17

## Estudios de Evapotranspiración

La evapotranspiración es la suma del agua consumida por un cultivo por transpiración y del agua evaporado por acción de las energías activas al ciclo climático y a las características geográficas que se tengan. Su estimación se hacen calculando la lámina de agua consumida por unidad de tiempo, estos valores son tan pequeños que se acostumbra expresarse sus unidades en mm/día.

La **evapotranspiración potencial o de referencia (*E<sub>To</sub>*)** es la tasa de evaporación de una extensa superficie de gramilla viva, que sombrea toda la superficie del suelo sin tener éste problemas de escasez de agua.

Existen diferentes métodos para determinarlo, entre ellos tenemos:

- el método de *tanque vaporímetro* el cual consiste en colocar un tanque de hierro galvanizado de 121 cm de diámetro y 25.5 cm de profundidad con agua, montado sobre una plataforma de madera de 15 cm sobre una superficie, ya sea sobre grama o barbecho. En este método los datos de evapotranspiración registrados en el tanque, son evaluados por un factor que integra factores climáticos como la temperatura, humedad relativa, viento entre otros, por lo que los resultados obtenidos suelen ser precisos.

$$E_{To} = E_{tan\ que} * K_{tan} \dots(24)$$

Donde:

Etanque: evapotranspiración registrada en el tanque

Ktan: valor tabulado por la ONU/ FAO para corregir el valor de Etan considerando velocidad del viento, humedad relativa y uso de suelos

Cuadro 2.5 Coeficiente Ktan (tipo A), en función de diferentes parámetros climáticos

Coeficiente Ktan

Tanque ubicado sobre grama de poca altura

Tipo A

Distancia barlovento a la cual cambia Cobertura (metros)	Velocidad media viento (m/seg)	Humedad Relativa media		
		< 40 %	40-70	>70 %
0	< 2	0.55	0.65	0.75
A	2—5	0.5	0.6	0.65
9	5—8	0.45	0.5	0.6
	>8	0.4	0.45	0.5
10	< 2	0.65	0.75	0.85
A	2—5	0.6	0.7	0.75
99	5—8	0.55	0.6	0.65
	>8	0.45	0.55	0.6
100	< 2	0.7	0.8	0.85
A	2—5	0.65	0.75	0.8
999	5—8	0.6	0.65	0.7
	>8	0.5	0.6	0.65
Más	< 2	0.75	0.85	0.85
De	2—5	0.7	0.8	0.8
1000	5—8	0.65	0.7	0.75
	>8	0.55	0.6	0.65

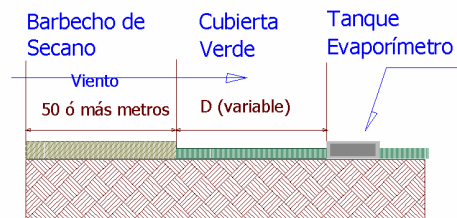


Figura 2.18 Esquema de tanque evaporímetro, Tipo A

Cuadro 2.6 Coeficiente K<sub>tan</sub> (tipo B), en función de diferentes parámetros climáticosCoeficiente K<sub>tan</sub>

Tanque ubicado sobre superficie en barbecho

Tipo B

Distancia barlovento a la cual cambia Cobertura (metros)	Velocidad Media viento (m/seg)	Humedad Relativa media		
		< 40 %	40-70	>70 %
0	< 2	0.7	0.8	0.85
A	2—5	0.65	0.75	0.8
9	5—8	0.6	0.65	0.7
	>8	0.5	0.6	0.65
10	< 2	0.6	0.7	0.8
A	2—5	0.55	0.65	0.7
99	5—8	0.5	0.55	0.65
	>8	0.45	0.5	0.55
100	< 2	0.55	0.65	0.75
A	2—5	0.5	0.6	0.65
999	5—8	0.45	0.5	0.6
	>8	0.4	0.45	0.5
Más	< 2	0.5	0.6	0.7
De	2—5	0.45	0.55	0.6
1000	5—8	0.4	0.45	0.55
	>8	0.35	0.4	0.45

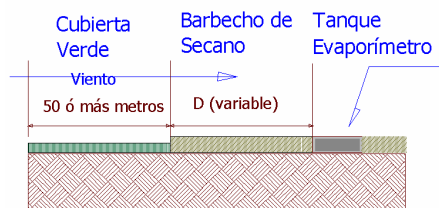


Figura 2.19 Esquema de tanque evaporímetro, Tipo B

- Otro método utilizado es el de *Hargreaves*, el cual se calcula con la siguiente ecuación:

$$ET_o = 0.0023 * Ra * (T_m + 17.8) * \sqrt{\Delta T} \dots (25)$$

Donde:

$ET_o$ =mm/día

$T_m$  = Temperatura media diaria (°C)

$\Delta T$  = Diferencia de temperaturas diarias

$Ra$  = Radiación extraterrestre al tope de la atmósfera en mm/día, es calculado con los cuadros 2.7 y 2.8

**La evapotranspiración real ( $ET_r$ )** es la evaporación de un cultivo específico que se desarrolla con las condiciones precisas de humedad, fertilidad y exenta de enfermedades, por lo que su producción es virtualmente la óptima. Este es un dato que en riego es de gran importancia, ya que nos determina el grado de consumo hídrico de referenciado a la etapa fenológica en que se encuentren las plantas.

El método para estimar la  $ET_r$  es mediante la siguiente fórmula:

$$ET_r = ET_o * K_c \dots (26)$$

donde  $K_c$  es el *coeficiente de cultivo*, este valor es una constante propia para cada etapa de crecimiento de un cultivo específico, su valor nos indica el grado de demanda hídrica que tiene el cultivo según la etapa de desarrollo a que se encuentre. Las principales etapa de desarrollo de los cultivos son:

- Fase inicial: De la germinación hasta que se halla dado el desarrollo vegetal del 10%

- Fase de desarrollo: Se da hasta que se alcance el 70- 80 % de la cobertura superficial, en esta etapa se alcanzan los máximos valores
- Fase mediada del periodo: Se extiende desde la etapa anterior hasta la maduración del cultivo, dentro de esta etapa se encuentra la floración y fructificación.
- Fase de final: se extiende prácticamente hasta la cosecha.

Otra forma de ver el  $K_c$  es como la relación que existen entre la evapotranspiración real entre la potencial:

$$K_c = \frac{ET_r}{ET_o} \dots (26)$$



Cuadro 2.7

Radiación Extraterrestre (mm/día) para el Hemisferio Norte  
 Tabulado por mes y latitud para el método de Hargreaves

Lat	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
50	3.8	6.1	9.4	12.7	15.8	17.1	16.4	14.1	10.9	7.4	4.5	3.2
48	4.3	6.6	9.8	13.0	15.9	17.2	16.5	14.3	11.2	7.8	5.0	3.7
46	4.9	7.1	10.2	13.3	16.0	17.2	16.6	14.5	11.5	8.3	5.5	4.3
44	5.3	7.6	10.6	13.7	16.1	17.2	16.6	14.7	11.9	8.7	6.0	4.7
42	5.9	8.1	11.0	14.0	16.2	17.3	16.7	15.0	12.2	9.1	6.5	5.2
40	6.4	8.6	11.4	14.3	16.4	17.3	16.7	15.2	12.5	9.6	7.0	5.7
38	6.9	9.0	11.8	14.5	16.4	17.2	16.7	15.3	12.8	10.0	7.5	6.1
36	7.4	9.4	12.1	14.7	16.4	17.2	16.7	15.4	13.1	10.6	8.0	6.6
34	7.9	9.8	12.4	14.8	16.5	17.1	16.8	15.5	13.4	10.8	8.5	7.2
32	8.3	10.2	12.8	15.0	16.5	17.0	16.8	15.6	13.6	11.2	9.0	7.8
30	8.8	10.7	13.1	15.2	16.5	17.0	16.8	15.7	13.9	11.6	9.5	8.3
28	9.3	11.1	13.4	15.3	16.5	16.8	16.7	15.7	14.1	12.0	9.9	8.8
26	9.8	11.5	13.7	15.3	16.4	16.7	16.6	15.7	14.3	12.3	10.3	9.3
24	10.2	11.9	13.9	15.4	16.4	16.6	16.5	15.8	14.5	12.6	10.7	9.7
22	10.7	12.3	14.2	15.5	16.3	16.4	16.4	15.8	14.6	13.0	11.1	10.2
20	11.2	12.7	14.4	15.6	16.2	16.4	16.3	15.9	14.8	13.3	11.6	10.7
18	11.6	13.0	14.6	15.6	16.1	16.1	16.1	15.9	14.9	13.6	12.0	11.1
16	12.0	13.3	14.7	15.6	16.0	15.9	15.9	15.7	15.0	13.9	12.4	11.6
14	12.4	13.6	14.9	15.7	15.8	15.7	15.7	15.7	15.1	14.1	12.8	12.0
12	12.8	13.9	15.1	15.7	15.7	15.5	15.5	15.6	15.2	14.4	13.3	12.5
10	13.2	14.2	15.3	15.7	15.3	15.3	15.3	15.5	15.3	14.7	13.6	12.9
8	13.6	14.5	15.3	15.6	15.0	15.0	15.1	15.4	15.3	14.8	13.9	13.3
6	13.9	14.8	15.4	15.4	14.7	14.7	14.9	15.2	15.3	15.0	14.2	13.7
4	14.3	15.0	15.5	15.5	14.4	14.4	14.6	15.1	15.3	15.1	14.5	14.1
2	14.7	15.3	15.6	15.3	14.2	14.2	14.3	14.9	15.3	15.3	14.8	14.4
0	15.0	15.5	15.7	15.3	13.9	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8

Cuadro 2.8  
Radiación Extraterrestre (mm/día) para el Hemisferio Sur  
Tabulado por mes y latitud para el método de Hargreaves

Lat	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
0	15.0	15.5	15.7	15.3	13.9	13.9	14.1	14.8	15.3	15.4	15.1	14.8
2	15.3	15.7	15.7	15.1	14.1	13.5	13.7	14.5	15.2	15.5	15.1	15.1
4	15.5	15.8	15.6	14.9	13.8	13.2	13.4	14.3	15.1	15.6	15.3	15.4
6	15.8	16.0	15.6	14.7	13.4	12.8	13.1	14.0	15.0	15.7	15.5	15.7
8	16.1	16.1	15.5	14.4	13.1	12.4	12.7	13.7	14.9	15.8	15.8	16.0
10	16.4	16.3	15.5	14.2	12.8	12.0	12.4	13.5	14.8	15.9	16.0	16.2
12	16.6	16.3	15.4	14.0	12.5	11.6	12.0	13.2	14.7	15.8	16.2	16.5
14	16.7	16.4	15.3	13.7	12.1	11.2	11.6	12.9	14.5	15.8	16.4	16.6
16	16.9	16.4	15.2	13.5	11.7	10.8	11.2	12.6	14.3	15.8	16.5	16.8
18	17.1	16.5	15.1	13.2	11.4	10.4	10.8	12.3	14.1	15.8	16.7	17.1
20	17.3	16.5	15.0	13.0	11.0	10.0	10.4	12.0	13.9	15.8	16.8	17.4
22	17.4	16.5	14.8	12.6	10.6	9.6	10.0	11.6	13.7	15.7	17.0	17.5
24	17.5	16.5	14.6	12.3	10.2	9.1	9.5	11.2	13.4	15.6	17.0	17.7
26	17.6	16.4	14.4	12.0	9.7	8.7	9.1	10.9	13.2	15.5	17.1	17.8
28	17.7	16.4	14.3	11.6	9.3	8.2	8.6	10.4	13.0	15.4	17.2	17.9
30	17.8	16.4	14.0	11.3	8.9	7.8	8.1	10.1	12.7	15.3	17.2	18.1
32	17.8	16.2	13.8	10.9	8.5	7.3	7.7	9.6	12.4	15.1	17.3	18.1
34	17.8	16.1	13.5	10.5	8.0	6.8	7.2	9.2	12.0	14.9	17.2	18.2
36	17.9	16.0	13.2	10.1	7.5	6.3	6.8	8.8	11.7	14.6	17.1	18.2
38	17.9	15.8	12.8	9.6	7.1	5.8	6.3	8.3	11.4	14.4	17.0	18.3
40	17.9	15.7	12.5	9.2	6.6	5.3	5.9	7.9	11.0	14.2	17.0	18.3
42	17.8	15.5	12.2	8.8	6.1	4.9	5.4	7.4	10.6	14.0	16.9	18.3
44	17.8	15.3	11.9	8.4	5.7	4.4	4.9	6.9	10.2	13.7	16.8	18.3
46	17.7		11.5	7.9	5.2	4.0	4.4	6.5	9.7	13.4	16.7	18.3
48	17.6	14.9	11.2	7.5	4.7	3.5	4.0	6.0	9.3	13.2	16.6	18.2
50	17.5	14.7	10.9	7.0	4.2	3.1	3.5	5.5	8.9	12.9	16.5	18.2

**Cuadro 2.9**  
**Valores de Kc a ser utilizados en la Método de Hargreaves**

Cultivo	Fase Inicial	Mediados de temporada	Fin de temporada
Alcachofa	0.90-1.00	0.95-1.05	0.90-1.00
Alfalfa	0.40-0.50	1.00-1.40	0.95-1.35
Algodón	0.20-0.50	1.05-1.30	0.30-0.60
Apio	0.25-0.35	1.00-1.15	0.90-1.05
Arroz	1.10-1.15	1.10-1.30	1.10
Avena	0.20-0.40	1.00-1.20	0.20-0.25
Banano	0.40-0.65	1.00-1.20	0.75-1.15
Berenjenas	0.20-0.50	0.95-1.10	0.80-0.90
Calabacitas	0.20-0.40	0.90-1.00	0.70-0.80
Caña de azúcar	0.40-0.50	1.00-1.30	0.50-0.60
Cártamo	0.30-0.40	1.05-1.20	0.20-0.25
Cebada	0.25-0.30	1.00-1.10	0.10-0.20
Cebollas secas	0.40-0.60	0.95-1.10	0.75-0.85
Cebollas verdes	0.40-0.60	0.95-1.05	0.95-1.05
Cereales pequeños	0.20-0.40	1.10-1.30	0.20-0.35
Chile verde pimiento	0.30-0.40	0.95-1.10	0.80-0.90
Cítricos	0.65	0.65-0.75	0.65
Espárrago	0.25-0.30	0.95	0.25
Espinaca	0.20-0.30	0.95-1.05	0.90-1.00
Frijos castor	0.30-0.40	1.05-1.20	0.5
Frijos seco	0.30-0.40	1.05-1.20	0.25-0.30
Frijos verde	0.30-0.40	0.95-1.05	0.85-0.95
Frutales-hoja caduca	0.50	0.85-1.20	0.50-0.85
Frutales con cobertura verde	0.75-0.85	1.10-1.25	0.70-1.10
Girasol	0.30-0.40	1.05-1.20	0.35-0.45
Guisantes	0.40-0.50	1.05-1.20	0.95-1.10
Kiwi	0.30	1.05	1.05
Lechuga	0.20-0.30	0.85-1.05	0.45
Legumbres (pulses)	0.20-0.40	1.05-1.20	0.25-0.30
Lenteja	0.20-0.30	1.05-1.20	0.25-0.30
Linaza	0.20-0.40	1.00-1.15	0.20-0.25

Cultivo	Fase Inicial	Mediados de temporada	Fin de temporada
Maíz de grano	0.20-0.50	1.05-1.20	0.35-0.60
Maíz dulce	0.20-0.50	1.05-1.20	0.95-1.10
Maní (cacahuete)	0.30-0.50	0.95-1.00	0.50-0.60
Melones	0.15-0.40	1.00-1.10	0.30-0.90
Mijo	0.20-0.40	1.00-1.15	0.25-0.30
Olivos	0.60	0.80	0.80
Papas	0.40-0.55	1.10-1.20	0.40-0.75
Pepino	0.20-0.40	0.90-1.00	0.70-0.80
Pistacho	0.10	1.05	0.35
Rábano	0.20-0.30	0.80-0.90	0.75-0.85
Remolacha	0.25-0.40	1.05-1.20	0.25-0.30
Remolacha de azúcar	0.20-0.40	1.05-1.20	0.70-1.00
Repollo	0.30-0.50	0.95-1.10	0.80-0.95
Sandía	0.25-0.50	1.00-1.10	0.20-0.70
Sorgo	0.15-0.40	1.05-1.20	0.30-0.50
Soya	0.30-0.40	1.00-1.15	0.45-0.55
Tabaco	0.30-0.40	1.00-1.20	0.75-0.85
Tomate	0.25-0.50	1.05-1.25	0.60-0.85
Trigo	0.20-0.40	1.00-1.25	0.20-0.30
Uvas de Mesa	0.20-0.50	0.75-0.85	0.20-0.45
Zanahoria	0.40-0.50	1.05	0.75

### Ejemplo Evapotranspiración, Método Hargreaves

Se requiere para fines de riego determinar la evapotranspiración real para un cultivo de caña de azúcar, los datos disponibles son los siguientes:

Latitud = 10° Norte

Mes = Marzo

Temperatura máxima media mensual = 35 °C

Temperatura mínima media mensual = 25 °C

Kc= 1.15

Resolvemos utilizando RiegoS

- 1 Primero, haga clic en el menú principal en la opción de cálculos de ETO y ETR (*Menú principal / Generales / Determinación de ETO y ETR*)
- 2 Seleccione la opción de Método Hargreaves (ver Figura 2.20)
- 3 Cargue en las cajas de texto los correspondientes datos y oprima el botón de Evaluar

Hargreaves





Figura 2.20

Los resultados se muestran en la siguiente Figura:



Método de Hargreaves	
Resultados	
Radiación Extraterrestre	15.21 mm/día
Evapotranspiración del Cultivo de Referencia ETO	5.29 mm/día
Evapotranspiración Real ETR	6.08 mm/día

Figura 2.21

### Ejemplo Evapotranspiración, Método de Tanque Vaporímetro

Se desea conocer la evapotranspiración en una finca que cuenta con una estación meteorológica, la cual registro para cierto período los siguientes datos:

Velocidad media del viento = 5 km/h

Humedad relativa promedio = 55 %

Evapotranspiración del tanque = 5.5 mm/día

Cultivo tomate →  $K_c = 0.85$

El tanque está rodeado a los 25 metros, de grama de poca altura.

Resolvemos utilizando RiegoS:

1 Primero, haga clic en el menú principal en la opción de cálculos de ETO y ETR (*Menú principal / Generales / Determinación de ETO y ETR*)

2 Seleccione la opción de Método Tanque Vaporímetro (ver Figura 3.22)

3 Cargue en las cajas de texto los correspondientes datos y oprima el botón de Evaluar

**Determinación de la Evapotranspiración**

Método Hargreaves Tanque Vaporímetro

Datos climáticos medios y de cultivo

Velocidad del viento: < 7.5 km/h

Humedad Relativa: 40-70 %

Kc: 0.85 Ver Kc

Evapotranspiración registrada: 5.5 mm/día

Ubicación del Tanque

☐ Superficie en barbecho Seco

☒ Superficie verde de poca altura

Distancia a barlovento a la cual cambia la cobertura: 10-99 m

Tanque Vaporímetro

Figura 2.22

Los resultados se muestran en la siguiente Figura:

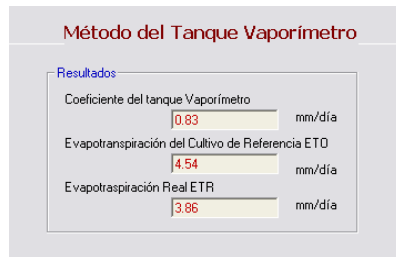


Figura 2.23

## Frecuencia y calendarios de Riego

Como se ha estudiado la lámina neta es la cantidad de agua que agregamos a un cultivo para satisfacer sus necesidades hídricas, además sabemos que esta cantidad de agua es consumida por efecto de la evapotranspiración, partiendo de esto podemos estimar la *frecuencia de riego* como:

$$fr = \frac{Ln}{ETr} \quad \dots(27)$$

No siempre a lo largo del ciclo del cultivo logramos tener condiciones de láminas de agua constante ya que al crecer las raíces aumenta la profundidad efectiva del cultivo, además con el paso de las estaciones del año tampoco la evapotranspiración real se mantiene constante, ya que además de variar ETo también lo hace el Kc. Por esta razón, se debe invertir tiempo en planificar la frecuencia de riego a lo largo del cultivo por lo que es de suma importancia elaborar calendarios de riego los cuales nos permiten

programar a que día y mes se deberá regar y la cantidad de agua aplicar.

### **Ejemplo Calendario de Riego**

Se necesita implementar un calendario de riego para un cultivo de cítricos que será cultivado a partir del 1 de abril y presenta la característica de ser de ciclo anual. Los datos de lámina neta y evapotranspiración real se muestran en la siguiente tabla:

Mes	ETR (mm/mes)	Ln (mm)
Abril	120	42
Mayo	140	84
Junio	140	120
Julio	140	149
Agosto	160	178
Septiembre	160	207
Octubre	140	207
Noviembre	100	207
Diciembre	80	207
Enero	80	207
Febrero	100	207
Marzo	100	207

Resolviendo por RiegoS:

1 Primero, haga clic en el menú principal en la opción de calendario  
(*Menú principal / Generales / Calendario de Riego*)

2 Se debe digitar en el calendario la fecha de inicio del riego. (Ver Figura 2.24)



3 Se introduce en el Grid los valores de Etr y Ln correspondientes a cada mes para luego oprimir el Botón de Calendario

**Calendario de Riego**

Archivo Parámetros Suelo- Clima Otros Menú Principal

**Calendario de Riego**

Seleccione en el calendario la fecha de Inicio del Riego

Introduzca datos:

Inicio del Riego: 1 de Abril del 2005

Oprima Enter para insertar líneas.  
Oprima (\*) para eliminar líneas

Mes	N° días	ETR mm/mes	Lámina mm
Abril	30	120	42
Mayo	31	140	84
Junio	30	140	120
Julio	31	140	149
Agosto	31	160	179
Setiembre	30	160	207
Octubre	31	140	207
Noviembre	30	100	207
Diciembre	31	80	207
Enero	31	80	207
Febrero	28	100	207
Marzo	31	100	207

Calendario de Riego

Mes	día	Lámina
Abril	1	42.0
Abril	10	42.00
Abril	21	42.00
Mayo	1	84.00
Mayo	10	84.00
Mayo	29	84.00
Junio	16	120.00
Julio	4	149.00
Agosto	1	179.00
Agosto	28	179.00
Octubre	1	207.00
Noviembre	14	207.00
Enero	28	207.00

Calcula Limpia Imprimir Menú principal

Seleccione la fecha de Inicio y cargue los valores de de ETr y Ln para los meses de Operación del riego

09/07/2005

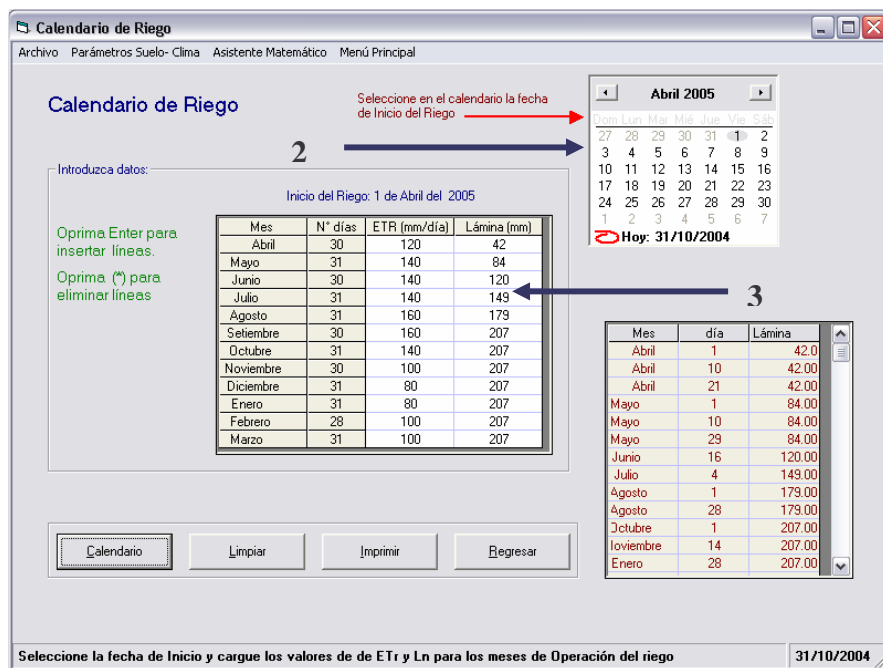


Figura 2.24

El calendario de riego aparece como un cuadro emergente en la esquina inferior izquierda del módulo, como en la siguiente Figura:

Mes	día	Lámina
Abril	1	42.0
Abril	10	42.00
Abril	21	42.00
Mayo	1	84.00
Mayo	10	84.00
Mayo	29	84.00
Junio	16	120.00
Julio	4	149.00
Agosto	1	179.00
Agosto	28	179.00
Octubre	1	207.00
Noviembre	14	207.00
Enero	28	207.00

Figura 2.25