

# CONCEPTOS BASICOS DE RIEGO

## AUTORES

JORGE SANDOVAL H.  
INGENIERO AGRÓNOMO

EDMUNDO VARAS B.  
INGENIERO AGRÓNOMO

## CONCEPTOS BASICOS DE RIEGO

### GENERALIDADES

El agua se encuentra presente en todas las situaciones de la naturaleza, en la atmósfera, el suelo, las plantas, en la cordillera y en el mar. Es factor esencial para la vida y agente dinámico indispensable.

En general, no es un recurso agotable, pero se ha ido limitando a través del tiempo, puesto que con el avance de la tecnología ha crecido la demanda por este bien y no se han incrementado notablemente las fuentes del recurso.

La labor fundamental del hombre consiste principalmente en que tome conciencia del lugar que ocupa el agua en la vida cotidiana y por otra parte, con su tecnología puede manejar los factores que permitan aumentar la captación de este recurso desde sus fuentes originales y luego le de un adecuado y eficiente uso.

Consideremos que más del 80% del peso de una planta es agua; con lo que podemos imaginar la importancia que tiene este bien en los cultivos. La presencia de agua en el suelo es primordial, el cual es inerte cuando está seco; pero a medida que se humedece recobra su dinamismo y vitalidad.

La sumatoria de suelo + agua + planta da interesantes resultados. Es así por ejemplo, que el suelo almacena agua y se la entrega a la planta, esta la absorbe y comienza a experimentar cambios en su metabolismo: existe mayor división y elongación celular, se activan procesos de formación de nuevos órganos (flores, frutos); lo que se traduce en un incremento sustancial de la producción.

No olvidemos que el agua se hace escasa y debemos usarla eficientemente. Debemos adquirir Cultura de Riego, conociendo las distintas metodologías y sus aplicaciones. Es por esto que se hace necesario manejar algunos conceptos básicos del riego, y así conocer el cómo y por qué de una serie de incógnitas del arte de regar.

El uso eficiente del agua de riego, está determinado por factores que intervienen en el suelo, planta, atmósfera y por los de manejo como eficiencias, tiempos y caudales de riego.

## **SUELO**

Un terrón de suelo, está formado por una fase sólida, líquida y gaseosa, donde se producen las reacciones principales para la vida de las plantas. En el suelo intervienen factores que afectan el movimiento y almacenamiento del agua en el perfil. Algunos de estos parámetros son la textura, estructura, propiedades físico-hídricas y penetración del agua en el suelo.

### **Textura**

Los componentes principales de un suelo son arena, limo y arcilla. La proporción en que se encuentran estas partículas se denomina la textura de un suelo. Las arenas son las de mayor tamaño (sobre 2 mm de diámetro), luego los limos (entre 0,2 mm y 2 mm) y las más pequeñas son las arcillas (menor a 0,2 mm) (Figura 1). Cuando los suelos tienen mucha arena y poco o nada de limos y arcillas, se dice que los suelos son arenosos o de textura gruesa. En estos, el agua penetra fácilmente y retienen muy poca agua. Caso contrario ocurre con los suelos que tienen un alto porcentaje de arcillas, donde el agua penetra con baja velocidad y poseen una mayor capacidad para almacenar agua.

La textura de un suelo se puede determinar en el campo al tacto o bien realizando análisis de laboratorio, para lo cual se requieren determinados instrumentos.

En la Figura 2 , se observan las clases texturales básicas, según sea el porcentaje de cada una de las partículas del suelo. Además en el Cuadro 1, se incluyen algunas pautas para estimar en forma global la textura de un suelo realizando pruebas al tacto.

Cuadro 1. Pautas generales para determinar la textura de un suelo.

Textura	Características
Arenoso	Los granos pueden verse o sentirse. Cuando se aprieta en seco, se desmorona al dejar de comprimirlo. En húmedo forma bola que se deshace al tocarla.
Franco Arenoso	Es un poco más cohesivo. Los granos de arena pueden verse o sentirse fácilmente. Al apretar en húmedo forma masa que resiste un manoseo cuidadoso sin romperse.
Franco	Blando y algo arenoso al tacto en seco. En húmedo es ligeramente plástico. Cuando se comprime en seco resiste un manoseo cuidadoso sin romperse. Al comprimir el suelo en húmedo forma masa que no se rompe fácilmente.
Franco Limoso	En seco parece bastante aterronado, pero se rompen fácilmente. Cuando se pulveriza, resulta suave, blanco y harinoso al tacto. Cuando está húmedo es compacto. En seco y húmedo forma masa que puede manosearse sin peligro que se rompa. Al humedecerlo y apretarlo con el índice y pulgar de la mano, no se presenta en forma continua, sino que tiene un aspecto quebradizo.
Franco Arcilloso	Se deshace en terrones duros cuando está seco. Al apretarlo en húmedo entre el índice y pulgar, forma cinta que se rompe fácilmente. Es plástico y forma bola que soporta manoseo intenso.
Arcilloso	En seco forma terrones muy duros. Plástico y pegajoso cuando está húmedo, que cuando se aprieta entre el índice y pulgar de la mano, forma cinta flexible y larga.

Desde el punto de vista hídrico, la textura de un suelo está estrechamente ligada a la capacidad de retención de agua de un suelo, a la cantidad de agua que debe aplicarse a un suelo y a la frecuencia de riego; términos que analizaremos más adelante.

### Estructura

Este concepto se refiere a la forma especial que toman las partículas del suelo (arena-limo-arcilla). Es así que existen estructuras de grano simple, granular, de bloques, laminar, prismática y masiva. Estas afectan directamente la velocidad de infiltración de un suelo, puesto que permiten que el agua pase con mayor o menor rapidez. En la Figura 3, se observan las distintas estructuras que puede tomar un suelo y la rapidez con que penetra el agua en él.

El laboreo excesivo del suelo a una sola profundidad provoca un cambio en su estructura, el que se compacta y disminuye la permeabilidad al agua, aire y penetración de raíces.

La estructura del suelo, puede ser modificada, ya que puede mejorarse o mantenerse mediante rotación de cultivos y oportunos cuidados culturales.

### Densidad aparente

La densidad aparente de un suelo, es el peso de un volúmen de suelo libre de agua, y se expresa en gramos por centímetro cúbico de suelo. Indica cuantas veces más pesado es el suelo seco, comparado con el agua que ocupa el mismo volumen de suelo.

Si un suelo se comprime, aumenta la densidad aparente, disminuye el volúmen poroso y existe mayor proporción de poros pequeños. Por ejemplo, en suelos minerales de textura fina (más arcillosos), la densidad aparente puede variar entre 1,0 y 1,6 gr/cm<sup>3</sup>, en suelos orgánicos con alto contenido de materia orgánica puede llegar incluso a 0,4 gr/cm<sup>3</sup> y en los suelos arenosos varía entre 1,36 - 1,75 gr/cm<sup>3</sup>.

La densidad aparente varía notablemente de acuerdo a la estructura del suelo y va a afectar la penetración del sistema radicular y a las disponibilidades de agua en el suelo.

En el Cuadro 2, se entregan valores de densidad aparente de las principales series de suelo de la IX Región, en las primeras estratas del perfil.

Cuadro 2. Valores de densidad aparente en las primeras estratas del perfil, para las principales series de suelo de la IX Región.

Serie	Densidad Aparente	
	1ª Estrata	2ª Estrata
Metrenco	1.25	1.28
Mininco	1.36	1.44
Victoria	0.95	0.94
Tijeral	1.16	1.16
Temuco	0.93	0.99
Freire	0.98	0.93
Vilcún	0.82	0.73

Fuente: Quiroga G., 1987. Investigación y tecnología en Riego. Informe Final, Convenio INIA - FNDR.

### Capacidad de campo

Se define como el contenido de humedad de un suelo permeable, profundo, y de buen drenaje, días después de un mojamiento pesado, o bien, es la cantidad de agua mantenida en un suelo después que el exceso ha drenado y cuando el movimiento descendente de la misma ha disminuido hasta prácticamente detenerse, lo cual ocurre 2 ó 3 días después de una lluvia o riego en suelos permeables con textura y estructura uniformes.

A este contenido de humedad, la planta puede absorber fácilmente el agua o dicho de otra forma, el 100% de la humedad del suelo está disponible para ser utilizada por las plantas.

El tiempo que demora un suelo en llegar a este contenido de humedad (capacidad de campo), varía de acuerdo a su textura, estructura, uniformidad del perfil, la profundidad de humedecimiento, condiciones de drenaje y contenidos de humedad inicial. Como todos los suelos presentan distintas características, se hace necesario determinar el contenido de humedad a capacidad de campo en condiciones de laboratorio.

#### **Punto de marchitez permanente**

Corresponde al contenido de humedad del suelo, donde comienza la marchitez de la planta y su turgidez no se ve recuperada aunque se añada agua al suelo. Los porcentajes o puntos de marchitez permanente, difieren para los distintos suelos, pero tienen valores aproximados para diferentes plantas en un mismo suelo.

Pueden variar de valores tan bajos como 2% en suelos arenosos, hasta valores de 30% o más en suelos pesados.

Como estos porcentajes difieren de acuerdo al tipo de suelo que se analice, se hace necesario realizar la determinación en condiciones de laboratorio.

En el Cuadro 3, se entregan valores de capacidad de campo y puntos de marchitez permanente en las primeras estratas del perfil para algunas series de suelo de la IX Región.

Cuadro 3. Valores de capacidad de campo y punto de marchitez permanente en las primeras estratas del perfil de suelo, para las principales series de suelo en la IX Región.

Serie	Contenido de Humedad del suelo (% BPS)			
	1ª Estrata		2ª Estrata	
	CC (% BPS)	PMP (% BPS)	CC (%BPS)	PMP (% BPS)
Metrenco	39.73	27.73	34.36	25.86
Mininco	45.50	30.67	32.57	25.93
Victoria	60.34	43.63	70.68	53.42
Tijeral	29.82	16.50	31.84	18.46
Temuco	70.30	43.33	15.38	48.88
Freire	65.74	37.64	74.71	51.32
Vilcún	78.16	49.62	79.28	45.71

Fuente: Quiroga, G. 1987. Investigación y tecnología de Riego, Informe Final, Convenio INIA - FNDR.

El contenido de humedad que se encuentra entre los puntos de capacidad de campo y punto de marchitez permanente, se denomina contenido de humedad disponible en el suelo, para ser utilizado por las plantas, concepto que se detalla en la Figura 4, para las principales series de suelo de la IX Región.

#### Agua retenida en el suelo

El conocimiento de la capacidad de almacenamiento de agua por un suelo, es la base del manejo del riego, ya que representa la cantidad de agua que está siendo retenida en el suelo para su posterior utilización por las plantas.



La altura o lámina de agua aprovechable que existe en un suelo, se puede obtener mediante la siguiente relación:

$$Ha = \frac{CC - PMP}{100} \times Dap \times Ps \quad (1), \text{ donde}$$

- Ha = Altura de agua retenida en el suelo (cm)  
CC = Capacidad de campo (% BPS)  
PMP = Punto de marchitez permanente (% BPS)  
Dap = Densidad aparente del suelo ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )  
Ps = Profundidad del suelo (cm)

La capacidad que tiene un suelo para retener agua, depende fundamentalmente del tipo de suelo, es así por ejemplo que un suelo arcilloso retiene mucho más agua que un suelo franco o arenoso, de esta manera con iguales condiciones de cultivo y demandas de agua; el suelo franco o arenoso debe regarse con mayor frecuencia que un suelo de textura liviana.

En el Cuadro 4, se observa la cantidad de agua retenida por el suelo, en las distintas series de la IX Región.

Cuadro 4. Volúmen de agua retenido en el suelo a 30 cm de profundidad, en las principales series de suelo de la IX Región.

Serie	Altura (cm)	Volúmen ( $\text{m}^3/\text{ha}$ )
Metrenco	3.4	340
Mininco	3.4	340
Victoria	3.1	310
Tijeral	6.2	620
Temuco	4.6	460
Freire	6.9	690
Vilcún	6.3	630

En el Cuadro 5 se entregan pautas generales para estimar la humedad que queda después de un riego de acuerdo al tipo de suelo.

### Velocidad de infiltración del suelo

Se refiere principalmente a la penetración vertical del agua en el perfil de suelo.

En forma cuantitativa, la velocidad de infiltración de un suelo, se puede expresar como la altura de agua que entra a un suelo por unidad de tiempo. Los factores que influyen en la velocidad de infiltración del suelo son principalmente tipo de suelo, contenido de humedad del suelo, cubierta vegetal, estructura y materia orgánica.

Al comienzo de un riego, la velocidad de infiltración es más rápida y a medida que se va saturando, paulatinamente disminuye su valor hasta hacerse constante (Figura 5). Esta disminución se debe principalmente a que baja la gradiente de potencial de humedad del suelo hasta llegar a cero (suelo saturado), por lo que sólo actúa la fuerza gravitacional haciendo constante el valor de la velocidad de infiltración.

### Métodos para determinar la velocidad de infiltración del suelo

#### **Cilindro infiltrómetro doble**

Este método es el más utilizado para determinar la velocidad de infiltración del suelo y consta de dos cilindros (uno de mayor diámetro que el otro), (Figura 6). El cilindro exterior permite uniformar el flujo radial del agua en el suelo. Se vierte una altura determinada de agua en el cilindro interior, se anotan las lecturas de agua infiltrada en ciertos intervalos de tiempo (1-2-3-4-5-10-15-30-60-120-180 min).

Las mediciones de tiempos y alturas de agua infiltrada, se grafican en papel Log-Log, con lo que se obtiene la curva de la velocidad de

infiltración del suelo (Figura 5).

De esta forma la ecuación de la velocidad de infiltración se expresa como:

$$VI = K T^n \quad (2), \text{ donde}$$

VI = Velocidad de infiltración del suelo (cm/min)

K = Constante de la curva de velocidad de infiltración

T = Tiempo de infiltración (min)

n = Pendiente de la curva de VI

Ahora, si deseamos conocer qué altura de agua se ha infiltrado en un tiempo determinado en ese suelo, podemos integrar la ecuación entre los límites  $t = 0$  y  $t = t$ , así se obtiene:

$$I_a = \int_0^t VI dt$$

$$I_a = \frac{KT^{n+1}}{n+1} \quad (3), \text{ donde}$$

$I_a$  = infiltración acumulada (cm)

K = constante de la curva de VI

T = tiempo de infiltración (min)

n = pendiente de la curva VI

### Surco infiltrómetro

En el método de riego por surco, sólo una parte del terreno se encuentra en contacto con el agua, así la infiltración se realiza por el perímetro mojado del surco (sector en contacto con el agua).

La infiltración total del agua depende del espaciamiento entre surcos y de las características de permeabilidad del suelo.

Esta metodología consiste básicamente en determinar las diferencias entre la cantidad de agua que está entrando y saliendo del surco (Figura 7). Así la velocidad de infiltración en un tiempo determinado queda dada por:

$$VI = 360 \frac{(Q_{ent} - Q_{sal})}{L \times E} \quad (4), \text{ donde}$$

- VI = Velocidad de infiltración (cm/min)
- Q<sub>ent</sub> = Caudal aplicado al surco (lt/seg)
- Q<sub>sal</sub> = Caudal de salida del surco (lt/seg)
- L = Largo del surco (m)
- E = Espaciamiento entre surcos (m)

Para determinar la ecuación de la velocidad de infiltración, se toman los datos para diferentes intervalos de tiempo graficando VI versus tiempo.

#### Determinación de humedad de un suelo

A través del tiempo se han ideado una serie de métodos para determinar la humedad que presenta el suelo, ya sea antes o después de aplicado un riego. Dentro de los más comunes se encuentran:

#### **Método gravimétrico**

Es el más tradicional para determinar la humedad de un suelo y consiste básicamente en extraer muestras de suelo en terreno, posteriormente se pesan y se colocan al horno durante 24 horas a 105 °C. La cantidad de agua, en peso, que perdió el suelo, o el contenido de humedad de éste se expresa:

$$\% \text{ BPS} = \frac{SH - SS}{SS} \times 100 \quad (5), \text{ donde}$$

% BPS = contenido de humedad Base Peso Seco (%)

SH = peso suelo húmedo (gr )

SS = peso suelo seco (gr )

### **Método visual**

Es el método más antiguo y consiste en estimar en forma global el contenido de humedad del suelo en base a pruebas de campo. Se hace una inspección ocular y al tacto del terrón de suelo utilizando tablas que sirven como guía de orientación.

La factibilidad de este método está sujeta a la experiencia del observador y al comportamiento que se tenga de las características del suelo en estudio. Se debe tener claro que el muestreo del suelo, debe hacerse en la totalidad del perfil radicular, sobre todo en la zona de mayor concentración de raíces. El Cuadro 5 sirve como guía para estimar en forma preliminar el contenido de humedad de un suelo.

### **Tensiómetro**

Es un instrumento que está constituido por una cápsula porosa y un medidor de vacío (Vacuómetro), conectados por un tubo hueco (Figura 8).

El tubo se llena de agua y a medida que el suelo pierde humedad, el agua sale desde el tubo al suelo por la cápsula porosa, lo que provoca un vacío que se registra en el vacuómetro. El caso contrario ocurre cuando el suelo se moja, ya que entra agua al tubo. Este instrumento permite planificar cuando regar ya que determinados cultivos se deben volver a regar cuando el vacuómetro registre cierto valor.

Debido a que el tensiómetro trabaja con rangos muy limitados de humedad, sólo se utiliza en cultivos más sensibles a la falta de agua en el suelo.

Cuadro 5. Tabla para la estimación de la humedad aprovechable remanente en el suelo.

HUMEDAD APROVECHABLE	TEXTURA GRUESA	TEXTURA GRUESA MODERADA	TEXTURA MEDIA	TEXTURA FINA O MUY FINA
Capacidad de campo 100 %	Al comprimir una bola de suelo, deja huella húmeda en la mano.	Al comprimir una bola de suelo, deja huella húmeda en la mano.	Al comprimir una bola de suelo, deja huella húmeda en la mano.	Al comprimir una bola de suelo, deja huella húmeda en la mano.
75 - 100 %	Tiende a pegarse ligeramente. Permite formación de una bola que se disgrega fácilmente.	Permite formación de una bola que se disgrega fácilmente. No se adhiere a la mano.	Permite formación de una bola que se moldea fácilmente. Muy adhesiva a la mano.	Se forma cilindro con facilidad al amasarla entre los dedos. Muy adhesiva.
50 - 75 %	Seco en apariencia. No se puede formar una bolita al presionarlo.	Al presionarla tiende a formar una bola, pero no mantiene su forma.	Permite formar bolita relativamente plástica. Algo adhesiva al presionarla fuerte.	Se forma bolita o pequeño cilindro al amasarla entre los dedos.
25 - 50 %	Seco en apariencia. No se puede formar una bolita al presionarlo.	Seco en apariencia. No se puede formar una bolita al presionarlo.	Algo desmenuzable, pero se une al someterlo a presión.	Relativamente moldeable, formará bola al presionarla con fuerza.
0 - 25 % 0 % Punto marchitez permanente.	Seco, suelto, granulado, se escurre entre los dedos.	Seco, suelto, se escurre entre los dedos.	Pulverulento, seco, fácilmente desmenuzable.	Duro, compactado, agrietado con terrones en la superficie.

## **Neutrómetro**

Este instrumento es quizás uno de los más sofisticados para determinar el contenido de humedad de un suelo. Presenta una fuente de neutrones en su estructura, la cual los emite a gran velocidad; cuando los neutrones chocan con el hidrógeno del agua, disminuyen su velocidad por lo que pueden ser registrados en un contador (Figura 9). A medida que el suelo es más húmedo el contador marca un mayor número de neutrones.

Para conocer el contenido de humedad del suelo, se hace necesario tomar muestras gravimétricas (Metodo gravimétrico) para calibrar el instrumento.

## **PLANTA**

### **Demanda de agua por las plantas**

Todos los cultivos transfieren agua hacia la atmósfera por medio de sus hojas, lo que se denomina transpiración, fenómeno que unido a la evaporación del suelo y del follaje, recibe el nombre de evapotranspiración o uso consumo del cultivo (Figura 10).

La evapotranspiración de un cultivo, depende de factores del clima, de la planta y del suelo (Figura 11). Durante el año las condiciones climáticas varían, por ende el uso consumo de las plantas también. Por ejemplo, en el período primavera-verano aumenta la temperatura del aire y suelo, se producen vientos de mayor velocidad, aumenta la radiación solar y disminuye la humedad ambiente, lo que ligado a un mayor crecimiento vegetativo y estado de desarrollo del cultivo (floración, fructificación, madurez, etc.), provocan un aumento considerable en la demanda de agua por las plantas.

El estimar estas pérdidas de agua es complejo, ya que se hace difícil medir los distintos parámetros que actúan sobre el cultivo.

Una de las formas más usadas para estimar el uso consumo de los cultivos es relacionarlo en base a la evaporación de bandeja y a un coeficiente de cultivo, que varía en función de la planta, estado de desarrollo de este y de la estación del año que se encuentre. El concepto de evaporación de bandeja se refiere a la cantidad de agua transferida a la atmósfera desde un estanque de evaporación. El material en el cual está confeccionado y sus dimensiones se encuentran estandarizadas hace muchos años y en la mayoría de las estaciones meteorológicas del mundo recibe el nombre de Bandeja de Evaporación Clase A (Figura 12). Por otra parte, el Kc es la relación que existe entre el uso consumo y la evaporación de bandeja. Este coeficiente presenta variaciones a través del ciclo de desarrollo de un cultivo, especialmente cuando estos son anuales o estacionales, ya que aumentan significativamente de tamaño en corto tiempo y se necesita conocer valores de Kc correspondientes a cada período en los que pueda dividirse el ciclo vegetativo (Figura 13). En cultivos permanentes, tales como forrajeras y frutales, los coeficientes de cultivo no cambian considerablemente en el ciclo anual y se puede adoptar un coeficiente único para el cultivo.

En el Cuadro 6 se entregan valores de rangos de variación del Kc en los principales cultivos de la IX Región.

Cuadro 6. Rangos de variación del coeficiente de cultivo (Kc) para los principales cultivos de la IX Región.

Especie	Mínimo	Máximo
Maíz	0.45	1.75
Papa	0.41	1.37
Remolacha	0.49	1.25
Trigo Primavera	0.41	1.32
Espárrago	0.6	0.8
Frambuesa	0.6	0.75
Arándano	Promedio	0.75

$$Kc = \frac{\text{Uso consumo}}{\text{Evaporación de Bandeja}}$$



## **AGUA**

Un manejo adecuado del riego permite aprovechar eficazmente el recurso hídrico y provoca un aumento de la producción del cultivo. Pero es necesario conocer los componentes básicos del manejo para así lograr resultados satisfactorios en un sistema de producción.

### **Eficiencia**

La cantidad de agua que transporta un canal, la que se aplica en el suelo y la que se almacena en éste, nos permite determinar la eficiencia del uso del agua a nivel predial.

### **Eficiencia de conducción**

La cantidad de agua que se capta en una bocatoma debiera ser similar a la que llega al predio, y también a la que se necesita en el potrero a regar. En forma práctica esto no ocurre dado que existen pérdidas en el transporte del agua, debido principalmente al tipo de suelo y condiciones del canal. Se han evaluado niveles de pérdida entre la bocatoma y el predio, del orden del 9-23 % o sea, si un canal capta en su bocatoma 20 lt/seg de caudal ( $72\text{m}^3/\text{hr}$ ), en su trayecto, hasta llegar al predio perdería entre  $155\text{-}398\text{ m}^3$  en un día (Figura 14).

Es necesario conocer qué eficiencia de conducción poseen nuestras fuentes de acceso, ya que así podremos conocer con cuanta agua cuenta el predio.

La eficiencia de conducción se determina por:

$$Efc = \frac{Q \text{ bocatoma}}{Q \text{ potrero}} \times 100 \text{ (6), donde}$$

Efc = Eficiencia de conducción (%)

Q bocatoma = Caudal captado en bocatoma (lt/seg)

Q potrero = Caudal a entrada de potrero (lt/seg)

### Eficiencia de aplicación (EfApl)

Se refiere a determinar qué cantidad del agua aplicada al potrero o sector de riego, va a quedar en la zona radicular.

La eficiencia de aplicación depende del diseño del método de riego, experiencia del regador u operación del equipo de riego, características físicas del terreno, nivel tecnológico, calidad de las estructuras de riego, etc.

La eficiencia de aplicación se puede determinar por la siguiente relación:

$$Efa = \frac{VZR}{VApl} \times 100 \text{ (7) donde,}$$

Efa = Eficiencia de aplicación (%)

VZR = Volumen zona radicular (m<sup>3</sup>)

Vapl = Volumen aplicado (m<sup>3</sup>)

En el Cuadro 7 se entregan los rangos de eficiencias de aplicación de los principales métodos de riego.

Cuadro 7. Rangos de variación de eficiencia de aplicación (Efa), para los distintos métodos de riego.

Método	Eficiencia de aplicación
Tendido	15 - 30
Surcos	40 - 70
Bordes	50 - 70
Aspersión móvil	65 - 80
Aspersión permanente	75 - 85
Micro-jet	80 - 90
Goteo	90 - 95

Fuente: Adaptado de Tosso J. 1988. Riego, elementos fundamentales para su mejor uso.

### **Eficiencia de riego (E<sub>fR</sub>)**

En la práctica de un riego, se debe lograr que se infiltre la altura de agua necesaria para satisfacer los requerimientos de agua de los cultivos. La eficiencia de riego depende fundamentalmente de la velocidad de infiltración del suelo y del tiempo de riego que se aplique. Si por ejemplo mantenemos el agua en un punto por mucho tiempo, lo más probable es que el agua penetre más que la zona radicular y afectará la eficiencia de riego.

Esta eficiencia se puede determinar por la ecuación:

$$E_{fR} = \frac{V_{ZR}}{V_{Def}} \times 100 \quad (8), \text{ donde}$$

E<sub>fR</sub> = Eficiencia de riego (5)

V<sub>ZR</sub> = Volumen zona radicular (m<sup>3</sup>)

V<sub>Def</sub> = Volumen de déficit (m<sup>3</sup>)

El volumen en zona radicular se expresa como:

$$V_{ZR} = I_a \times A_r \quad (9) \text{ donde,}$$

V<sub>ZR</sub> = Volumen zona radicular (m<sup>3</sup>)

I<sub>a</sub> = Infiltración acumulada en tiempo de riego (m) (Ecuación 3)

A<sub>r</sub> = Area a regar (m<sup>2</sup>)

y el volumen de déficit se refiere a la cantidad de agua necesaria para llevar al suelo a capacidad de campo y se determina por:

$$V_{Def} = H_a \times A_r \quad (10) \text{ donde,}$$

V<sub>dDf</sub> = Volumen de déficit (m<sup>3</sup>)

H<sub>a</sub> = Altura de agua retenida en el suelo (m) (Ecuación 1)

A<sub>r</sub> = Area a regar (m<sup>2</sup>)

En el Cuadro 8, se entregan eficiencias de riego para distintos tiempos de riego y alturas de agua aplicar.

Cuadro 8. Eficiencia de riego en un suelo serie Vilcún según tiempo de riego y altura de agua a aplicar.

Tiempos de Riego (min) TR	Altura de Agua a aplicar (cm) H		
	5	10	15
20	47.2	23.6	15.73
40	82.0	41.0	27.33
60	112.4	56.2	37.47
80	141.2	70.6	47.10
100	168.4	84.2	56.13
150	232.0	116.0	77.33

### Frecuencia de riego

Debido principalmente a que las plantas presentan un ciclo vegetativo y reproductivo definido en ciertas épocas del año, se hace necesario aplicar el agua de riego en forma planificada, ya que los estados de floración y fructificación son los más sensibles a la falta de humedad en el suelo. Por otra parte, el período de mayor demanda de agua por los cultivos coincide con los períodos de menor abastecimiento desde la atmósfera (primavera-verano) por lo que los cultivos deben regarse en forma más continua.

La frecuencia de riego se refiere al intervalo en días que pasa entre un riego y el otro, de acuerdo a los requerimientos hídricos del cultivo y a la capacidad de retención del suelo.

La frecuencia de riego está sujeta además, a un criterio de riego o umbral de riego, el cual varía entre 0,4 - 0,6. Dicho de otra forma, se volverá a regar cuando se ha agotado entre un 40 a 60% de la humedad que retiene el suelo.

Se determina de acuerdo a:

$$FR = \frac{Ha \times Cr}{\text{Uso consumo}} \quad (11), \text{ donde}$$

FR = Frecuencia de riego (días)

CR = Criterio de riego (0,4 - 0,6)

Ha = Altura de agua aprovechable (mm) (Ecuación 1)

UC = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

El uso consumo se determina por:

$$UC = EVb \times Kc \quad (12), \text{ donde}$$

UC = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

EVb = Evaporación de bandeja (mm/día)

Kc = Coeficiente de cultivo (Cuadro 6)

### **TIEMPO DE RIEGO**

Los tiempos de riego juegan un papel fundamental en la infiltración de agua en el suelo, puesto que ésta es mayor a medida que aumenta el tiempo de aplicación del agua en un punto.

El tiempo de riego va a variar en función de la altura de agua que se desee reponer y a la velocidad de infiltración que tenga el suelo. En suelos arcillosos o sea con bajos valores de velocidad de infiltración, el agua debe permanecer un mayor tiempo en el suelo que en uno arenoso, para obtener una determinada altura de agua infiltrada.

El tiempo de riego se calcula en base a la velocidad de infiltración del suelo.

$$TR = \left[ \frac{Ha (n + 1)}{K} \right]^{1/n + 1} \quad (13), \text{ donde}$$

TR = Tiempo de riego (min)

Ha = Altura de agua a reponer (cm) (Ecuación 1)

n = Pendiente de curva de VI (Ecuación 3)

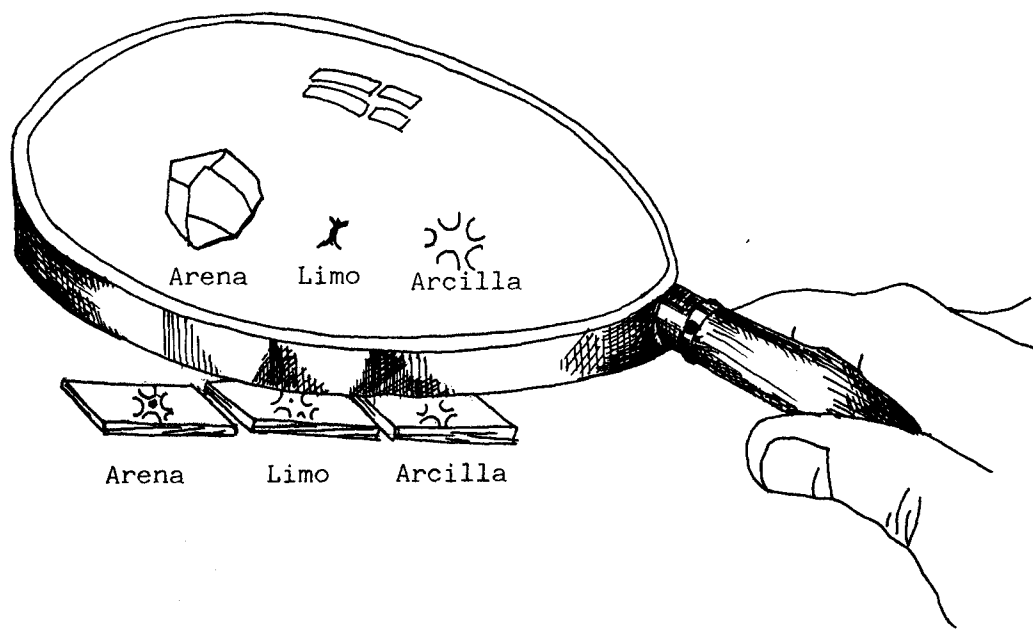
K = Constante de la curva de VI (Ecuación 3)

### CAUDAL

El concepto de caudal se refiere al volúmen de agua por unidad de tiempo, ya sea que se esté aplicando, infiltrando o escurriendo superficialmente. Es muy importante conocer el caudal con que dispone el predio, de modo que así se pueda planificar y manejar eficazmente el riego. Por otra parte, el caudal debe ser lo suficiente como para regar la totalidad de la superficie, de otro modo quedarán áreas que no se regarán o lo harán ineficientemente.

Dentro del punto de vista del manejo del riego, el caudal a aplicar debe ser el máximo permisible, de modo de no provocar erosión del suelo y pueda ser controlado por el operador.

En general, los caudales a aplicar se determinan en base a la pendiente del terreno y deben ser menores en terrenos con excesivo desnivel que para pendientes más suaves. Durante el riego, el caudal que se aplique debe ser similar al caudal que se está infiltrando en el suelo, de modo que se minimicen las pérdidas por escurrimiento superficial (Figura 15).



Arena = + 2.0 mm  
Limo = 2.0 - 0.02 mm  
Arcilla = - 0.02 mm

Figura 1. Esquema que visualiza las diferencias de tamaño de las partículas de un suelo.

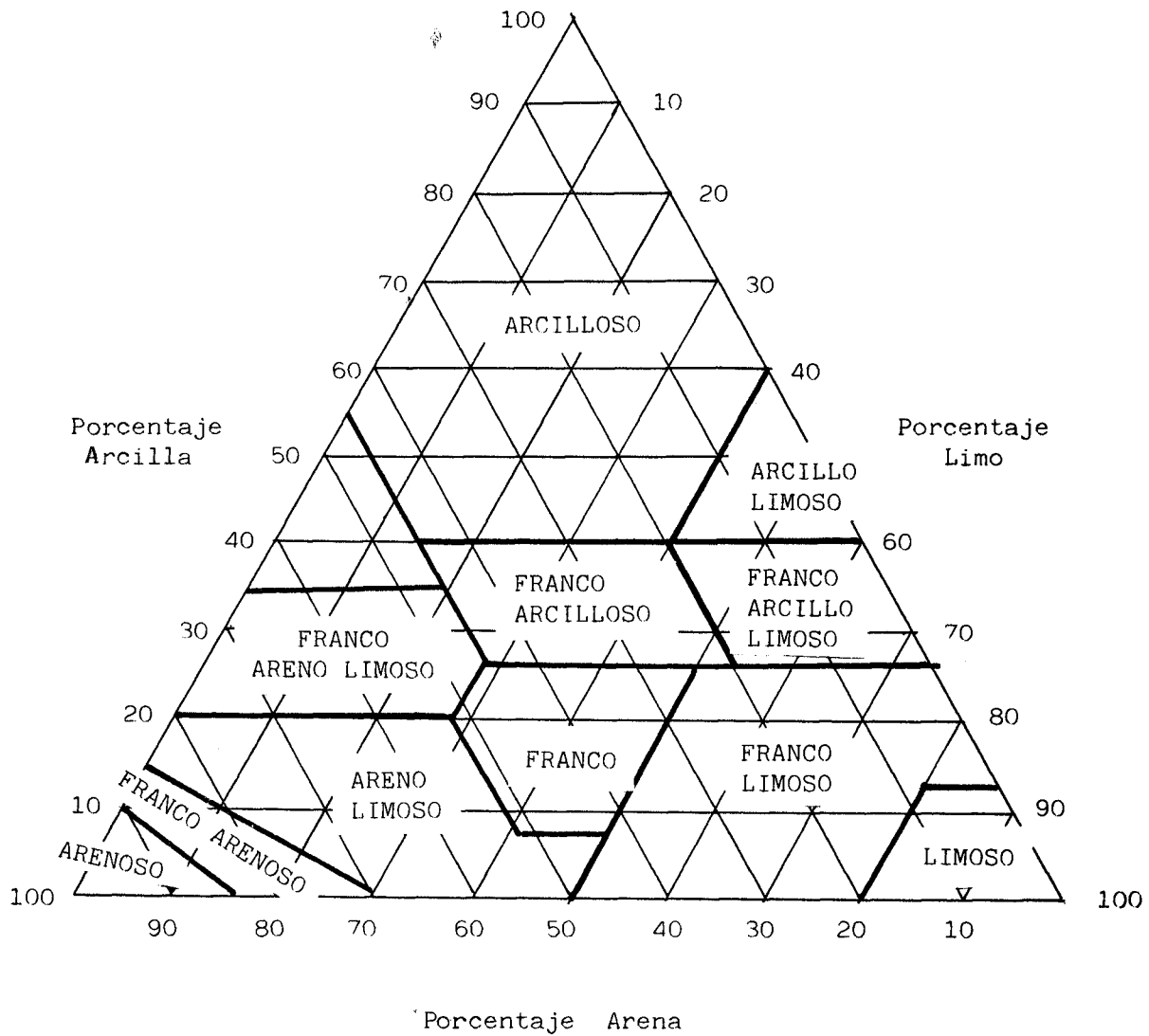


Figura 2. Proporciones de arena, limo y arcilla en las clases texturales básicas. (USDA)



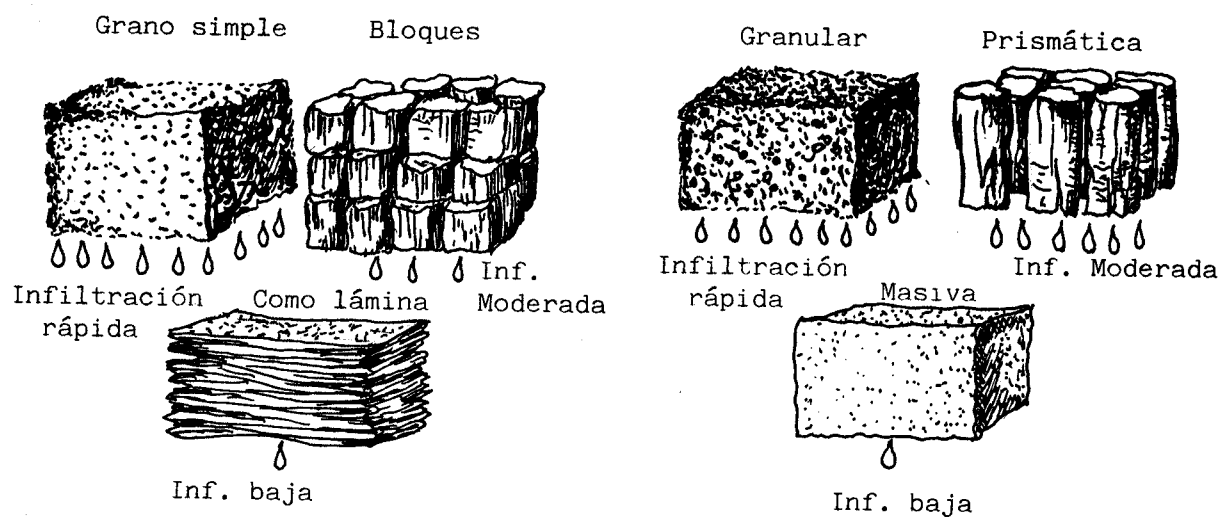


Figura 3. Distintas estructuras de un suelo.

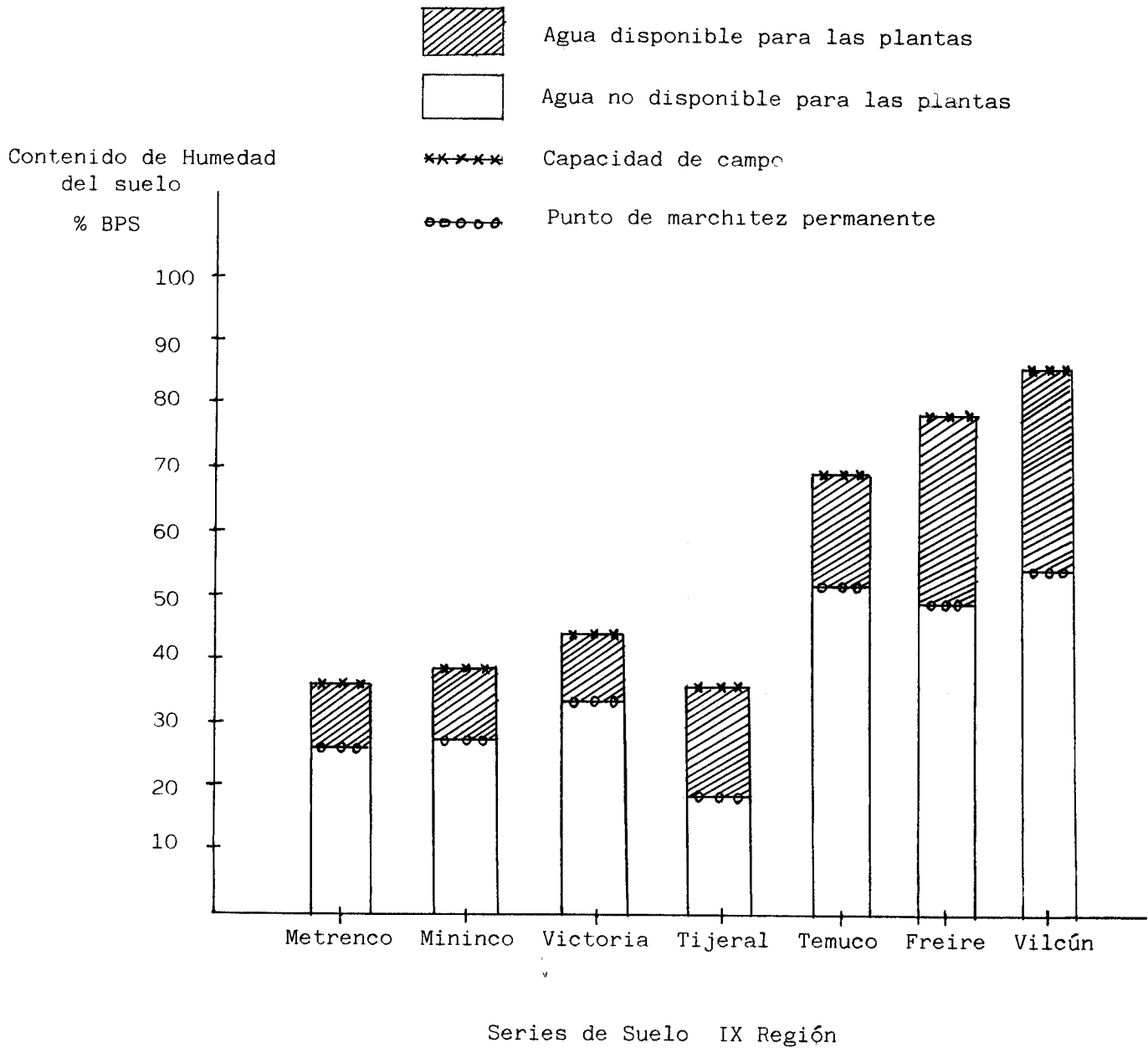


Figura 4. Humedad disponible en el suelo para las principales series de la IX Región.

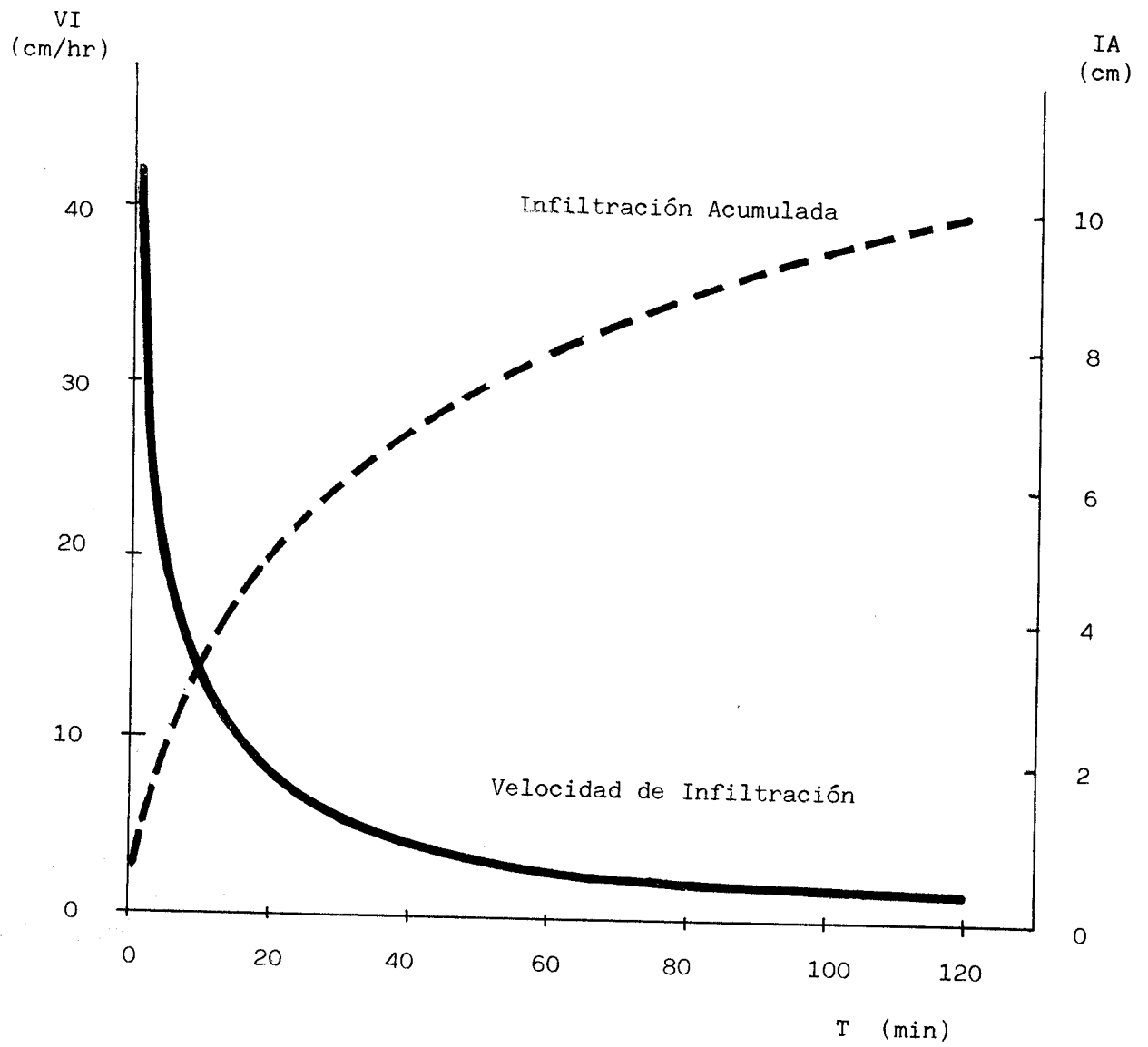


Figura 5. Curva de velocidad de infiltración (VI) e infiltración acumulada (IA) de un suelo.

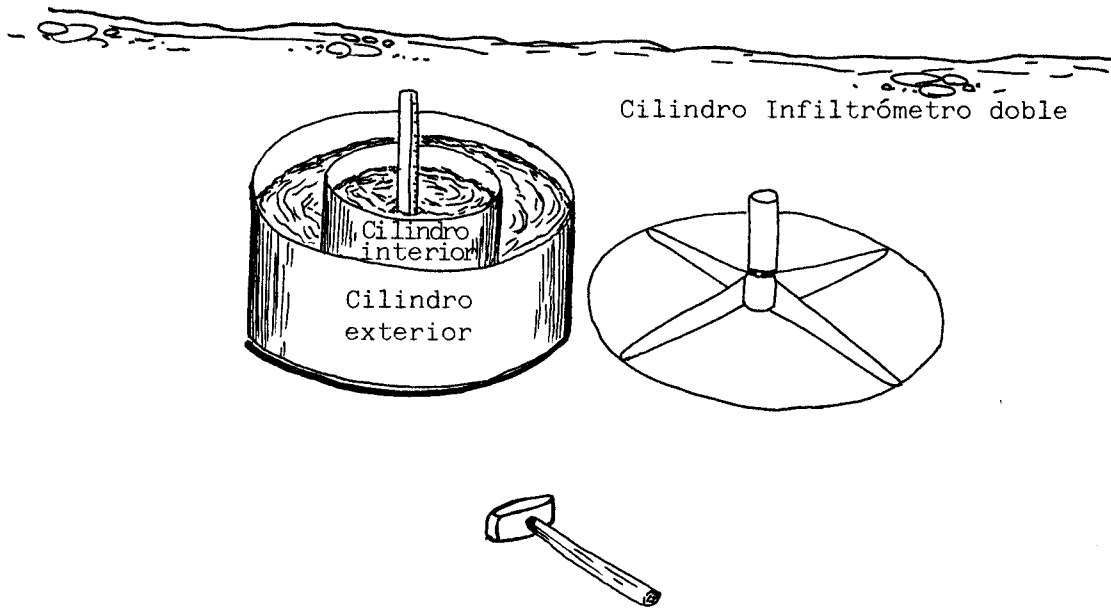


Figura 6. Esquema de cilindro infiltrómetro doble para medir infiltración.

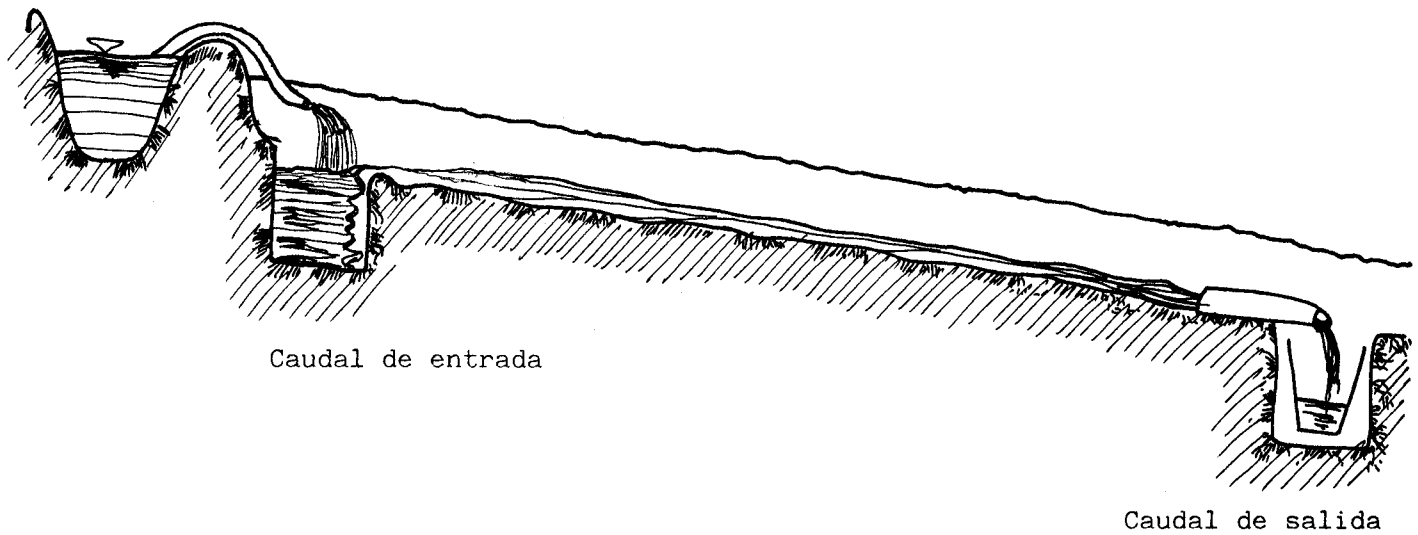


Figura 7. Esquema de funcionamiento del surco infiltrómetro.

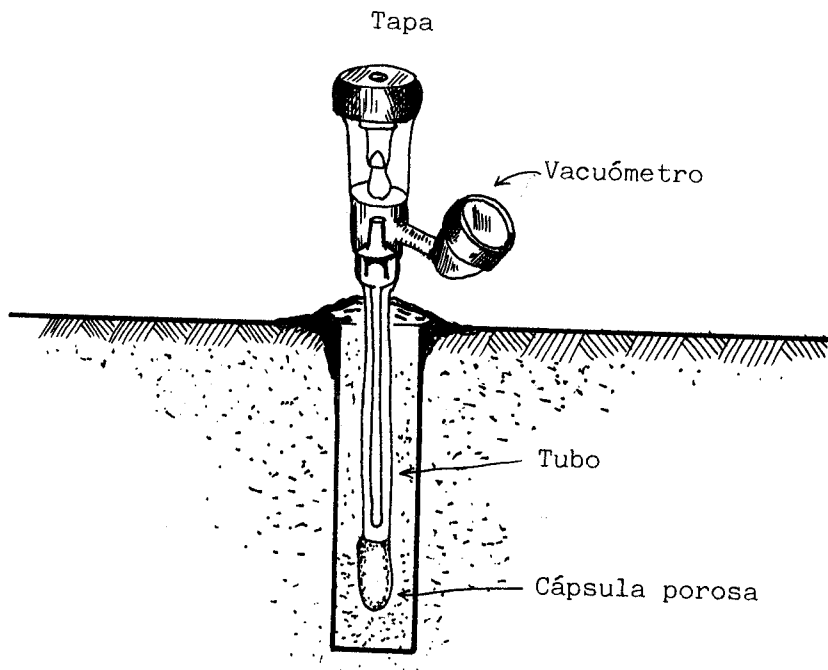


Figura 8. Tensiómetro

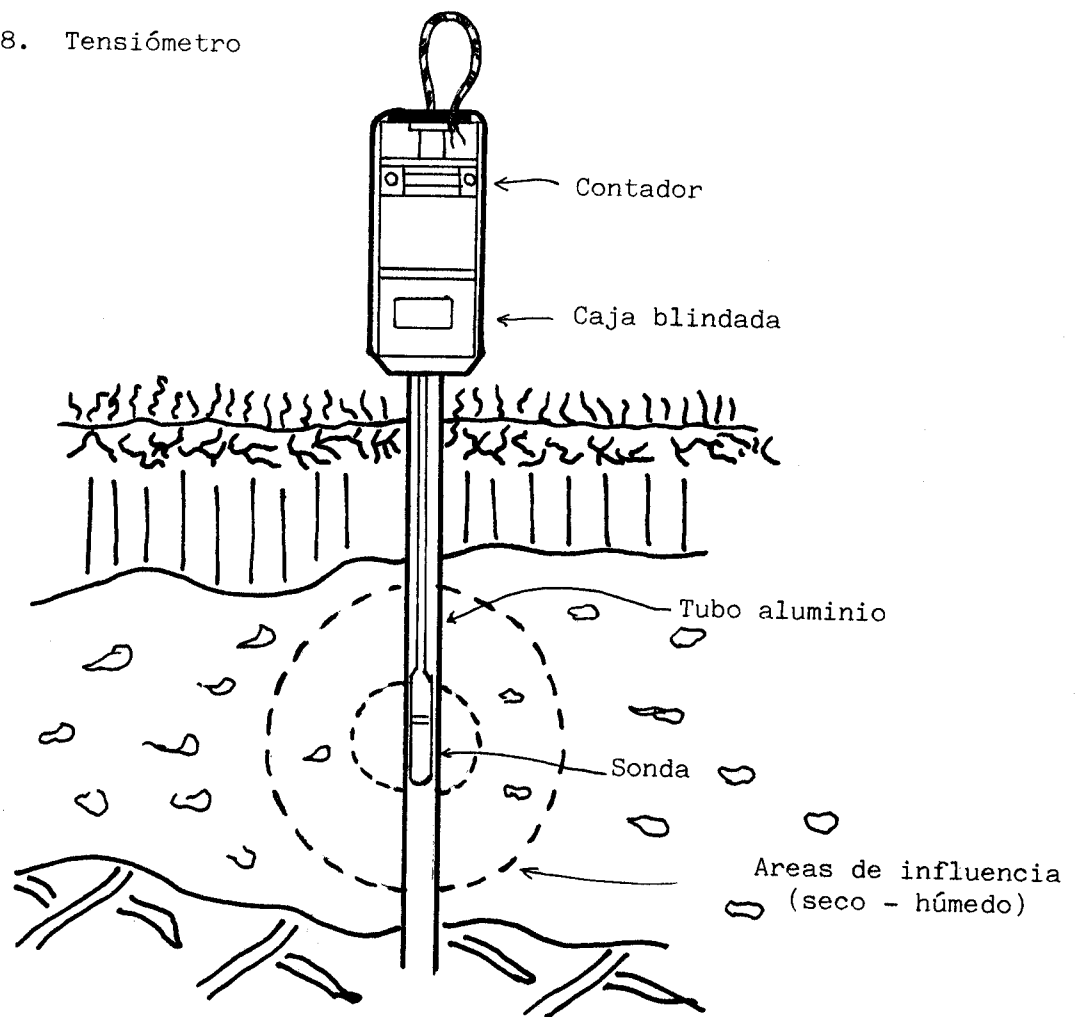


Figura 9. Neutrómetro.

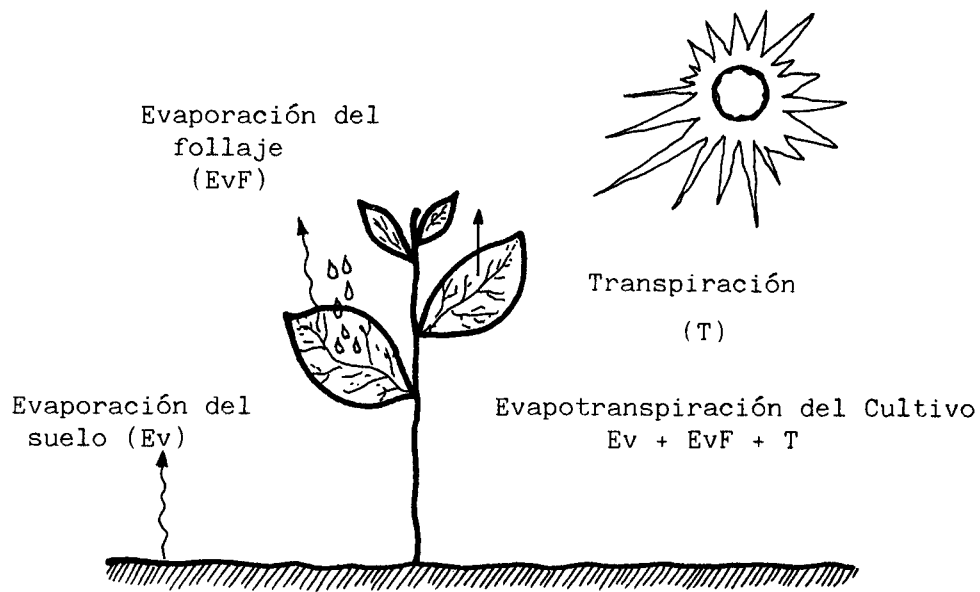


Figura 10. Pérdidas de agua hacia la atmósfera

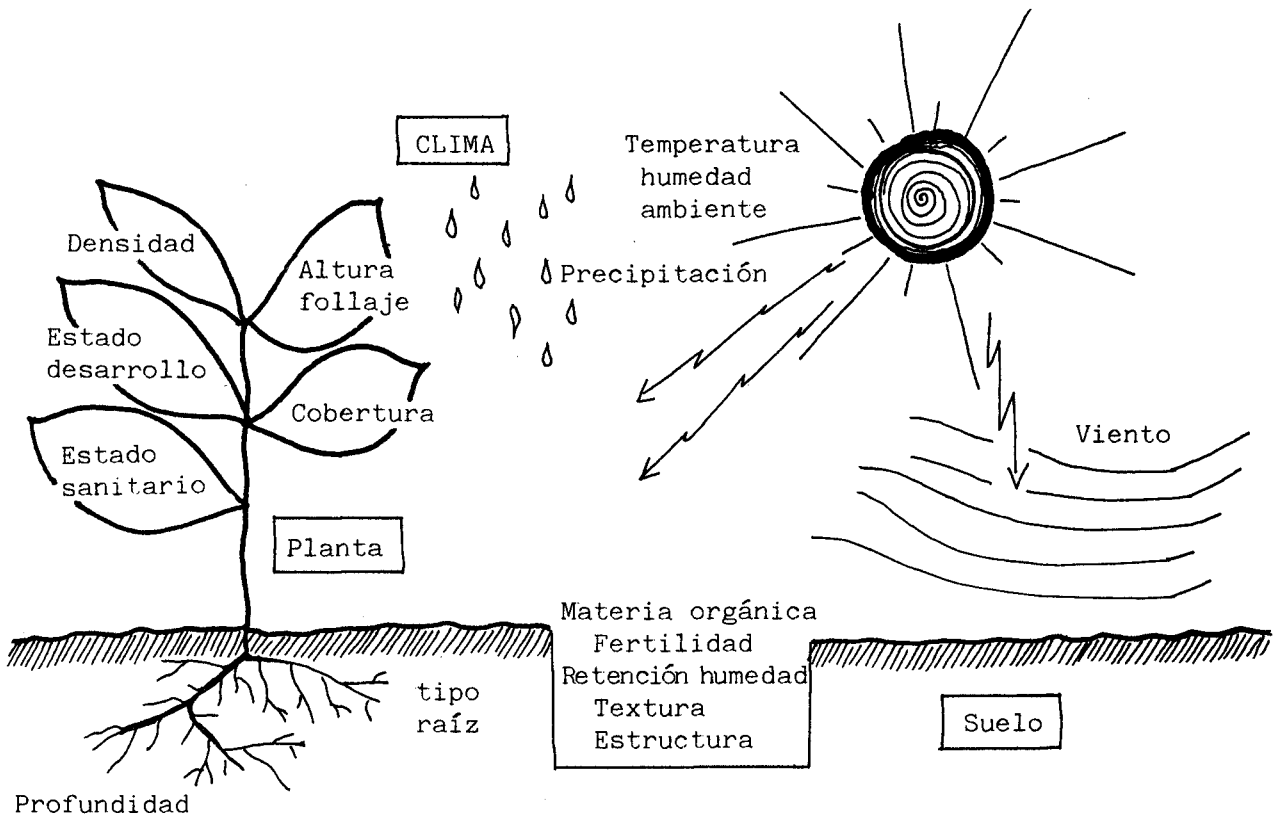


Figura 11.

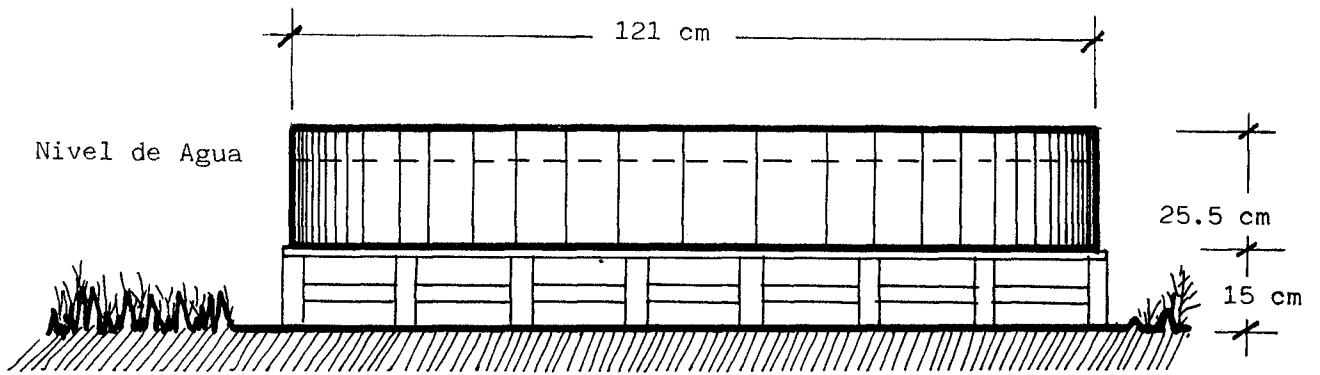


Figura 12. Bandeja de Evaporación clase A.

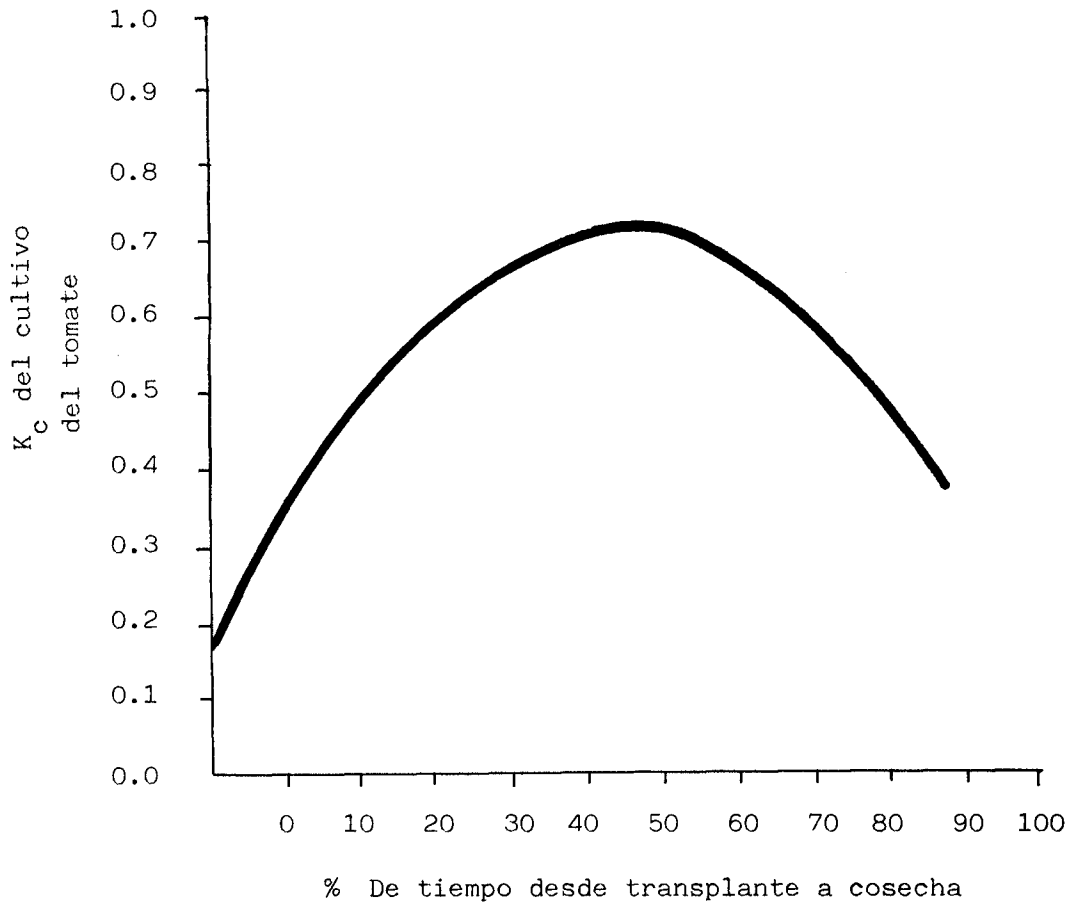


Figura 13.

Fuente: R. Ferreyra E. 1987.

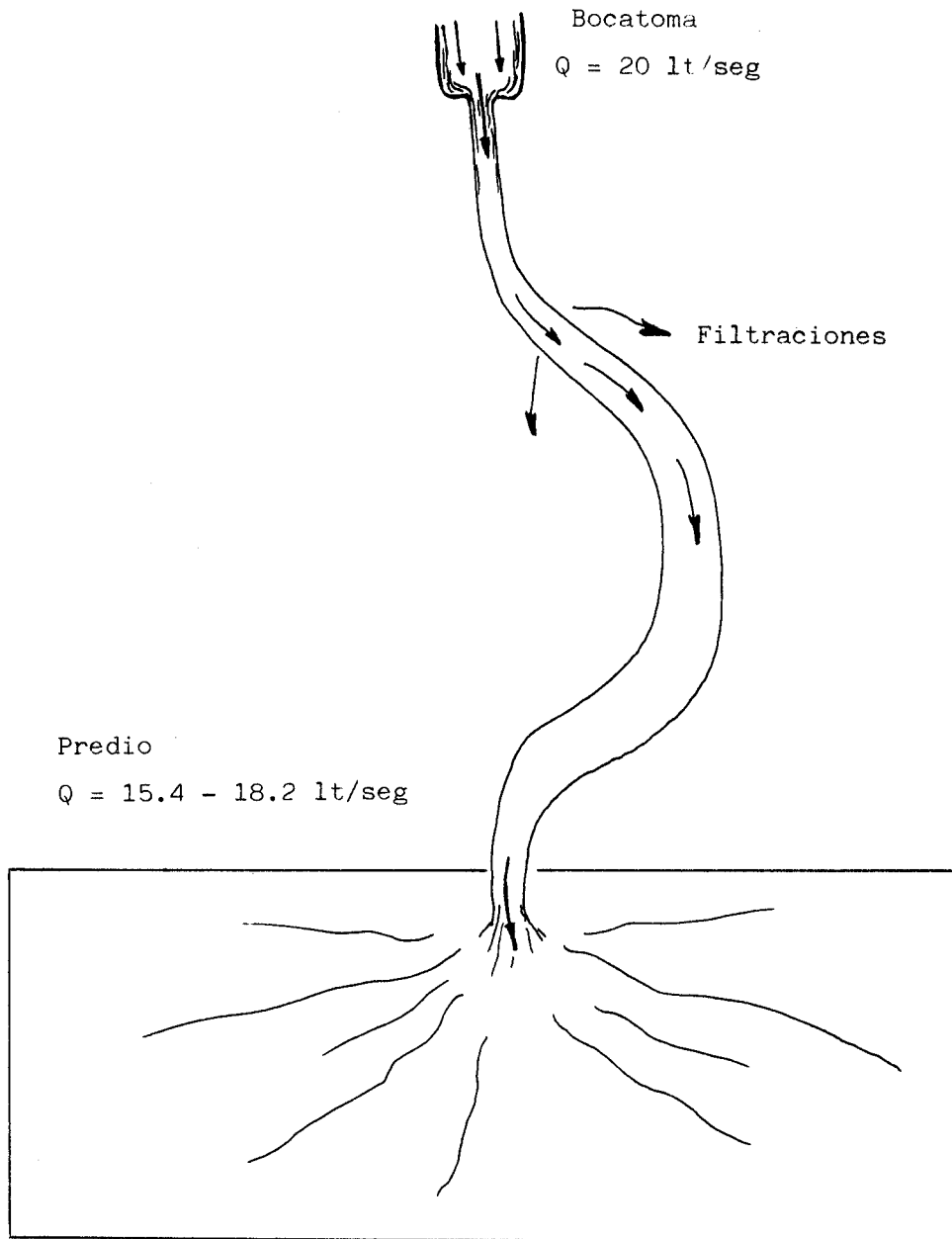
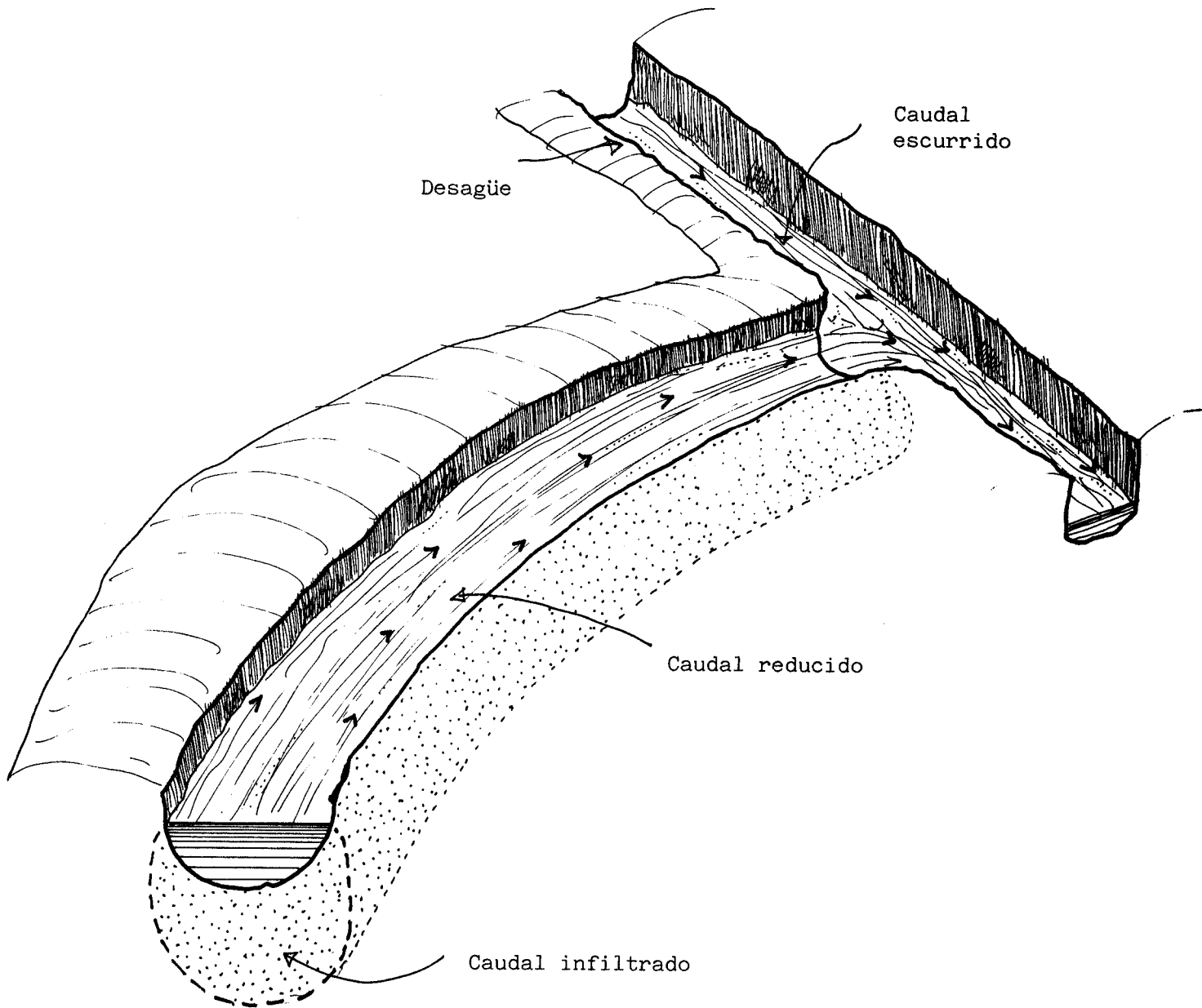


Figura 14. Pérdidas en conducción





Caudal reducido = Caudal infiltrado

Mínimo Caudal escurrido

Figura 15.