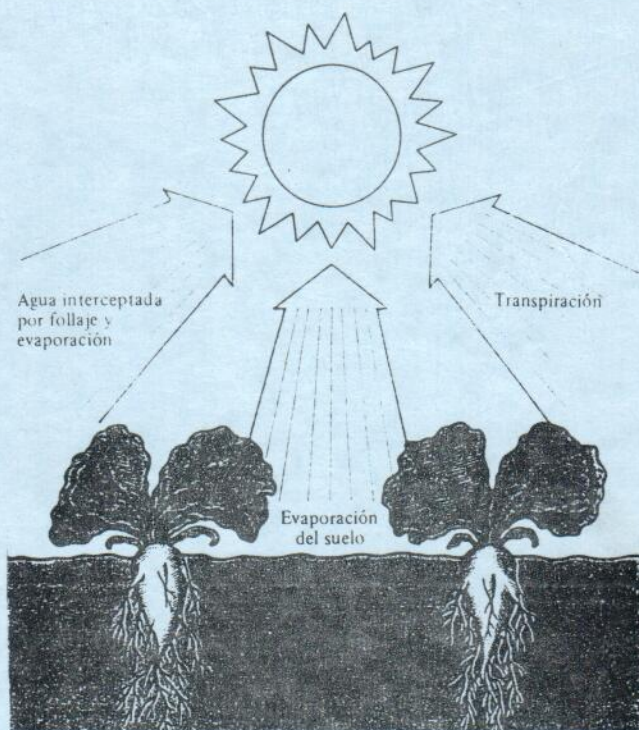




UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
DIRECCION DE EXTENSION
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA
CAMPUS - CHILLAN

REQUERIMIENTOS DE RIEGO



Autor : Luis G. Salgado
Ing. Agr. Ph.D.

DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

Boletín de Extensión N° 4

Octubre 1992

Chillán

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
FACULTAD DE INGENIERIA AGRICOLA
DEPARTAMENTO DE RIEGO Y DRENAJE

REQUERIMIENTO DE RIEGO

Autor : Luis G. Salgado
Ing. Agrónomo Ph. D.

Chillán, octubre de 1992.

PROLOGO

La única forma de hacer un uso óptimo de los recursos hídricos de que dispone un predio, pasa por el conocimiento y determinación de los requerimientos de riego de cada uno de los cultivos incorporados en el plan de explotación.

Para una correcta determinación de estos requerimientos, es necesario disponer de los antecedentes climáticos del lugar, del cultivo y del suelo. Además de ello será necesario tener los conocimientos técnicos correspondientes para hacer una apropiada evaluación de estos antecedentes y aplicarlos juiciosamente dentro del área de acción que nos corresponde.

Este boletín técnico pretende presentar en forma resumida, pero sistemática, estos antecedentes así como la forma de evaluarlos, como una contribución a todos los técnicos y profesionales del sector agrícola que tienen la difícil, pero a su vez valiosa misión de contribuir al mejor y más eficiente uso de los escasos recursos hídricos con que cuenta el país.

INDICE

<u>Capítulo</u>		<u>Página</u>
1	REQUERIMIENTOS DE AGUA.....	1
	1.1. Factores climáticos.....	1
	1.2. Factores del cultivo.....	3
	1.3. Factores del suelo.....	8
2	AGUA EN EL SUELO.....	10
	2.1. Retención de humedad del suelo.....	10
	2.2. Medida de la humedad del suelo.....	13
3	EFICIENCIA DE USO DEL AGUA DE RIEGO.....	15
	3.1. Eficiencia de conducción.....	15
	3.1. Eficiencia de distribución intrapre- dial.....	16
	3.3. Eficiencia de aplicación.....	17
	3.4. Calidad del riego.....	20
4	EVAPOTRANSPIRACION Y TASA DE RIEGO.....	22
	4.1. Definiciones.....	22
	4.2. Coeficiente de cultivo K.....	23
	4.3. Tasa de Riego.....	24

INDICE DE CUADROS

<u>Cuadros</u>		<u>Página</u>
1	Períodos críticos de algunos cultivos al déficit de hídrico.....	4
2	Profundidad radicular a diferentes combinaciones de suelo y vegetación.....	6
3	Resumen de algunas propiedades físicas del suelo.....	12
4	Estimación de la humedad del suelo mediante el tacto.....	14
5	Eficiencia y uniformidad del riego logrados con distintos métodos de riego, para condiciones óptimas de diseño y manejo.....	22
6	Valores del coeficiente (K) de cultivo...	24

INDICE DE FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	Patrón general de extracción de agua de los cultivos.....	29
2	Textura del suelo y su relación con la capacidad de retención de humedad.....	29
3	Clasificación del agua del suelo y sus variaciones según textura.....	30
4	Curvas de retención de humedad de suelos de distinta textura.....	30
5	Tensiómetros para estimar la humedad del suelo.....	31
6	Bloques de yeso para estimar la humedad del suelo.....	31
7	Medidor de neutrones.....	32
8	Gráfico pra determinar la pérdida de agua por kilómetro de canal.....	33
9	Patrones de distribución de agua en un cultivo bajo riego.....	34

1. REQUERIMIENTOS DE AGUA

El principal objetivo del riego es proveer a los cultivos con una suficiente cantidad de agua, con el fin de evitar estrés que pueda causar reducción en los rendimientos o baja calidad del producto final. Por lo tanto, es importante, conocer la cantidad de agua que en una determinada localidad requiere cada cultivo para un nivel de producción óptimo.

El requerimiento de agua lo podemos definir como "la cantidad de agua necesaria a suplir en una determinada zona bajo ciertas condiciones tecnológicas, tendientes a obtener un cierto nivel de producción". De esta forma, el término "requerimiento de agua" incluye el agua utilizada por las plantas en transpiración o producción de tejidos, aquella perdida por evaporación desde la superficie del suelo y la que se pierde durante el riego, como resultado de la ineficiencia de aplicación.

De la definición anterior se desprende que los requerimientos de agua están afectados por factores del clima, del cultivo y del suelo.

1.1. Factores climáticos.

Al hablar del clima estamos incluyendo todos los factores que lo determinan. Es decir, estamos hablando de la temperatura, el viento, la radiación solar, la humedad ambiental y la lluvia, entre otros.

a) Temperatura.

Al analizar el factor temperatura debemos considerar separadamente la temperatura del aire y la temperatura del suelo.

La temperatura del aire determina el poder evaporante de la atmósfera. En la medida que ésta aumenta, un mismo volumen de aire es capaz de contener mayor cantidad de vapor de agua. Por lo tanto, aumentará la diferencia en el contenido de humedad entre los tejidos de la planta y la atmósfera y, como consecuencia de lo anterior, la planta transpirará más rápidamente y habrá mayor evaporación desde el suelo.

Con respecto a la temperatura del suelo, puede decirse que su mayor importancia radica en el hecho que ésta determina la temperatura de las raíces de la planta y por consiguiente el

micro ambiente alrededor de la misma. La temperatura del suelo es función del contenido de humedad, del grado de cobertura vegetal y de la textura. A mayor contenido de humedad, menor temperatura; a mayor cobertura vegetal, menor temperatura. Suelos de textura arenosa tienden a alcanzar temperaturas mayores que suelos de textura más fina.

b) Viento.

El movimiento de aire sobre una superficie (hoja o suelo) determina una mayor evaporación al arrastrar el vapor de agua y evitar la acumulación de ésta en la zona inmediatamente adyacente. Por tal razón, en una misma zona climática podemos esperar que la evapotranspiración de los cultivos sea considerablemente mayor bajo condiciones de viento fuerte, en comparación a un día calmado.

c) Radiación Solar.

La radiación solar es una medida de la energía proveniente del sol que llega a la superficie de la tierra. Para un determinado tiempo y lugar, la distribución de la radiación solar diaria puede variar considerablemente a partir del promedio, dependiendo de la nubosidad y estación del año. En general, la mayor radiación se obtiene en los meses de verano, cuando no hay nubosidad, y al mediodía, cuando los rayos solares llegan perpendicularmente a la superficie.

d) Humedad Ambiental.

Desde un punto de vista estrictamente físico, la evaporación y la transpiración resultan como consecuencia de las diferencias existentes entre las concentraciones de vapor de agua en la superficie del suelo (o en el interior de la hoja) y la atmósfera que la rodea.

En un terreno regado podemos encontrar que el contenido de humedad de la atmósfera aumenta en la medida que nos acercamos a la superficie de la tierra. Por el contrario, en un terreno no regado el contenido de humedad de la atmósfera adyacente disminuye en la medida que nos acercamos a la superficie.

Por otra parte, en terrenos con una alta densidad de plantas, el contenido de humedad de la atmósfera será mayor que en terrenos con baja densidad.

e) LLuvia.

La pluviometría de una determinada región es otro factor

climático de gran importancia que incide sobre el volumen y frecuencia de los riegos. Los factores más importantes a considerar son la cantidad total de agua caída y su distribución a lo largo del período de crecimiento de los cultivos.

En la medida que la precipitación aumenta, los requerimientos de riego del cultivo disminuyen. Sin embargo, los requerimientos de agua permanecen constantes.

1.2. Factores de cultivo.

a) Especies y Variedad.

Numerosas investigaciones han demostrado que existen grandes variaciones en el requerimiento de agua de los cultivos, como también grandes diferencias entre variedades. Así por ejemplo, se encontró que el requerimiento de agua de seis variedades de trigo variaba de 215 a 254 litros; en cuatro variedades de cebada variaba entre 228 a 262 litros; en seis variedades de maíz entre 143 a 187 litros y en cuatro variedades de avena entre 254 a 282 litros de agua, por cada kilo de materia seca producida.

b) Estado fenológico.

El porcentaje de cobertura está dado por la cantidad de follaje del cultivo en su proyección planimétrica con relación al área total de la superficie del suelo. Este porcentaje varía de acuerdo al cultivo y a su estado de desarrollo.

Numerosas investigaciones afirman que el efecto de la falta de humedad sobre el rendimiento final de los cultivos, depende del estado fenológico de la planta al momento del déficit hídrico.

CUADRO 1. PERIODOS CRITICOS DE ALGUNOS CULTIVOS AL DEFICIT HIDRICO.

CULTIVOS ANUALES O BIANUALES						
Períodos críticos a déficit de humedad						
Cereales	Macolla	Encañado	Esp. hinch.	Espiga- dura	Flora- ción	Formac. grano
Trigo			-----			
Maíz					-----	
Cebada			-----			
Avena			-----			
Centeno					-----	
Arroz				-----		
Leguminosa anuales	Siembra a floración	Floracion	Crecim. vaina a cosecha			
Arveja			-----			
Soya			-----			
Porotos			-----			
Habas			-----			
Hortalizas	Germinac. a florac.	Flora- ción	Formación fru- to a cosecha	Durante la cosecha		
Tomates				-----		
Pimentón y ají				-----		
Pepino				-----		
Sandía				-----		
Otros cultivos						
Lino	Para fibra, a través del período de crecimiento vegetativo. Semilla - durante y después de floración.					

Continuación Cuadro 1.

Otros cultivos	
Maravilla	Desde formación de flor a madurez de semilla.
Remolacha	Producción de semilla - durante la floración. Producción de raíces - no existe indicación clara. Aparentemente, en los primeros dos meses de desarrollo.
Zanahoria	No existen indicaciones claras.
Repollo	Requiere riego durante todo su período vegetativo, en especial, durante la formación de la cabeza.
Coliflor	Requiere riego frecuente desde siembra a cosecha.
Cebollas	A través de todo el período de crecimiento, en especial, durante el desarrollo del bulbo.
Frutales	
Cerezos y duraznos	Período de crecimiento rápido que antecede a la madurez.
Cítricos	Floración y formación del fruto.
Vides	Comienzo de crecimiento en primavera hasta pinta del racimo.
Olivos	Último período de madurez del fruto.
Empastadas	A través de todo su período de crecimiento; en especial se recomienda aplicar agua después de efectuar un corte o talajeo.

c) Profundidad radicular.

Para programar riego se debe tomar en consideración la profundidad a la cual las raíces exploran el suelo. La

profundidad radicular está relacionada con el tamaño del cultivo y ello depende de la especie. En cultivos permanentes tales como frutales y alfalfa y en suelos de textura media la profundidad radicular supera 1.5 a 2 metros. En cultivos anuales, en las mismas condiciones, sólo alcanza entre 0.5 y 1.0 m. La figura N° 1 muestra el patrón general de extracción de agua por un cultivo.

Las características físicas y en especial la textura del suelo, tienen una gran influencia en la profundidad radicular. En suelos arcillosos, las raíces pueden alcanzar la mitad de desarrollo que en un suelo de condiciones medias de textura. Un nivel freático cercano a la superficie impide el desarrollo potencial de las raíces, limitando la profundidad de exploración radicular.

En resumen, los factores de los cuales depende la profundidad radicular se pueden agrupar en:

- a) Características del cultivo
- b) Naturaleza física del suelo
- c) Régimen pluviométrico y de riego

El cuadro 2, muestra la profundidad radicular media de diferentes cultivos de acuerdo a la textura del suelo.

CUADRO 2. PROFUNDIDAD RADICULAR A DIFERENTES COMBINACIONES DE SUELO Y VEGETACION.

PROFUNDIDAD RADICULAR (m)	
Tipo de suelo	
a) Espinacas, arvejas, zanahorias, hortalizas en general	
a) Arena fina	0.50
b) Franco arenoso fino	0.50
c) Franco limoso	0.62
d) Franco arcilloso	0.40
e) Arcilloso	0.25

Continuación Cuadro 2.

PROFUNDIDAD RADICULAR (m)	
Tipo de suelo	
b) Maíz, tabaco, cereales, porotos	
a) Arena fina	0.75
b) Franco arenoso fino	1.00
c) Franco limoso	1.00
d) Franco arcilloso	1.80
e) Arcilloso	0.50
c) Alfalfa, pastos, arbustos	
a) Arena fina	1.00
b) Franco arenoso fino	1.00
c) Franco limoso	1.25
d) Franco arcilloso	1.00
e) Arcilloso	0.67
d) Frutales	
a) Arena fina	1.50
b) Franco arenoso fino	1.67
c) Franco limoso	1.50
d) Franco arcilloso	1.00
e) Arcilloso	0.67

Es conveniente destacar que la profundidad de exploración radicular es una característica genética de la especie vegetal, y que la velocidad de penetración o crecimiento radicular está asociada al desarrollo fenológico del cultivo.

De esta manera, si un maíz, es sembrado en un suelo Franco arenoso fino de 1 metro de profundidad, y no existen limitantes en el perfil (napa freática, pie de arado, etc.), al cabo de dos-tres meses aproximadamente, sus raíces habrán explorado el cubo de suelo hasta cerca de un metro de profundidad.

Esto significa que, para efectos de almacenamiento de agua en el suelo, sólo en ese instante podemos considerar la

profundidad de 1 metro. Antes de ello ha profundidad es menor, y deberá ser considerada por el técnico para estimar cuál es el agua aprovechable para esa profundidad de exploración particular.

1.3. Factores del suelo.

Las características de riego, tales como cantidad de agua a aplicar, eficiencia, método y frecuencia de riego, dependen de las propiedades del suelo como estructura, textura, topografía, capacidad de almacenamiento, humedad aprovechable, etc.

Por tal razón, al establecer una guía de riego para un área determinada, habrá que determinar :

- a) Tipo de suelo con sus características de perfil y fertilidad, que inciden en el tipo de cultivo.
- b) Topografía que proporciona los antecedentes para el método de riego a usar.
- c) Capacidad de retención o humedad aprovechable.
- d) Velocidad de infiltración que dará, en último término, el tiempo de riego.

El suelo es un sistema complejo compuesto de materias sólidas, líquidas y gaseosas. La porción mineral consiste en partículas de tamaño, forma y composición química diferentes. Estas partículas se clasifican por la dimensión del grano, en arena, limo y arcilla, y son ellas las que esencialmente determinan la textura del suelo.

La porción líquida del suelo consiste en agua, sustancias disueltas y materia orgánica soluble, la cual llena en mayor o menor proporción los espacios que quedan entre las partículas sólidas. Esta agua la absorben las raíces de las plantas y debe ser periódicamente reemplazada por la lluvia o mediante el riego.

La porción gaseosa del suelo ocupa la parte de los espacios que queda entre las partículas del suelo no ocupado por el agua. Esta es una fase muy importante del sistema edáfico ya que la mayoría de las plantas requieren una cierta aireación del sistema radical para efectuar una adecuada respiración.

a) Textura.

La textura del suelo la determina el tamaño y la distribución de sus partículas. Se usan varias combinaciones de estas fracciones para clasificar los suelos por su textura. Para determinar exactamente qué clase de textura tiene un suelo, se realizan análisis mecánicos de laboratorio. Los suelos son arenosos, limosos o arcillosos, según el tamaño de las partículas. En los suelos arenosos las partículas tienen de 2 a 0.05 mm, en los limosos de 0.05 a 0.02 mm, y en los arcillosos menos de 0.02 mm de diámetro.

La textura es probablemente la propiedad del suelo más útil para estimar algunas características tales como: capacidad de retención de humedad, infiltración, capacidad de campo, punto de marchitez permanente, densidad aparente y fertilidad.

Mientras más pequeño es el diámetro de las partículas del suelo, mayor es la superficie de éstas por unidad de volumen y más pequeño el tamaño de los poros. Lo primero crea mayor resistencia al flujo de agua y lo segundo mayor capacidad para retenerla. Esto explica la poca permeabilidad, baja infiltración y alto poder de retención de agua de los suelos arcillosos en contraste con la alta permeabilidad, alta infiltración y escasa capacidad de retención de los suelos arenosos (Figura 2).

b) Estructura.

La estructura de un suelo depende de la disposición y la adhesión de las partículas menores para formar otras mayores o agregados.

La estructura del suelo es importante por cuanto influye sobre la velocidad a la cual el agua y el aire penetran y se mueven a través del suelo. Asimismo, afecta la penetración radicular y el abastecimiento de los nutrientes.

Al contrario de la textura, la estructura de la superficie del suelo puede cambiarse y de hecho ello sucede frecuentemente en los terrenos cultivados como producto de las labores agrícolas, y la incorporación de materia orgánica. El agua de riego puede ser también un causante de los cambios estructurales del suelo como producto del arraste de partículas finas y el contenido de sales.

2. AGUA EN EL SUELO.

El agua en el suelo se puede clasificar, desde el punto de vista de su disponibilidad para los vegetales, en agua de drenaje, agua capilar o agua útil, y agua higroscópica o no útil. En la figura 3 se presenta un esquema del concepto de disponibilidad de agua para la planta.

De la figura se desprende que ambos suelos tienen una capacidad de retención de agua muy diferente y que por consiguiente los requerimientos de riego en tales suelos ha de ser a su vez muy diferente.

2.1. Retención de humedad del suelo.

La capacidad de retención de humedad de un suelo es uno de los factores determinantes en las características propias de un riego tales como, cantidad de agua a aplicar, frecuencia y tiempo de riego. Está determinada fundamentalmente por las características texturales del suelo.

La capacidad total de retención de humedad de un suelo disponible para las plantas, se define como el contenido de humedad que dicho suelo es capaz de almacenar entre los límites conocidos como "capacidad de campo" (CC) y "Punto de marchitez permanente" (PMP). Capacidad de campo es la máxima capacidad de retención de agua en condiciones de libre drenaje, y se alcanza entre 24 y 72 horas después de haber concluido un riego. El Punto de Marchitez Permanente es el contenido de agua al cual las plantas se marchitan y no se recuperan después de haber sido sometidas a condiciones de un ambiente saturado de humedad durante la noche.

La cantidad total de agua que los suelos son capaces de retener, corresponde a la suma de la humedad aprovechable de cada uno de los estratos presentes en el suelo, considerados dentro de los límites en que se desarrollan las raíces de las plantas.

La tensión con la que el agua queda retenida en el suelo a C.C. generalmente está comprendida a valores entre $1/10$ a $1/3$ de atmósfera, dependiendo de las características de drenaje del terreno, tipo de suelo y el lapso de tiempo transcurrido después del riego que se considere necesario para que el suelo drene. A su vez, la tensión de humedad a P.M.P. se

considera alrededor de 15 atmósfera para la generalidad de los suelos agrícolas.

Otro aspecto destacable es la forma de la curva de retención de agua de los suelos (Figura 4). En un suelo arenoso el contenido de humedad baja rápidamente a valores de tensión de 0.8 bares. En cambio, en el suelo arcillosos, la desminución del contenido de humedad con la tensión es más gradual. Estas características, unida al rango o diferencias de contenido de humedad (% BpS) entre C.C. y P.M.P., resultan fundamentales de conocer para una adecuada programación del riego.

La altura de la lámina de agua aprovechable que existe en el suelo, se puede obtener mediante la siguiente expresión.

$$HA = \frac{C.C. - P.M.P.}{100} \times Da \times H$$

en donde:

HA : altura de agua en cm
 C.C. : capacidad de campo en % de humedad BPS
 P.M.P.: punto de marchitez permanente en % de humedad BPS
 Da : densidad aparente del suelo en gr/cc
 H : profundidad de suelo en cm

Dados los siguientes antecedentes de suelo:

SUELO FRANCO ARCILLOSO (Arrayán)	SUELO ARENOSO (Arenal)
C.C. = 39% BPS	C.C. = 12 % BPS
PMP = 21% BPS	PMP = 8% BPS
Dap = 1.0 gr/cc	Dap = 1.2 gr/cc
Prof. del suelo = 100 cm	Prof. del suelo = 100 cm

Es posible establecer que la altura de agua almacenada es:

$$HA = \frac{39 - 21}{100} \times 1 \times 100$$

$$HA = \frac{12 - 8}{100} \times 1.2 \times 100$$

HA = 18 cm, equivalentes
a 1.800 m³/ha.

HA = 4.8 cm, equivalentes
a 480 m³/ha.

Se puede apreciar que un suelo arcilloso retiene bastante más agua que un suelo arenoso. Así, después de un riego profundo, el suelo Arrayán dispondrá de 1.800 m³/ha para la planta; en cambio, el suelo arenal solamente tendrá 480 m³/ha. Si ambos suelos tuvieran el mismo cultivo, y las mismas condiciones de demanda evaporativa, el suelo arenal debe regarse más seguido (mayor frecuencias de riego).

Los valores de C.C., P.M.P. y densidad aparente del suelo tienen relación con las características físicas del terreno, siendo afectado por la estructura, porosidad, grado de compactación, pie de arado, etc. En una simplificación extrema, se ha tratado de relacionar estos factores con la textura, razón por la cual los datos presentados en el cuadro 3 deben emplearse sólo como referencia, puesto que los valores de terreno pueden diferir mucho de los que aquí se indican.

CUADRO 3. RESUMEN DE ALGUNAS PROPIEDADES FISICAS DEL SUELO.

Textura del suelo	Dens. Apar. gr/cc	C.C. %	P.M.P. %
Arenoso	1.5 - 1.8	6-12	2-6
Franco arenoso	1.4 - 1.6	10-18	4-8
Franco	1.0 - 1.5	18-16	8-12
Franco arcilloso	1.1 - 1.4	23-31	11-15
Arcillo-arenoso	1.2 - 1.4	27-35	13-17
Arcilloso	1.1 - 1.4	31-39	15-19

2.2. Medida de la humedad del suelo.

Se han ideado diferentes métodos para medir o estimar el contenido de humedad de un suelo. En los párrafos siguientes se describen éstos métodos en forma general.

a) Tensiómetros.

Los **tensiómetros** son instrumentos que permiten medir la tensión (fuerza) con la cual se encuentra retenida el agua en el suelo. Para relacionar tales lecturas con el contenido de humedad es necesario disponer de la curva de retención de humedad del suelo. El instrumento consiste en un tubo lleno de agua el cual lleva conectada una cápsula porosa en el extremo inferior, una tapa en el extremo superior y un manómetro. Al instalarse en un suelo seco el agua que se encuentra en el interior del tubo sale a través de la cápsula porosa y se produce un vacío en el interior el cual es registrado en el manómetro. Si se agrega agua al suelo, ésta entra a través de la cápsula y el vacío se reduce, provocando también una disminución en la lectura del manómetro (Figura 5).

b) Bloques de yeso.

Los **bloques de yeso** son pequeños cubitos de yeso poroso (ver figura 6) los cuales permiten estimar el contenido de humedad del suelo gracias a la resistencia que ofrecen al paso de la corriente eléctrica dos placas conductoras que existen en su interior. En la medida que el suelo está más húmedo la resistencia es menor y viceversa. El instrumento es por tanto un medidor de resistencia eléctrica el cual está graduado de tal modo que el observador lee directamente el porcentaje de humedad aprovechable (H.A.) existente en el suelo en ese instante, es decir, el porcentaje de agua que hay entre Capacidad de Campo (100%) y Punto de Marchitez Permanente (0%). La gran ventaja consiste en que es independiente del tipo de suelo en el cual se utilice.

c) Neutrómetro.

Este método consiste en la emisión de Neutrones a gran velocidad desde una fuente de poder (compuesta de material radiactivo) ubicada en el extremo de un tubo. Estos neutrones al chocar con el hidrógeno del agua pierden velocidad de manera que éstos pueden ser leídos por un contador que los registra (Figura 7).

Cuanto mayor es la humedad del suelo, tanto mayor es el

número de neutrones de baja velocidad que registra el contador.

d) Gravimetría.

El **método gravimétrico** consiste en establecer una relación entre el contenido de agua (gr) que contiene una muestra de suelo y el peso seco de dicha muestra. Es un procedimiento sencillo y preciso pero que requiere de un lapso de tiempo no inferior a 24 horas para conocer el contenido de humedad del suelo por cuanto la muestra debe extraerse, pesarse, secarse a 105°C por 24 horas y pesarse nuevamente.

e) Visual.

El **método del examen visual** consiste en extraer mediante un barrenado una muestra de suelo a la profundidad en que se encuentra la mayor cantidad de raíces de la planta. Dependiendo de la textura del suelo, su contenido de agua aprovechable puede estimarse mediante el Cuadro 4.

CUADRO 4. ESTIMACION DE LA HUMEDAD DEL SUELO MEDIANTE EL TACTO.

% de Agua utilizable	Textura liviana	Textura media	Textura pesada
0 a 25%	Seco suelto Gránulos escurren por los dedos.	Seco polvoriento, a veces terronado, pero fácilmente transformable en polvo	Duro, amoldado terronado Terrones en la superficie
25 - 50%	Algo más de consistencia. Todavía parece estar seco. No forma bolita al presionar.	Algo terronuda, pero se mantiene unida al presionar.	Algo plástico, forma bola.
50 - 75%	Apenas forma bolita que se desintegra fácilmente.	Forma bola algo plástica	Forma bola.
75% a Capacidad de Campo	Forma una débil bolita que se desintegra con facilidad	Forma bola y es muy plástica.	Forma bola de bastante consistencia. Plástico.
A Capacidad de Campo.	Al presionarla no escurre agua libre pero deja la mano húmeda. Forma bolita.	Id. a textura liviana.	Id. a textura liviana.
Sobre Capacidad de Campo.	Aparece agua libre cuando el suelo es presionado.	Igual a textura muy liviana	Escurre agua libre con la presión.

3. EFICIENCIA DE USO DEL AGUA DE RIEGO

La eficiencia en el uso del agua de riego es relevante en la determinación de la cantidad de agua que es necesario disponer para regar una determinada superficie. Si se considera que normalmente sólo una fracción del agua captada en bocatoma es realmente aprovechada por la planta, resultará importante conocer y analizar las pérdidas ocurridas, así como su incidencia en la determinación de los requerimientos de agua de un proyecto.

La eficiencia total del uso del agua de riego de un sistema es definida como la relación existente entre el agua de riego que queda almacenada en la zona radical del cultivo -la cual posteriormente es evapotranspirada- y el agua captada o derivada en bocatoma, embalse, planta de bombeo, etc.

De esta manera, la eficiencia total del sistema puede expresarse como:

$$Efs = Vzr/Vb, \text{ o bien:}$$

$$Efs = Efc \times Efd \times Efa$$

En donde:

Efs = Eficiencia total del sistema

Efc = Eficiencia de conducción del agua hasta el predio

Efd = Eficiencia distribución interna del predio

Efa = Eficiencia de aplicación

Vb = Volumen de agua captada en bocatoma

Vzr = Volumen de agua efectivamente almacenada en la zona radical del cultivo

3.1. Eficiencia de conducción. (Efc)

La eficiencia de conducción de un canal se calcula conociendo el caudal o volumen captado en bocatoma versus el caudal o volumen en la entrada del predio.

$$Efc = \frac{Vb}{Vp}$$

En donde:

Vb = Caudal o volumen de agua captado en bocatoma
 Vp = Caudal o volumen de agua que llega al predio

Este valor de eficiencia de conducción es promedio para la longitud total del canal que abastece al predio. Sin embargo, se debe considerar que un canal normal, que atraviesa diferentes tipos de terreno, posee distintas eficiencias de conducción por tramo de canal.

Es posible advertir que las pérdidas de agua en los canales están directamente relacionadas con el largo de éste y con sus eficiencias de conducción en los diferentes tramos. Es por tanto importante señalar que aspectos tales como tipo de suelo, ubicación del nivel freático, edad del canal, velocidad del agua, perímetro mojado, caudal del canal, vegetación, etc. están influyendo en el grado de aprovechamiento del recurso. La figura 8 muestra un gráfico para determinar las pérdidas de agua por kilómetro de canal.

3.2. Eficiencia de distribución intrapredial. (Efd)

Esta eficiencia interna de conducción se define conociendo el caudal o volumen de agua aplicada en el potrero (Va) y el caudal o volumen de agua que efectivamente llega al predio (Vp).

$$Efd = \frac{Va}{Vp}$$

Comprende aspectos de pérdida de agua por conducción en la red interna de distribución del predio (acumuladores nocturnos, canales primarios, secundarios, terciarios), las cuales se deben a infiltración, evapotranspiración de la vegetación que crece adyacente, fugas y/o desbordes a través de los acueductos, estructuras y compuertas. Considera, además, las pérdidas por no uso de ellas durante las horas de no riego, en las cuales el agua se pierde desde el canal hacia los drenes o desagües.

En general, las pérdidas provocadas por efecto del almacenaje de agua en acumuladores es relativamente baja. Dichas pérdidas serían por evaporación y percolación, que en caso de ser altas, harían necesario su revestimiento.

Es necesario tener claro que un embalse o acumulador no implica de modo alguno mejorar la eficiencia de aplicación o conducción interna del predio, sino que solamente aumenta el volumen de agua disponible para el riego al evitar que el agua siga escurriendo afuera del predio en las horas de no riego. Asimismo, tiene un efecto indirecto en la eficiencia de aplicación del agua debido a que evita los riegos nocturnos (agua puesta), los cuales son de una mayor ineficiencia.

3.3. Eficiencia de aplicación. (Efa)

La eficiencia de un volumen de agua se puede aumentar mejorando la eficiencia de su aplicación. En la eficiencia de aplicación del riego superficial influyen principalmente la cantidad de agua aplicada, las características de infiltración del suelo y la rapidez de avance del agua sobre la superficie del suelo.

La eficiencia de aplicación se define por medio de la siguiente expresión:

$$Efa = \frac{Vzr}{Va}$$

En donde:

Vzr = Volumen de agua efectivamente acumulada en la zona de raíces después del riego

Va = Volumen de agua aplicado al campo o potrero

El volumen de agua proporcionado al campo (Va) se distribuye en escurrimiento superficial (Es), percolación profunda por debajo de la zona ocupada por las raíces (P), almacenamiento dentro de la zona ocupada por las raíces (Vzr) y evaporación (E). De esto se deduce que:

$$Va = Es + P + Vzr + E$$

Si despreciamos las pérdidas por evaporación tenemos:

$$Efa = \frac{Va - (Es + P)}{Va}$$

a) Pérdidas por percolación profunda.

Bajas eficiencias de aplicación en métodos de riego superficial son causadas generalmente por pérdidas de agua bajo la zona de raíces.

Un análisis matemático para determinar las pérdidas por percolación fue presentado por Bishop utilizando las características de infiltración acumulada (I_a) en el suelo y expresado por la relación:

$$I_a = A T^B \quad \text{y una relación de tiempo:}$$

$$R = \frac{T_r}{T_f}$$

En donde:

- A y B = Son parámetros derivados de la ecuación de infiltración acumulada
 T = Es el tiempo de infiltración transcurrido
 R = Relación de tiempo
 T_r = Tiempo requerido para llevar la zona de raíces a capacidad de campo
 T_f = Tiempo requerido para que el agua llegue al pie del paño a regar

De esta manera, las pérdidas por percolación profunda, expresadas como un porcentaje del agua que se infiltra en un riego, se obtiene de una ecuación simplificada para determinar las pérdidas por percolación (P), que es:

$$P = \frac{n + 1}{2R + 1}$$

En donde :

- n = es el exponente de la ecuación de velocidad de infiltración ($-1 < n < 0$).

Si estas pérdidas las expresamos en función de volumen, también se puede escribir.

$$P = 100 \frac{V_p}{V_{zr} + V_p}$$

En donde :

V_{zr} = Volumen almacenado en la zona de raíces

V_p = Volumen percolado por debajo de la zona de raíces

b) Pérdidas por escurrimiento (Es).

Las pérdidas por escurrimiento se producen principalmente debido a la necesidad de saturar completamente la zona ocupada por las raíces en el extremo inferior del tramo de riego. Estas pérdidas se pueden reducir mucho si se aplican caudales reducidos una vez que el agua llegue al final del tramo a regar.

Dichas pérdidas se pueden obtener por medio de la siguiente relación:

$$P_e = \frac{V_e}{V_a} \times 100 = \frac{(V_a - V_{zr} + V_p)}{V_a} \times 100$$

En donde:

V_a = Volumen aplicado al campo

V_{zr} = Volumen almacenado en la zona de raíces

V_p = Volumen percolado

V_e = Volumen escurrido

También a partir de:

$$P_e = 100 \frac{Tr}{Tr + Tf} \cdot \frac{q_e}{q_a}$$

En donde:

q_e = gastos escurridos

q_a = gastos proporcionados al campo

3.4. Calidad del riego o eficiencia de utilización agronómica del agua (Eua).

La calidad del riego, o la eficiencia de utilización agronómica del agua, está dada por la interacción de tres parámetros: Eficiencia de aplicación (Efa); Eficiencia de riego (reposición o almacenamiento) (Efr) y el coeficiente de uniformidad (C.U.C).

De este modo podemos expresar la calidad del riego (E.U.A.) como:

$$E.U.A. = Efa \cdot Efr \cdot C.U.C.$$

Resulta claro que esta definición de calidad de riego es válida a nivel de campo o potrero y no considera pérdidas en canales, reutilización o recuperación de las aguas en otros sectores.

a) Eficiencia de riego, reposición o almacenamiento. (Efr)

Esta eficiencia indica en qué medida las necesidades de agua para llevar el perfil de suelo en la zona radical a valores altos de humedad (capacidad de campo), han sido satisfechas. De este modo, la expresión de Efr se define como:

$$Efr = \frac{V_{zr}}{V_{dZR}}$$

En donde:

V_{zr} = Volumen de agua que almacena el suelo en la profundidad radical del cultivo, después de un riego.

V_{dZR} = Volumen de déficit de agua existente en el perfil de suelo, el cual es necesario reponer para elevar la humedad del suelo a capacidad de campo.

Un valor de 1 (100%) nos indica que fue repuesto todo el déficit existente de agua.

b) Uniformidad del riego. (C.U.C.)

Este coeficiente es definido por la siguiente expresión:

$$C.U.C. = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n | \bar{Y} - Y_i |}{n \cdot \bar{Y}}$$

En donde:

- \bar{Y} = Media de altura de agua infiltrada de "n" observaciones o mediciones puntuales
 Y_i = Observación individual
 n = Número total de mediciones

De este modo, valores superiores a un 70% (0.7) nos indican un valor aceptable de uniformidad; y un valor igual a 1 (100%) señala que todo el paño recibió la misma altura de agua.

c) Análisis de la E.U.A.

La observación parcial de cada uno de los elementos que intervienen en la calidad de riego, no son un buen índice del grado de utilización del recurso. En efecto, es posible alcanzar eficiencias de aplicación del 100% si se ocupa un pequeño volumen de agua (1 litro) en una hectárea de cultivo sometido a déficit hídrico. Así, toda el agua aplicada queda en la zona radical. Sin embargo, la eficiencia de riego y la uniformidad es baja y el cultivo permanecerá deficitario de agua.

Una integración adecuada de todos los componentes participantes en la E.U.A. nos indicaría un óptimo uso del recurso, sin grandes derroches y sin detrimento del cultivo. Un esquema de los tres componentes del riego es mostrado en la figura 9. Un resumen de las diferentes eficiencias en relación a los métodos de riego se muestra en el cuadro 5, en donde es posible apreciar un aumento en la eficiencia del uso del agua de regadío a nivel de campo, cuando se tecnifica el riego. Es por ello que un cambio de método de riego -de tendido a bordes por ejemplo- implicaría poder duplicar la superficie regada con el mismo volumen original de agua; todo esto sin considerar los posibles aumentos de rendimientos.

CUADRO 5. EFICIENCIA Y UNIFORMIDAD DEL RIEGO LOGRADAS CON DISTINTOS METODOS DE RIEGO, PARA CONDICIONES OPTIMAS DE DISEÑO Y MANEJO.

Método de Riego	Ef. Aplic.	Ef. Riego	Unifor. (CUC)
Tendido *	0.2-0.3	0.80	0.50
Regueras en contorno	0.60	0.85	0.60
Borde	0.60	0.90	0.70
Surco	0.55	0.90	0.75
Aspersión	0.95	1.00	0.85
Goteo		1.00	0.90
* Valores normales de operación			

4. EVAPOTRANSPIRACION Y TASA DE RIEGO

4.1. Definiciones.

El término evapotranspiración o uso-consumo es un concepto definido por diferentes autores y en términos generales: es el total de agua que consume cierta área por evaporación desde el suelo y por transpiración de las plantas.

Algunos científicos hacen una diferencia en la definición de los términos de evapotranspiración y uso-consumo, considerando que el uso/consumo incluye, además, la cantidad de agua que forma parte de los tejidos de la planta.

Las unidades para medir evapotranspiración pueden ser altura de agua, expresada en mm o cm, si el período de tiempo considerado es pequeño, y en m o m³/ha, si éste es grande; tal como un período de crecimiento, un año o más.

Es posible calcular la evaporación desde un lago u otras superficies de agua libre, pero para determinar

evapotranspiración desde una cubierta vegetal, donde el grado de evapotranspiración depende de la cantidad de agua en el suelo; es mucho más difícil. Esta dificultad se superó introduciendo el concepto de evapotranspiración potencial.

La evapotranspiración potencial (Etp) es "la cantidad de agua transferida hacia la atmósfera desde un suelo cubierto totalmente de pasto, con un abastecimiento de humedad óptimo y sin problemas de nutrientes para la planta". En general se puede decir, que para que exista evapotranspiración potencial, los cultivos deben tener un suministro de agua óptimo y una cobertura total del suelo.

Por otra parte, la evapotranspiración actual (Eta) es aquella que ocurre en las condiciones reales que se encuentra el cultivo en el campo. La evapotranspiración actual es más difícil de calcular que la potencial. Además de las condiciones atmosféricas consideradas para determinar evapotranspiración potencial envuelve la magnitud de las reservas de humedad del suelo y los requerimientos de agua de los cultivos.

Puesto que la evapotranspiración potencial es difícil de obtener, puede estimarse a partir de la evaporación desde una bandeja (Eb), tal que:

$$ETp = Eb * 0.8$$

4.2. Coeficiente de cultivo K.

Al definir la evapotranspiración potencial quedaron establecidos ciertos supuestos que generalmente no se observan en la realidad. Estos supuestos incluyen que el cultivo sea corto, que cubra totalmente una superficie de suelo profundo, con buen abastecimiento de agua y de nutrientes. Por esta razón es necesario introducir un coeficiente de ajuste (K), generalmente llamado de cultivo, que pueda aproximar la evapotranspiración potencial a la real, esto es:

$$Eta = Etp * K$$

y en consecuencia $Eta = Eb * 0.8 * K$

El coeficiente K presenta variaciones considerables a través del ciclo vegetativo de un cultivo, especialmente cuando

éstos son estacionales o anuales ya que aumentan significativamente de tamaño en corto tiempo y se necesita conocer valores K correspondientes a cada período en que pueda dividirse el ciclo vegetativo. En cultivos permanentes, tales como forrajeras en que la cobertura del terreno y profundidad de raíces no cambian en períodos cortos, el coeficiente K no muestra grandes variaciones a través del ciclo y se puede adaptar un coeficiente único para el cultivo.

En el cuadro 6 se presentan los valores de "K" para diferentes cultivos. El ciclo del cultivo va desde emergencia (0%) hasta madurez (100%).

CUADRO 6. VALORES DEL COEFICIENTE (K) DE CULTIVO.

% desa- rrollo	maíz	porot.	remol.	papas	trigo prim.	tomat.
0	-	-	-	-	-	-
10	0.45	0.60	0.49	0.41	0.41	0.45
20	0.60	0.75	0.61	0.50	0.60	0.48
30	1.75	0.90	0.79	0.72	0.79	0.56
40	0.9	0.05	0.96	0.97	0.96	0.76
50	1.05	1.15	1.10	1.18	1.12	0.96
60	1.10	1.15	1.20	1.31	1.28	1.03
70	1.05	1.00	1.25	1.37	1.32	0.98
80	0.95	0.85	1.22	1.36	1.24	0.90
90	0.90	0.75	1.14	1.30	1.04	0.80
100	0.85	0.60	1.04	1.23	0.8	0.68

4.3. Tasa de Riego.

a) Por cultivo. (TRc)

Una de las aplicaciones más importantes e inmediatas de las estimaciones de eficiencia es el cálculo de las tasas de riego. Se entiende por tasa de riego (TR), la cantidad de agua necesaria para suplir las necesidades de agua de la planta, incluyendo la eficiencia de aplicación del agua de riego en el terreno mismo. Esta expresión queda definida por:

$$TRc = \frac{RR}{Efa}$$

En donde:

- RR = Requerimiento de riego (Uso consumo-precipitación efectiva)
 Efa = Eficiencia de aplicación del agua de riego ($0 \leq Efa \leq 1$)

Normalmente, la tasa de riego se expresa en l/seg/ha o bien, en m³/mes/ha, o m³/ha/temporada. La tasa de riego está afectada por todos los errores que tienen lugar en los pasos que siguen para llegar a determinarla.

1. La primera fuente de error que se debe considerar la constituyen los errores en las lecturas o mediciones de los datos climáticos y descalibraciones en los instrumentos empleados para tales mediciones.

Este tipo de error afecta el cálculo final de la tasa de riego, porque en la mayoría de los casos, las estaciones meteorológicas no son representativas del medio agrícola. Por tanto, esta extrapolación de información está ya provocando desviaciones de la evapotranspiración real de una zona. Además, la carencia de personal idóneo en muchas estaciones meteorológicas, y el escaso número de años de información, aumenta la incertidumbre de la exactitud de los valores de evapotranspiración potencial calculado con ecuaciones empíricas. El efecto que estos errores tengan depende del tipo de ecuación usada, ya que cada ecuación

presenta diferentes grado de sensibilidad a los parámetros climáticos.

2. La ecuación empleada para determinar la evapotranspiración potencial puede ser inapropiada para una región lo que da margen a un nuevo error que se agrega al anterior.

Cada ecuación tiene como objetivo específico el de transformar un conjunto de valores meteorológicos en valores de evapotranspiración potencial. Ante un mismo conjunto de datos climáticos, las ecuaciones responden con diferentes valores de evapotranspiración potencial.

Es por esto que la única fuente de comparación que se dispone en el país son algunas de las estaciones meteorológicas que tienen datos de evaporación de bandeja.

A la luz de esta comparación es posible apreciar la validez de las ecuaciones en un lugar determinado.

3. Otro factor que se debe considerar en la determinación de una tasa de riego, cuando se dispone de la evapotranspiración potencial, es el factor denominado de cultivo o coeficiente "K", que permite calcular la evapotranspiración actual basándose en la potencial. Debido a que estos coeficientes son válidos sólo en la región en que fueron determinados, es necesario ajustar dichos coeficientes a las condiciones propias del lugar.
4. Otro paso que debe darse en el cálculo de la tasa de riego de un cultivo, es dividir la evapotranspiración por la eficiencia de aplicación de agua al cultivo.

Es posible demostrar que pequeños errores en la estimación de la eficiencia de riego pueden producir significativos errores en las tasas de riego, los cuales son superiores a aquellos que pudieran provenir de errores de medición de parámetros climáticos y de estimaciones del factor "k".

Ejemplo:

- a) Diferencias en la tasa (Tr) debido a errores en la eficiencia de aplicación (Efa):

$$Efa_1 = 0.30$$

$$Efa_2 = 0.35$$

$$RR = 100 \text{ mm/mes}$$

$$TR_1 = \frac{100}{0.30} = 333 \text{ mm/mes}$$

$$TR_2 = \frac{100}{0.36} = 285 \text{ mm/mes}$$

Diferencia: 45 mm/mes

b) Diferencias en la tasa debido a error en el factor k:

$$Efa = 0.50$$

$$k_1 = 0.85$$

$$k_2 = 0.80$$

$$TR_1 = \frac{100 \times 0.85}{0.50} = 170 \text{ mm/mes}$$

$$TR_2 = \frac{100 \times 0.80}{0.50} = 160 \text{ mm/mes}$$

Diferencia : 10 mm/mes

Con el objeto de obtener tasas de riego más reales, deberán realizarse experiencias en las distintas zonas agroclimáticas del país que consideren las variables mencionadas en el párrafo anterior. Por el momento, la exactitud de las tasas que se obtengan dependerán en gran medida de la experiencia y buen juicio del profesional que las calcule.

b) Por predio (TRp)

La tasa de riego a nivel predial involucra conocer los requerimientos de riego de los diferentes cultivo, incluyendo la eficiencia de uso del agua dentro del predio. Para ello, se debe considerar tanto la eficiencia de aplicación (Efa) como la eficiencia de distribución o conducción interna del predio (Efd).

De este modo, la tasa de riego predial (TRp) quedaría definida como:

$$TRp = \frac{R \cdot R}{Efa \cdot Efd}$$

En donde :

RR. corresponde a los requerimientos de riego promedio del predio. La Efd refleja la eficiencia con que el agua es

transportada desde la entrada del predio hasta el cultivo mismo. Por tanto, involucra aspectos de conducción en la red interna del predio, así como la eficiencia de almacenamiento en depósitos temporales (acumuladores nocturnos, embalses).

c) Por sistemas (TRs)

En el caso que un proyecto de riego involucrara captaciones de agua extrapredial, es necesario incluir las pérdidas del recurso desde su fuente de origen hasta el predio.

Este concepto puede aplicarse tanto para determinar qué cantidad de agua es necesario captar en bocatoma, tanto para un cultivo o predio determinado, como también a nivel de hoyo, subcuenca o zona específica. En esta definición, el concepto de eficiencia incluye los aspectos de conducción de agua, desde la captación del recurso hasta el predio (Efc), la eficiencia de distribución interna del predio (Efd) y la eficiencia de aplicación (Efa).

De este modo, la tasa de riego total del sistema será:

$$TRs = \frac{R \cdot R}{Efc \cdot Efd \cdot Efa} = \frac{R \cdot R}{Efs}$$

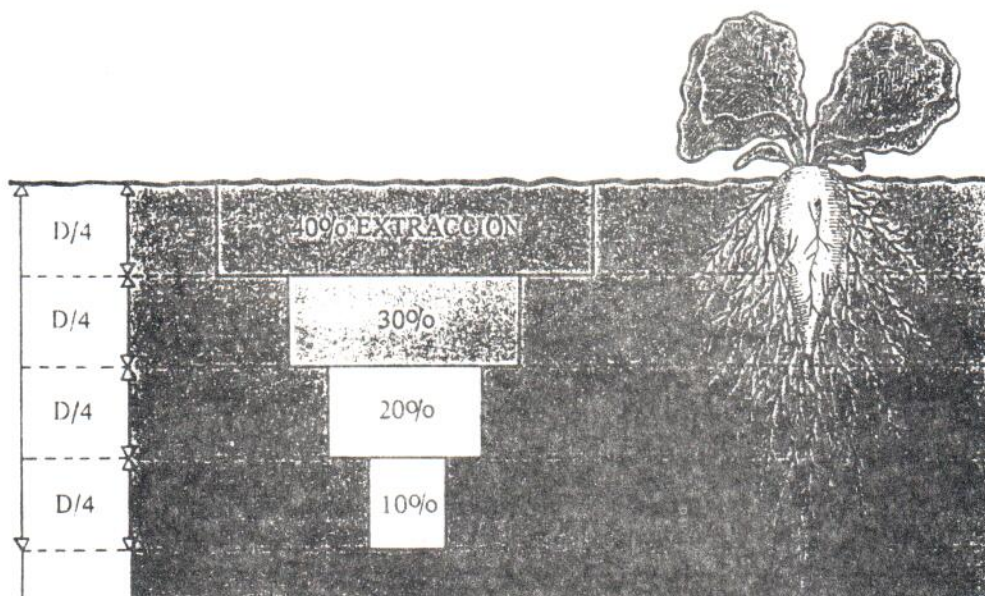


Figura 1. Patrón general de extracción de agua de los cultivos.



Figura 2. Textura del suelo y su relación con la capacidad de retención de humedad.

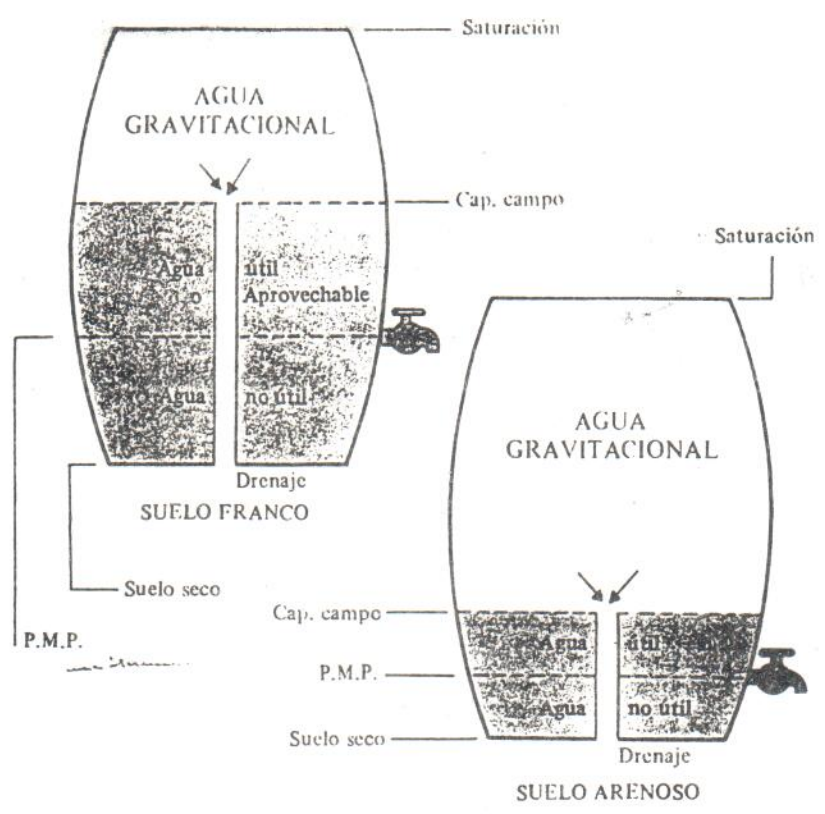


Figura 3. Clasificación del agua del suelo y sus variaciones según textura.

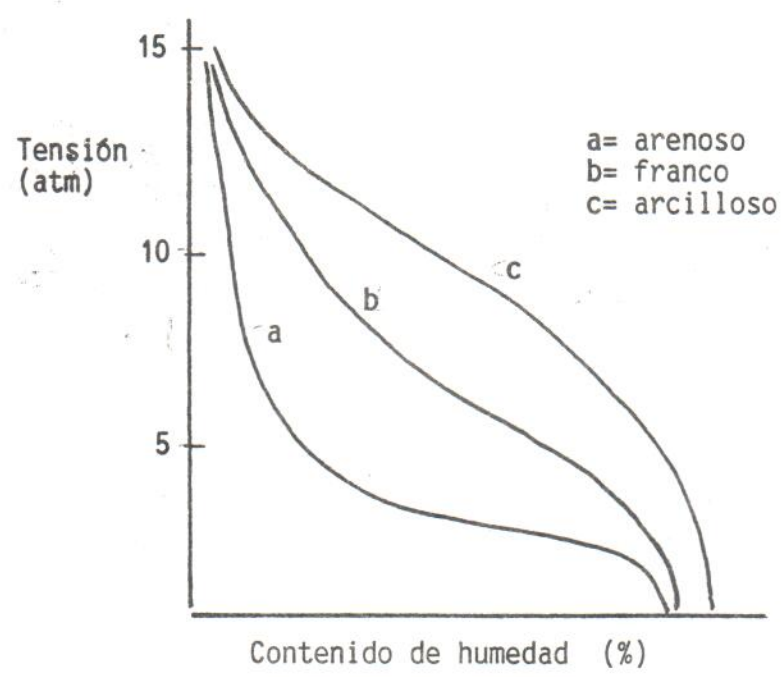


Figura 4. Curvas de retención de humedad de suelos de distintas texturas.

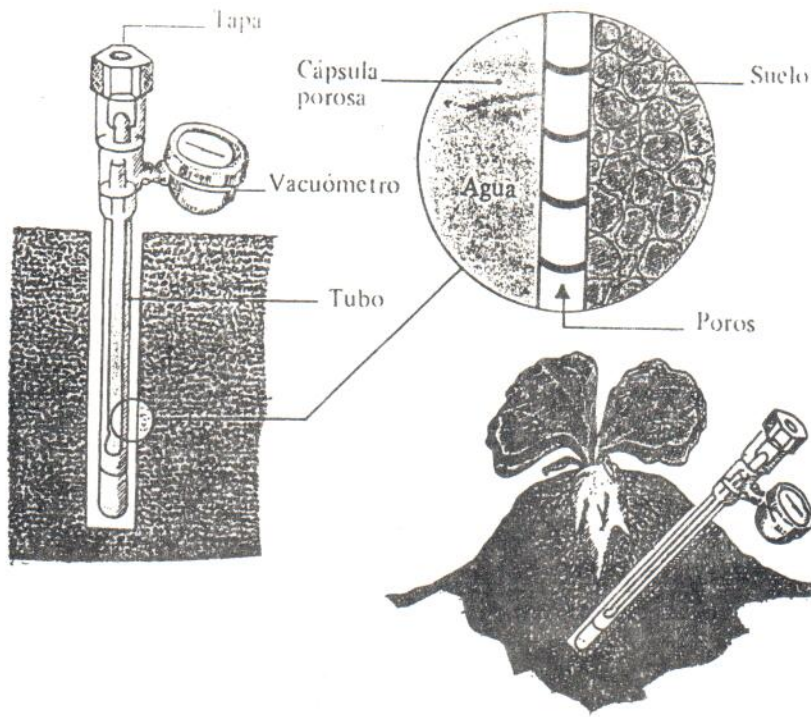


Figura 5. Tensiómetros para estimar la humedad del suelo.

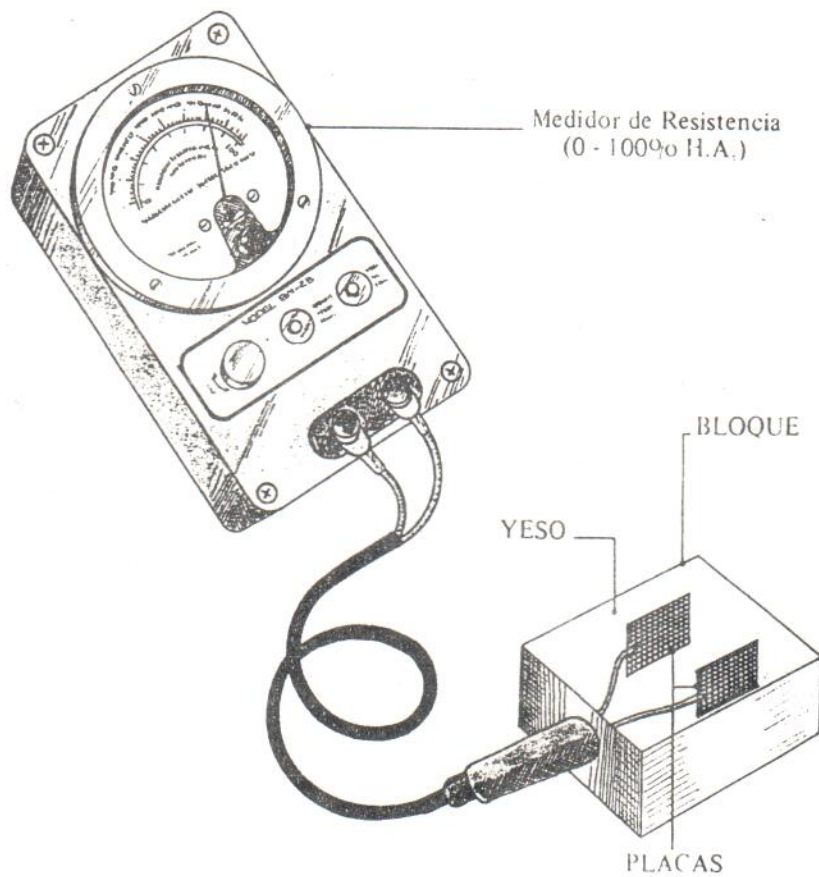


Figura 6. Bloques de yeso para estimar la humedad del suelo.

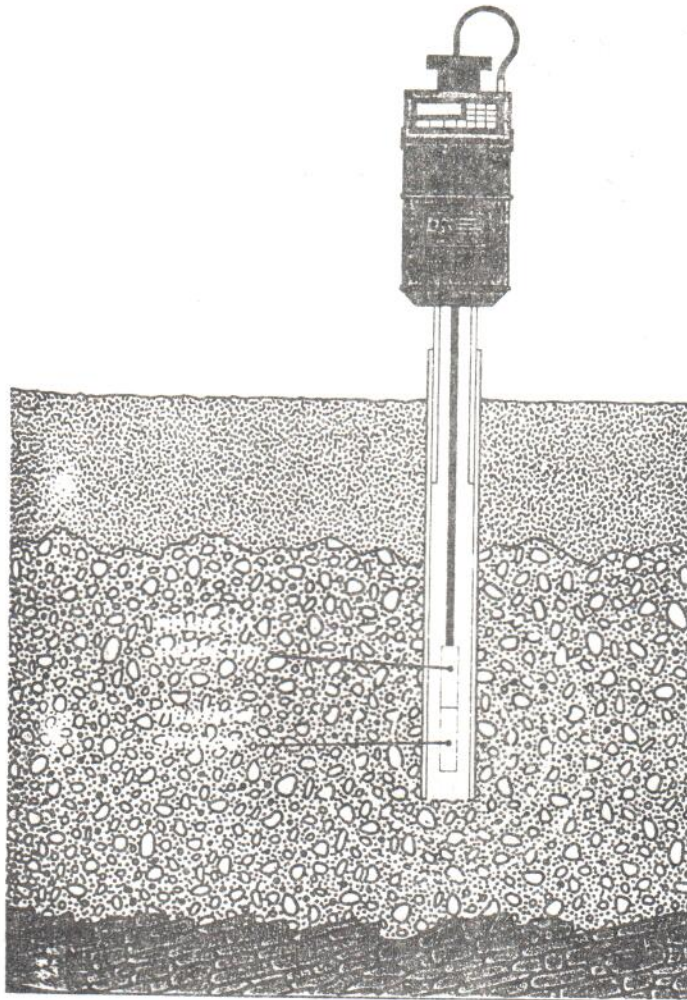


Figura 7. Medidor de neutrones.

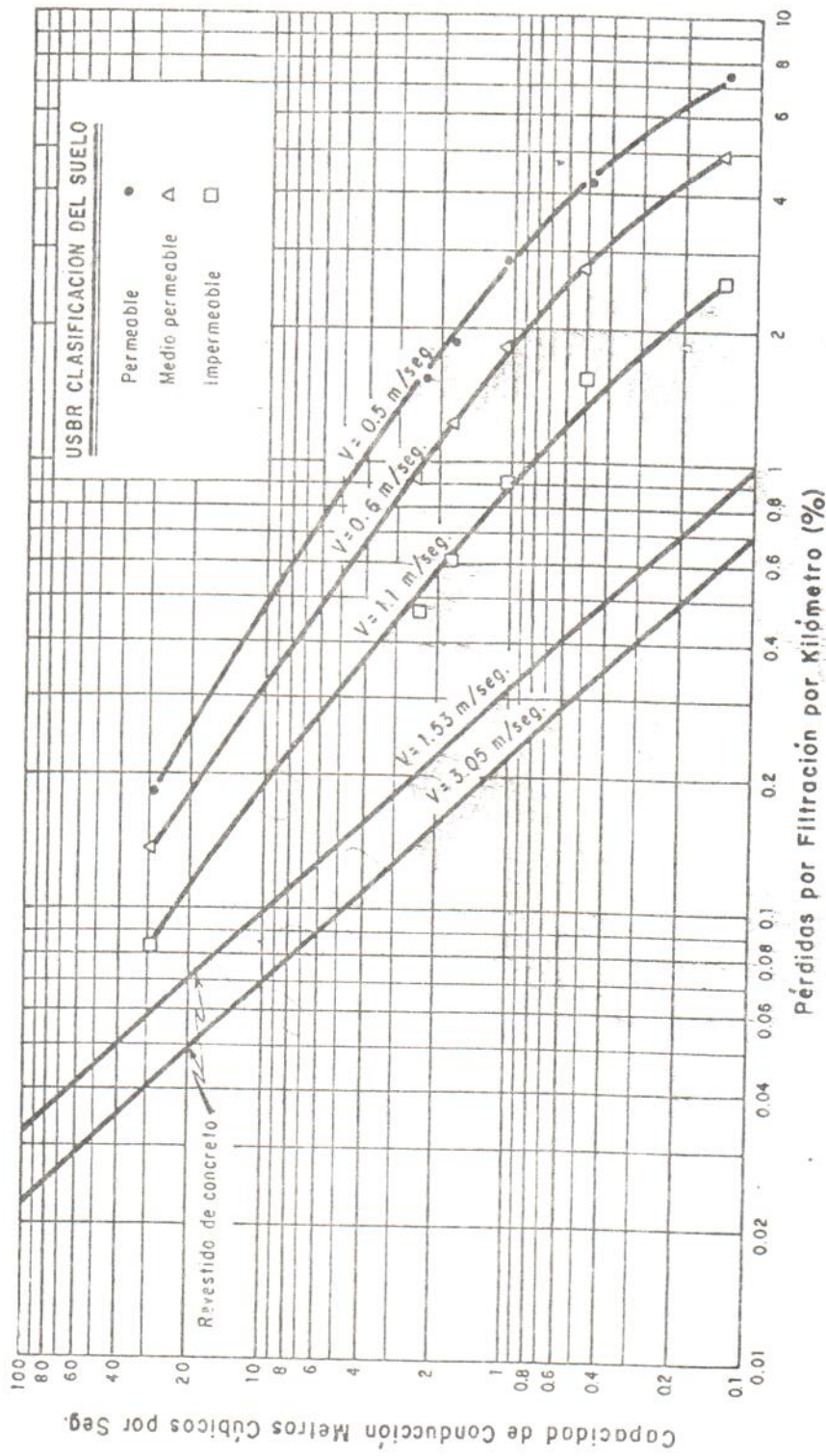
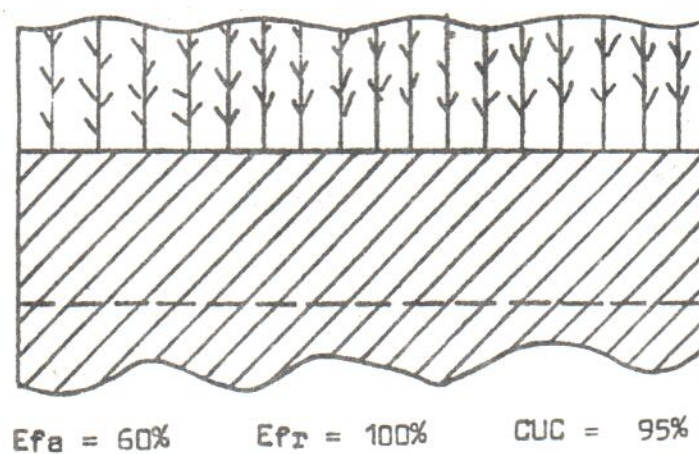
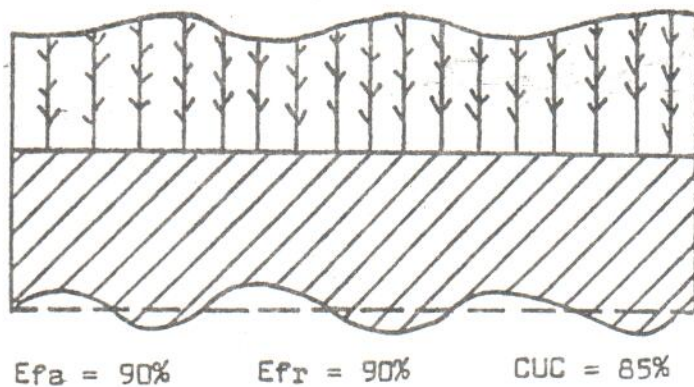
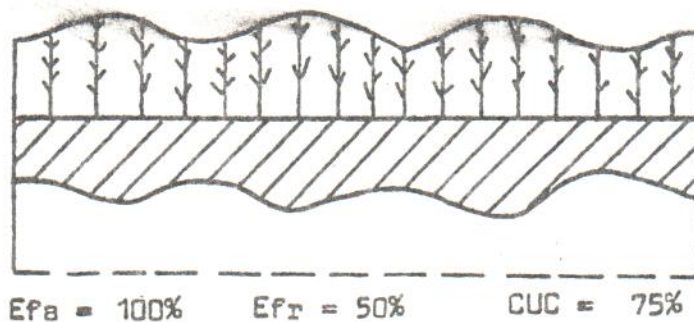


Figura 8 - FILTRACION DEL CANAL v.s. CAPACIDAD DE CONDUCCION



(E_{fa} = Eficiencia de aplicación; E_{fr} = Eficiencia de riego; CUC = Coeficiente de uniformidad).

Figura 9. Patrones de distribución de agua en un cultivo bajo riego.

BIBLIOGRAFIA

1. Hagan, R. M.; H. R. Haise and T. W. Edminster (Ed). 1967. Irrigation of agricultural lands. American Society of Agronomy, Madison, U.S.A. Agronomy Serie N° 11.
2. Israelsen, O. W. y V. E. Hansen. 1965. Principio y aplicaciones del riego. Editorial Reverté, Barcelona.
3. Jara, J. C. 1986. Eficiencia de riego. En. Curso Proyectos de Riego, Departamento Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción.
4. Salgado, L. G. 1987. Riego y Drenaje. En. Boletín Técnico Remolacha, IANSA, Chile.
5. Tosso, J. 1982. Riego. Elementos fundamentales para su mejor uso. Boletín Riego Tecnificado VINILIT, Pizarreño, Chile.
6. Valenzuela, A. 1990. Requerimientos de riego de la zona sur del país. Departamento de Ingeniería Agrícola, Universidad de Concepción, Boletín Técnico N° 44.

Impreso en los Talleres de la
UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
CAMPUS CHILLAN