

**CURSO CI-61C**  
**INGENIERIA DE RIEGO**

Profesor: Luis Arrau del Canto  
Sesión N°8

**LOS SUELOS Y SU RELACION CON EL RIEGO**

**1. INTRODUCCION.**

En relación con el desarrollo vegetativo de los cultivos, los suelos permiten proporcionar a las plantas, a través de sus raíces, los siguientes elementos básicos:

- Nutrientes
- Agua
- Oxígeno
- Sostenimiento mecánico

Hoy en día, el desarrollo de las técnicas de riego ha permitido que se reemplace al suelo en varias de estas funciones. Por ejemplo, el suministro de nutrientes a través del agua con el riego por goteo, ha permitido desarrollar éste en suelos de pésima calidad, tradicionalmente clasificados como no aptos para cultivar. En los últimos años, ha tomado gran impulso la técnica de la hidroponía, que consigue reemplazar en su totalidad al suelo. Sin embargo, cada una de estas nuevas aplicaciones tiene su mayor justificación en determinados lugares, con condiciones muy especiales de clima, agua y suelos. Por lo tanto, un gran porcentaje de la agricultura seguirá desarrollándose por muchos años en la forma tradicional, aprovechando al máximo los beneficios que ofrecen los suelos según sus características.

**2. FORMACION DE LOS SUELOS.**

La formación de los suelos, que corresponde básicamente a una descomposición gradual y muy lenta de la roca, involucra una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, en los cuales influyen los siguientes factores:

- Material original: Tipo de rocas
- Clima: Temperatura, humedad, hielos, vientos, etc.
- Organismos vivientes: Plantas y animales micro y macroscópicos
- Topografía: Forma y posición del terreno
- Tiempo: Período sujeto a la formación del suelo
- Descomposición química por agua, oxígeno, CO<sub>2</sub> y varios ácidos

Los suelos hoy productivos han demorado cientos o miles de años en formarse, razón por la cual se puede afirmar que el suelo es un recurso natural no renovable, necesario de cuidar.

Los suelos así formados, contienen los tres estados físicos de la materia, es decir, fases sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida corresponde aproximadamente a un 50% y contiene materia mineral (45%) y materia orgánica (5%), en tanto que el otro 50% queda conformado por proporciones variables de agua y aire.

Al observar un corte vertical de un suelo, se pueden apreciar capas de distinta apariencia, denominadas "horizontes". El conjunto de los horizontes conforma el "perfil del suelo". En general, se se pueden distinguir los tres horizontes principales siguientes:

- Horizonte A : Es la capa más superficial del suelo y se caracteriza por tener el mayor contenido de materia orgánica.
- Horizonte B : Es la capa denominada corrientemente "subsuelo" y en ella se pueden acumular ciertas sustancias solubles y materias coloidales, muy finas, transportadas desde el suelo superficial.
- Horizonte C : Corresponde al material original y es el menos afectado por los agentes físicos, químicos y biológicos.

Si el material original se ha formado en su posición original, el suelo se denomina **sedentario** o **residual**. Aquel que ha sido llevado a una nueva ubicación por las fuerzas naturales se denomina **transportado**, existiendo varios tipos:

- Transportado o deslizado por los ríos : **aluvial**
- Transportado o deslizado por el mar : **marino**
- Transportado o deslizado por los lagos : **lacústico**
- Transportado o deslizado por el viento : **eólico**
- Transportado o deslizado por los glaciares : **glacial**
- Deslizado por gravedad : **coluvial**

### 3. TEXTURA DEL SUELO.

En un suelo se pueden distinguir los elementos gruesos, por sobre 2 mm de tamaño, y los elementos finos, de 2mm o menos de tamaño. La textura indica la proporción relativa en que se encuentran presentes en el suelo la **arena**, el **limo** y la **arcilla**, que corresponden a los elementos finos.

No existe un criterio universal para definir los límites de tamaño entre las arenas, los limos y las arcillas. No obstante, los sistemas de clasificación más usados corresponden al del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA) y al denominado Sistema Internacional (SI), los cuales difieren solamente en el límite entre arena y limo. En Tabla N°8.1, se entregan los límites definidos por ambos sistemas para las partículas finas.

**TABLA N<sup>o</sup>8. 1**  
**CLASIFICACION DE LOS ELEMENTOS FINOS DE UN SUELO**  
**SISTEMA DE CLASIFICACION**

	USDA	SI
Arena	2,000 - 0,050 mm	2,000 - 0,020 mm
Limo	0,050 - 0,002 mm	0,020 - 0,002 mm
Arcilla	menos de 0,002 mm	menos de 0,002 mm

Ambos sistemas clasifican a las arenas de la siguiente forma:

USDA :	Arena muy gruesa	:	2,00 - 1,00 mm
	Arena gruesa	:	1,00 - 0,50 mm
	Arena media	:	0,50 - 0,25 mm
	Arena fina	:	0,25 - 0,10 mm
	Arena muy fina	:	0,10 - 0,05 mm
SI :	Arena gruesa	:	2,00 - 0,20 mm
	Arena fina	:	0,20 - 0,02 mm

De acuerdo con las definiciones anteriores, se clasifican los suelos en **clases texturales**, que se diferencian en los porcentajes relativos de arenas, limos y arcillas. Estas clases texturales se ilustran en los gráficos triangulares de la página siguiente, correspondientes al sistema USDA y SI respectivamente. Para efectos prácticos, el USDA define **grupos de texturas** de la siguiente forma:

- Texturas muy finas	Arcilla coloidal (<0,001mm)
- Texturas finas	Arcilla Arcilla arenosa Arcilla limosa
- Texturas moderadamente finas	Franco arcillosa Franco arcillo limosa Franco arcillo arenosa
- Texturas medias	Franco Franco limosa Franco arenosa muy fina
- Texturas moderadamente gruesas	Franco arenosa Franco arenosa fina
- Texturas gruesas	Areno francosa
- Texturas muy gruesas	Arenosa

FIGURA N° 8.1

Clases de textura, según  
el Bureau de sueldos  
U.S.D.A.

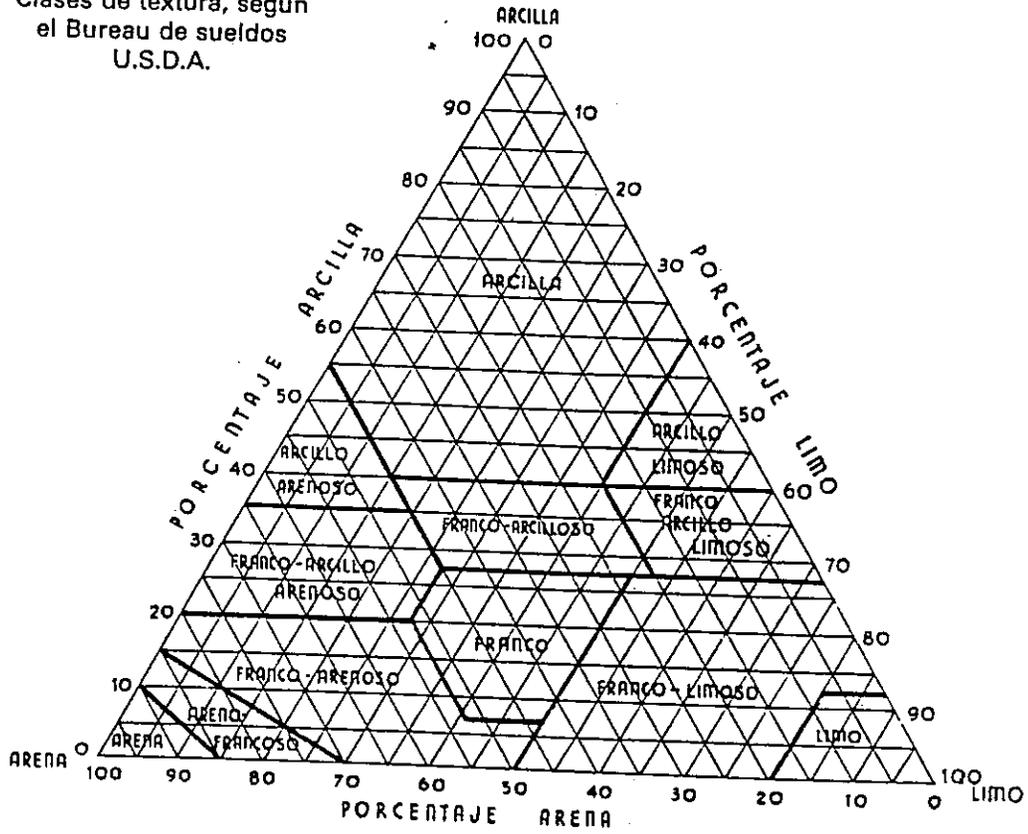
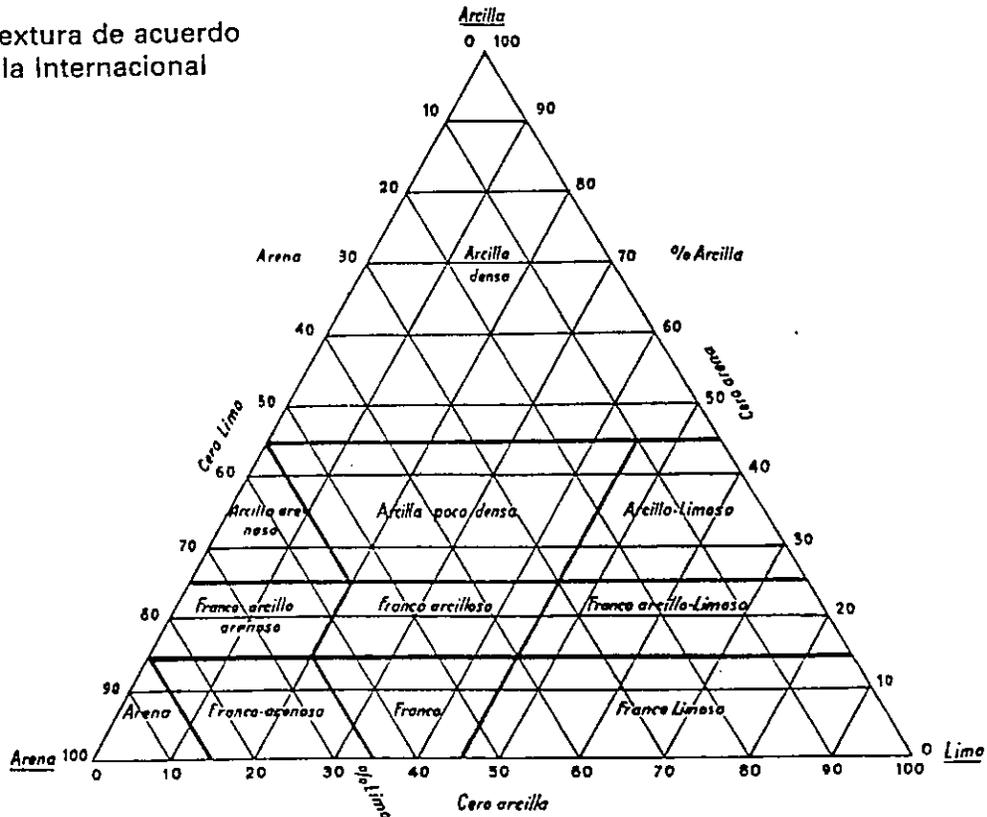


FIGURA N° 8.2

Clases de textura de acuerdo  
con la escala internacional



Como receta práctica para una primera visita de terreno, se puede frotar en la yema de los dedos un poco de tierra húmeda, ni saturada ni seca:

- Si se siente "áspera", predomina la arena
- Si se siente "pegajosa", predomina la arcilla
- Si se siente "suave", predomina el limo

La textura de los suelos determina en alto grado varias de sus propiedades físicas relacionadas con el uso agrícola, a saber:

- aireación
- infiltración y retención de humedad
- faciilidad de laboreo

En general, los suelos arenosos son porosos, permeables, no tienen mayor capacidad de retención de la humedad, tienen baja cohesión y plasticidad, y contienen pocas reservas de elementos nutritivos. Por su parte, los suelos arcillosos son poco filtrantes, demasiado retenedores de la humedad, plásticos en estado húmedo y muy difíciles de laborear, o "pesados".

Por lo tanto, los suelos más deseables desde un punto de vista agrícola, corresponden a aquellos de texturas medias, con 10% a 20% de arcilla, y no más de 50% de arena ni más de 50% de limo.

#### 4. ESTRUCTURA DE UN SUELO.

Los elementos finos, por lo general, no se encuentran presentes en el suelo en forma individual o aislada, sino que formando agregados terrosos. El grado de agregación y la forma y tamaño de los agregados constituyen la **estructura** del suelo. De acuerdo con las características de los agregados, se distinguen los siguientes tipos de estructuras:

- "Granular" o "De miga": Agregados esféricos, más bien pequeños.
- "De Bloques": Agregados algo mayores, menos redondeados.
- "Laminar": Agregados tienen su eje horizontal mucho mayor.
- "Prismática": Agregados tienen su eje vertical mucho mayor.
- "De grano simple": Suelos arenosos, sin estructura definida.
- "Masiva": Partículas varias, ordenadas sin estructura definida.

La mayor importancia de la estructura de un suelo agrícola consiste en la aptitud que le da a éste para que las raíces puedan desarrollar sus funciones fisiológicas. Entre otros factores, se pueden citar la importancia de facilitar la penetración en el suelo, no dificultar el laboreo y contribuir al control de la erosión. En Tabla N°8.2, se indica la profundidad del sistema radicular de algunos cultivos. En consideración a los aspectos anteriormente citados, la estructura ideal de un suelo

es la granular, que además indica una adecuada presencia de "humus" (agente que contribuye a formar agregados terrosos estables) y una adecuada constitución física del suelo.

**TABLA Nº8.2**  
**PROFUNDIDAD DEL SISTEMA RADICULAR DE ALGUNOS CULTIVOS**

Cultivos	Profundidad (m)	Cultivos	Profundidad (m)
Alfalfa	3,0 a 4,5	Pepinos	1,1
Almendros	1,8 a 2,7	Berenjenas	0,9
Damascos	1,8 a 2,7	Higueras	1,5
Alcachofas	1,4	Granos y Lino	1,2
Espárragos	3,0	Vides	2,4
Porotos verdes	0,9	Trébol Ladino	0,6
Betarragas	0,9	Lechugas	0,4
Melones Cantaloup	1,2 a 1,8	Melones	1,5
Zanahorias	0,9	Olivos	1,8 a 2,7
Apio	0,6	Cebollas	0,3
Cerezos	1,8 a 2,7	Arvejas	1,1
Cítricos	1,2 a 1,8	Ciruelos	1,8 a 2,7
Maíz dulce	0,9	Perales	1,8 a 2,7
Maíz	1,8	Aji	0,9
Rábanos	0,4	Papas	0,9
Espinacas	0,6	Calabazas	1,8
Zapallos	0,9	Nabos	0,9
Sorgo	sobre 1,8	Frutillas	0,9 a 1,2
Tomates	1,8 a 3,0	Sandías	1,8
Nogales	3,6 a 5,4		

Las principales causas de deterioro de la estructura de un suelo agrícola, son las siguientes:

- Exceso de laboreo mecánico para la preparación de la siembra.
- Destrucción de la materia orgánica a causa de activarse demasiado su oxidación por el cultivo continuado.
- Excesiva compresión del suelo cuando se le ara con mucha humedad.
- Pérdida de la capa vegetal por erosión.
- Alcalinización del suelo.
- Formación de costras por el impacto de la lluvia o efectos del riego.
- Insuficiente drenaje.

Los principales recursos o medidas para mantener una buena estructura, se pueden resumir de la siguiente manera:

- Restitución de la materia orgánica mediante adecuadas rotaciones, que incluyan praderas.

- Incorporación de guano de corral u otro.
- Control de la erosión.
- Empleo de fertilizantes en forma racional.
- Control de las napas de agua, especialmente en presencia de sales.

## 5. MATERIA ORGANICA Y MICROORGANISMOS.

La materia orgánica es uno de los factores más importantes en la productividad del suelo, porque afecta prácticamente a todas sus propiedades. Está formada por restos y productos de seres vivos, en estados variables de descomposición, que pueden provenir de:

- Residuos de plantas (hojas, tallos, raíces)
- Residuos de animales (lombrices, insectos u otros)
- Residuos de microorganismos
- Residuos de excrementos de animales

En el proceso de descomposición gradual se liberan nutrientes, así como anhídrido carbónico y cierta cantidad de energía en forma de calor, haciéndose aprovechable por las plantas. También va quedando un residuo consistente en un polvo fino de color negro o pardo oscuro, denominado humus, que es un coloide bastante resistente a una mayor descomposición, el cual constituye la materia orgánica más estable del suelo y es físico-químicamente muy activo, más que las arcillas.

La cantidad de materia orgánica que un suelo puede acumular depende de la temperatura, humedad, aireación, pH y otras características. También, de la cantidad y naturaleza de los residuos orgánicos devueltos al suelo. Se definen así como suelos orgánicos a aquellos que contienen más de un 20% de materia orgánica, y corresponden normalmente a pantanos o turberas. En Chile, la mayoría de los suelos agrícolas tiene entre 1,5% y 6,0%, con excepción de los trumaos, que a veces sobrepasan el 15%.

Entre los grandes beneficios que proporciona la materia orgánica al suelo, se pueden resumir los siguientes:

- Contribuye a que las partículas minerales individuales del suelo formen agregados estables, mejorando así la estructura del suelo y facilitando su laboreo.
- Favorece una buena porosidad, mejorando así la aireación y la penetración del agua.
- Aumenta la capacidad de retener agua.
- Por las razones anteriores, disminuye los riesgos de erosión.
- Proporciona partículas de tamaño coloidal con carga negativa (humus), que tienen alta capacidad de retener e intercambiar cationes nutritivos.

- Actúa como agente amortiguador al disminuir la tendencia a un cambio brusco del pH del suelo cuando se aplican sustancias de reacción ácida o alcalina.
- Hace posible la formación de complejos órgano-metálicos, estabilizando así micronutrientes del suelo que de otro modo no serían aprovechables.
- Es una fuente de elementos nutritivos, según se explica a continuación.

Los microorganismos, tales como las bacterias, los hongos, los actinomicetes y las algas, además de contribuir a la formación del suelo tienen efecto sobre su fertilidad. En efecto, contribuyen a la descomposición de la materia orgánica, en un proceso que permite la liberación de elementos nutritivos, aprovechables por las plantas.

Finalmente, es necesario hacer mención de la importancia de la capacidad de intercambio catiónico, que es mayor en suelos con alto contenido arcilloso y de humus. Mientras mayor es esta capacidad, mayor es la fertilidad del suelo debido principalmente a:

- Mayor resistencia a las pérdidas de nutrientes provocadas por los procesos de lixiviación.
- Poder amortiguador contra los cambios bruscos en el pH.

## 6. EL pH Y LOS NUTRIENTES.

La reacción del suelo, o pH, puede ser de tres tipos, a saber:

- pH < 7 o Reacción Ácida: Mayor concentración relativa de iones Hidrógeno (H<sup>+</sup>) que Hidroxilo (OH<sup>-</sup>).
- pH = 7 o Reacción Neutra: Ambos iones están presentes por igual, neutralizándose.
- pH > 7 o Reacción Alcalina: Mayor concentración relativa de iones Hidroxilo que Hidrógeno.

Según su pH, los suelos se pueden clasificar de la siguiente forma:

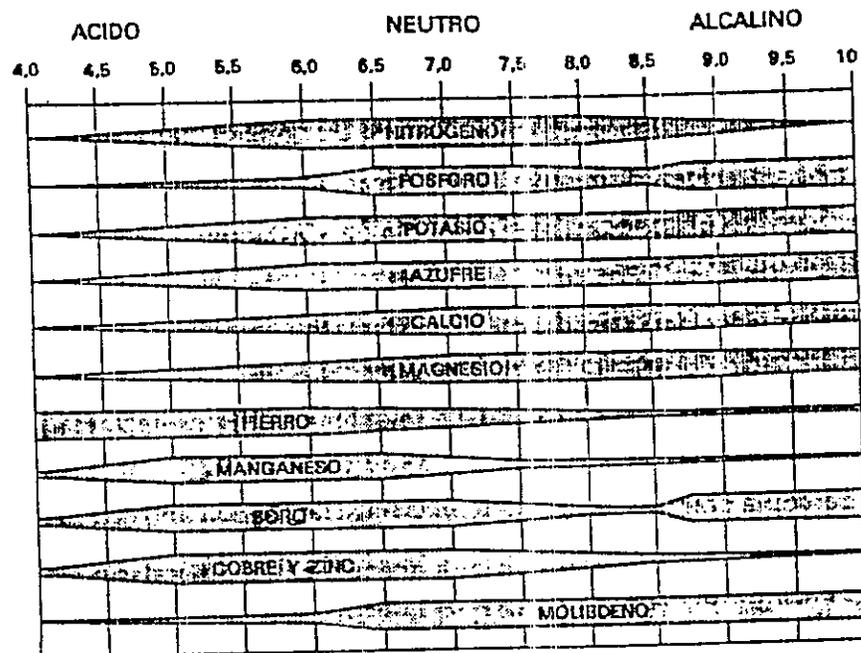
más de 8,5 :	fuertemente alcalino
8,0 a 8,5 :	moderadamente alcalino
7,5 a 8,0 :	ligeramente alcalino
6,6 a 7,4 :	neutro o casi neutro
6,0 a 6,5 :	ligeramente ácido
5,5 a 6,0 :	moderadamente ácido
5,0 a 5,5 :	fuertemente ácido
menos de 5,5 :	muy fuertemente ácido

La importancia del pH del suelo en las plantas se puede sintetizar en que produce efecto sobre:

- la aprovechabilidad de los nutrientes
- la solubilidad de sustancias tóxicas
- los microorganismos
- las células de las raíces

En la Figura Nº 8.3 se ilustra la aprovechabilidad relativa de algunos nutrientes en función del pH. Los nutrientes primarios son el Nitrógeno, el Fósforo y el Potasio.

**FIGURA Nº 8.3**  
**APROVECHABILIDAD DE NUTRIENTES SEGUN pH DEL SUELO**



Por lo general, en los climas áridos predominan los suelos neutros a alcalinos, en tanto que en los climas lluviosos predominan los suelos ácidos. La lixiviación y los fertilizantes amoniacales acidifican los suelos, disminuyendo las cantidades de K, Mg, Ca y Na aprovechables por las plantas. Para corregir la acidez del suelo se requiere de importantes cantidades de cal, o Carbonato de Calcio. Por ejemplo, para elevar el pH de 5 a 6,5 de una capa arable de 20 cm de espesor, de un suelo de textura media, se requieren 5 toneladas de cal por hectárea. Una de las ventajas del Salitre en este aspecto, es que no sólo no acidifica, sino que posee un poder neutralizante de la acidez.

## 7. INFILTRACION.

Existen numerosos estudios para representar el fenómeno de la infiltración del agua en los suelos, en el tiempo. Una de las fórmulas empíricas, cuyo uso ha perdurado mayormente, quizás por su sencillez y buena representatividad, corresponde a la Ecuación de Kostiaikov, que se describe a continuación.

$$d = K \cdot t^m$$

d = infiltración total (mm)

t = tiempo (min)

m = constante, que depende de la estabilidad de la estructura del suelo frente al agua:  $0 < m < 1$ . Para estructuras estables,  $m > 0,6$ .

Con relación al parámetro K, la Tabla Nº8.3 muestra los rangos de variación y el promedio de la infiltración básica para diferentes texturas.

**TABLA Nº8.3**  
**INFILTRACION BASICA**

Textura del suelo	Rango normal de variación (mm/hr)	Valor promedio (mm/hr)
Arenoso	25,0 a 250	50
Franco Arenoso	12,0 a 75	25
Franco	7,5 a 20	12,5
Franco Arcilloso	2,0 a 15	7,5
Arcillo Limoso	0,2 a 5	2,6
Arcilloso	0,1 a 1	0,5

## 8. POROSIDAD DEL SUELO Y DEFINICIONES BASICAS DE RIEGO.

Para efectos prácticos, se distinguen dos tipos de poros en los suelos:

- i) minúsculos o capilares
- ii) grandes o macroporos

Un suelo saturado es aquél que tiene todos sus poros con agua. Sin embargo, para que esto ocurra deben darse condiciones especiales de falta de drenaje, porque el agua de los macroporos se infiltra por gravedad dando paso a una saturación solamente de los capilares. Esta situación es la denominada "Capacidad de Campo" (CC) de un suelo y corresponde a la máxima

humedad que éste puede poner a disposición de las plantas. Es función de la textura, de la materia orgánica y de otros factores. Ahora bien, sólo parte de ella puede ser utilizada por las plantas, debido a que existe una fuerza física que mantiene el agua en el suelo y que va aumentando a medida que el suelo se va secando, hasta llegar a ser superior a la tensión con que las raíces de las plantas tratan de extraer el agua: Esto es lo que se denomina "Punto de Marchitez Permanente" (PMP). Los suelos arenosos tienen una CC del orden de 10% de humedad y un PMP del orden de 4%, en tanto que los suelos pesados presentan CC de 25 a 30% y PMP de 15% aproximadamente.

A partir de los parámetros anteriores, se efectúa una serie de definiciones adicionales para homogeneizar algunos conceptos del riego:

**Humedad Aprovechable (HA)** por las plantas =  $CC - PMP$

**Deficit de Agua (DA)** en el suelo = cantidad de agua que habría que agregar para que el suelo quede a Capacidad de Campo

**Velocidad de Infiltración** = velocidad con que el agua ingresa en el perfil del suelo

**Tiempo de Infiltración** = tiempo necesario de inundación para que infiltre el deficit de agua

**Percolación Profunda** = toda el agua que penetra más abajo de la zona de raíces

**Escurrimiento Superficial** = derrame, o agua que no infiltra

**Eficiencia de Riego** = proporción entre el agua acumulada en la zona de raíces y el agua total aplicada al terreno

**Lámina o Carga de Agua** = unidad de longitud para expresar las cantidades de agua: 1.000 m<sup>3</sup>/ha equivalen a una lámina de 10 cm

La frecuencia de riego depende de varios factores, como el agua aprovechable, el perfil del suelo ocupado por las raíces, el tipo de cultivo, o las características climáticas. Existen fórmulas de cálculo, que deben ajustarse en el terreno, pero como receta práctica normalmente se recomienda regar cuando se llega a un 50% de la humedad aprovechable, situación que se detecta con un "tensiómetro" ubicado a la profundidad de la máxima profundidad radicular. Con respecto a los períodos críticos, en los cuales no debe faltar el agua, por lo general corresponden a la **florescencia**, porque puede haber polinización deficiente, u el **crecimiento**, porque no se desarrolla todo el potencial genético de crecimiento.

La Tabla N28.4 ilustra recomendaciones de tipo general con relación a la frecuencia de riego, según las características del clima, los tipos de cultivos y el suelo.

**TABLA N<sup>o</sup>8. 4**  
**RECOMENDACIONES GENERALES DE FRECUENCIA DE RIEGO**

Regar más espa- ciado	CLIMA		Regar más a menudo
	Frio Húmedo Sin viento	Caluroso Seco Ventoso	
	PLANTA		
	Arraigamiento Profundo	Arraigamiento Superficial	
	Raíces vigorosas	Raíces dañadas o enfermas	
	Vegetación no cubre totalmente la sup. del suelo	Vegetación cubre totalmente la sup. del suelo	
SUELO			
Profundo Textura arcillosa	Delgado Textura arenosa		