



1.3 Propiedades físicas y químicas de suelos y aguas de riego

a. Propiedades físicas del suelo

Profundidad

La rizosfera o zona del suelo explorada por las raíces es un aspecto básico para el desarrollo de los cultivos y tiene un efecto bien correlacionado con la productividad. Un mayor espacio que explora las raíces significa mayores posibilidades de aire, temperatura, agua y elementos nutritivos y en consecuencia, un mejor desarrollo del sistema radicular del cultivo.

Textura

Se refiere a las diferentes proporciones relativas por peso de las diversas clases de partículas menores de 2 mm: la arena limo y arcilla. Es una propiedad fundamental del suelo, no se altera en el tiempo que demora una generación humana, por lo que determina su valor económico. Cuanto más finas son las partículas, mayor será la proporción de humedad que podrá retener contra la fuerza de gravedad.

La propiedad física que más influye en el desarrollo radicular de las plantas es la textura como condicionante de la estructura, ésta a su vez es la responsable de la porosidad, tanto en su valor absoluto como en el relativo, es decir la distribución entre macro y microporosidad.

Un suelo arcilloso o de textura fina contiene más de 30% de arcilla, suele denominarse suelos “pesados” por la resistencia a las labores de cultivo, destacando por sus propiedades:

- Elevada capacidad de retención de agua absorbiendo gran parte.
- Escasa permeabilidad al aire y al agua, exentos con suelos con buena estructura.
- Gran poder de adsorción y retención de los elementos nutritivos con gran poder de fijación e inmovilización de los mismos en determinadas condiciones.
- Alto nivel de plasticidad y de resistencia mecánica.

Un suelo arenoso o de textura arenosa contiene más de 80% de arena, suele denominarse suelos ligeros o sueltos con característica contrarias a las citadas.

- Gran permeabilidad al aire y al agua, baja retención de agua, gran facilidad de infiltración, poca capacidad de almacenar agua para las plantas.
- Escasa resistencia mecánica al laboreo.
- Baja retención de los elementos nutritivos, capacidad de cambio de cationes, aniones y fertilidad.
- Bajo contenido de materia orgánica por el exceso de aireación del suelo.
- Mayores riesgos de contaminación por lavado de nitratos por las aguas subterráneas.

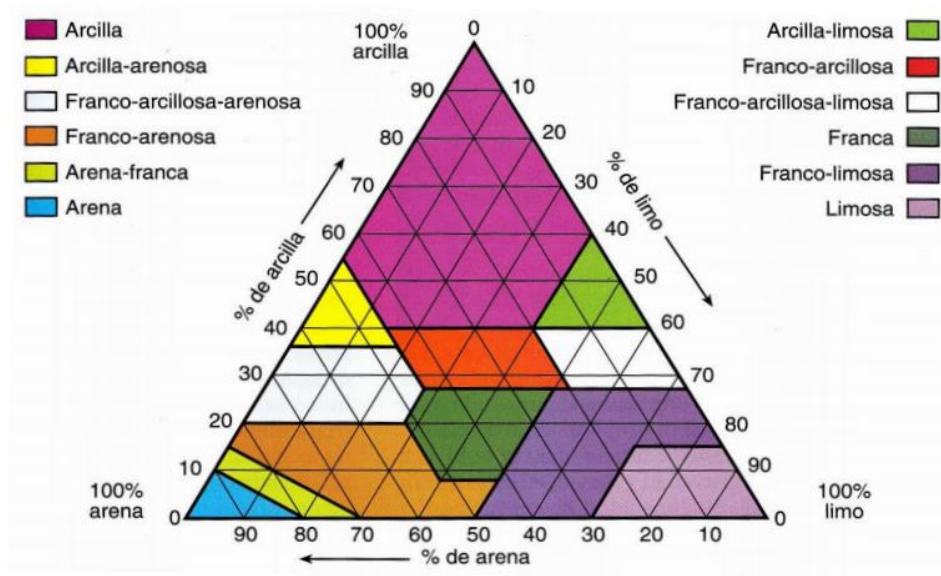


Figura 13. Triángulo de Lyon para la determinación de la textura del suelo.

De las escalas de clasificación de texturas de suelos, la internacional y la americana; la más utilizada, es la americana.

Las líneas trazadas paralelas a los lados en el triángulo, determinan los límites en porcentaje del componente: arcilla, limo y arena.

Es así, si un suelo contiene 60 % de arena, 30 % de limo y 10 % de arcilla corresponde a una textura franca arenosa y si el porcentaje de arcilla es 20 %, el de limo 40 %, la arena será de 40 %, la textura es franca.

Estructura

Es una característica ligada a la vida en el suelo, debido a que las partículas no forman una masa continua, sino que al unirse crean una especie de espacios por donde circula el



oxígeno y el agua necesaria para las plantas y los microorganismos; es decir en el suelo gracias a la presencia de las interacciones físico químicas entre las arcillas y los grupos funcionales de materia orgánica, las partículas se van ordenando de granos individuales en partículas más grandes denominados agregados.

Permeabilidad

Consiste en la facilidad que ofrece el suelo para ser atravesado por el agua, es decir lo que interesa es saber la velocidad de infiltración del agua en el suelo. Normalmente se mide el avance en mm /hora. Es decir los milímetros que baja el agua en una hora. En suelos con pendientes pronunciadas al no poder infiltrarse el agua sobrante, tenderá a producir la escorrentía, con el riesgo de arrastrar la mejor tierra o capa arable. De aquí la importancia de conocer las características físicas del suelo.

Densidad Aparente

La densidad aparente, se define como la masa por unidad por volumen o también podemos decir que es la densidad del suelo seco en conjunto que incluye los sólidos y los poros. Se caracteriza porque varía en el tiempo y depende de la textura y estructura del suelo.

Tiene interés desde el punto de vista del manejo del suelo, ya que informa sobre la compactación de cada horizonte, y permite inferir las dificultades para la emergencia y enraizamiento de las plantas y la circulación del agua y del aire.

El conocimiento del valor de la densidad aparente en la interpretación y recomendaciones de los análisis del laboratorio, es importante para referir a un volumen de suelo en el campo y la capacidad de almacenamiento de agua.

Tabla 1.

Densidad aparente en suelos según su textura (Varía de acuerdo al manejo y tipo de suelo).

TEXTURA	DENSIDAD APARENTE	
	(kg/m ³)	(gr/cm ³)
Arena	> 1.700	> 1.7
Franco arenoso	1.500 - 1.600	1,5 - 1,6
Franco	1.400 - 1.500	1,4 - 1,5
Franco arcilloso	1.300 - 1.400	1,3 - 1,4
Arcilla	1.100 - 1.300	1,1 - 1,3

Métodos de medida de la densidad aparente.

- **Método del cilindro.** Se utiliza un cilindro metálico de volumen conocido con borde biselado hacia el exterior (aprox. de 100 centímetros cúbicos) con el que se extrae suelos sin disturbar del horizonte del suelo. Se puede aprovechar las calicatas e investigar como varía la densidad aparente con la profundidad como consecuencia de la compactación.
- **Método de la bolsa plástica.** Por la parte superior del horizonte se excava un hoyo de forma lo más regular posible, recuperando el material extraído, que se secará y pesará una vez seco. El volumen se determina encajando al agujero una bolsa de plástico delgada, que se llena con un volumen medible de agua. Es aplicable cuando no se cuenta con el cilindro y no se requiera gran precisión.

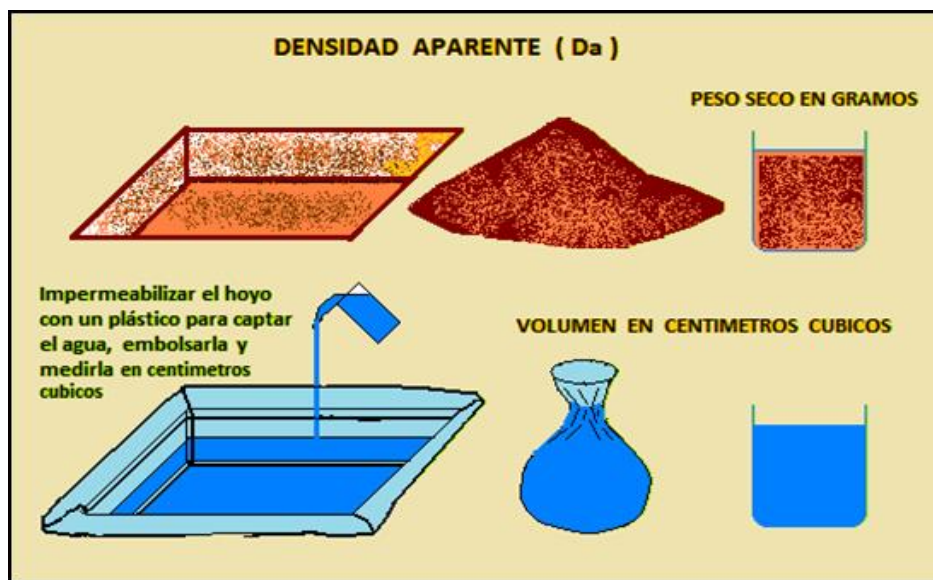


Figura 14. Método de campo para determinar la densidad aparente de un suelo no disturbado.

- **Método del terrón.** Se toma un terrón que se deja secar y se pesa, se reviste con parafina o con un plástico delgado hermético para que pueda determinarse su volumen por inmersión en un líquido (volumen del terrón más el del plástico) y alternativamente, se puede pesar el terrón al aire y sumergido en agua.



Figura 15. Método de inmersión de un suelo seco en un recipiente a ras de agua y medida del exceso de agua recogida en el envase mayor.

Para el cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$\begin{aligned} Da &= \text{Peso suelo gr.} / \text{Volumen (cc)}. \\ &= 325 \text{ gr} / 250 \text{ cc}. \end{aligned}$$

$$Da = 1.30 \text{ gr/cc}.$$

Densidad Real

Es la densidad media de los componentes de la fase sólida, es constante en el tiempo e independiente de la estructura. Para calcular la densidad real o también llamada peso específico se utiliza la misma fórmula que se utilizó para la densidad aparente, pero considerando el volumen ocupado solo por las partículas sólidas, por lo que siempre el resultado es mayor.

Porosidad

Se entiende por porosidad, los espacios que quedan entre las partículas sólidas y que son ocupados por el aire o el agua.



Cuanto más fina es la textura, mayor es el número de poros que existen; en los terrenos arenosos los poros son más grandes y el aire y el agua circulan con mucha facilidad.

En los suelos arcillosos, los poros son pequeños y tanto el aire como el agua, circulan con gran dificultad pero almacenan mucha humedad, ya que la capa de agua se adhiere a las partículas del suelo.

Cálculo de la densidad real, densidad aparente (da) y porosidad.

Con los datos de la densidad aparente, profundidad de muestreo y de acuerdo a la textura, se calcula el peso de la capa arable muy útil para muchos cálculos.

Ejemplo: La capa arable de un suelo con textura franca a 15 cm de profundidad y con una densidad aparente de 1.4 g/cm³ pesa 2 100,000 Kg/ha.

Datos:

Peso del suelo = 20 GR.

Volumen total = 16 CC.

Volumen de la fase sólida = 8 CC.

Densidad Aparente:

Da = 20 gr / 16 CC = 1.25gr / CC.

Densidad Real:

Dr 20 gr : 8 CC = 2.5 gr / CC.

Porosidad:

Si 16 CC (volumen total) -----100%.

8 CC ----- X = 50%.

b. Propiedades químicas del suelo

Tabla 2.

Propiedades químicas del suelo, rango óptimo y medidas correctivas.

Indicativo	Rango Óptimo	Medida Correctiva
pH	6.0 a 6.5	Acidificantes (Enmiendas o fertilizantes).
C.E. (dS/m)	1.0 a 1.5	Lavados, uso de correctores de sales.
CaCO ₃ (%)	1.0 a 3.0	Uso de acidificantes.
P (ppm)	7.0 a 14	Manejo dosis de Fósforo.
K (ppm)	150 a 250	Manejo dosis de Potasio.
MO (%)	2.0 a 4.0	Incorporación de MO; uso de Ácidos Húmicos.
Indicativo	Rango Óptimo	Medida Correctiva.
CIC (meq/100gr)	10 a 20	Incorporación de MO; uso de Ácidos Húmicos.
Ca (% de la CIC)	75 a 80	Manejo dosis de Calcio.
Mg (% de la CIC)	10 a 15	Manejo dosis de Magnesio.
K (% de la CIC)	5 a 10	Manejo dosis de Potasio.
Na (% de la CIC)	Menor a 5	Uso de correctores de sales.
PSI	Menor a 5	Incorporación de MO; uso de Ácidos Húmicos.

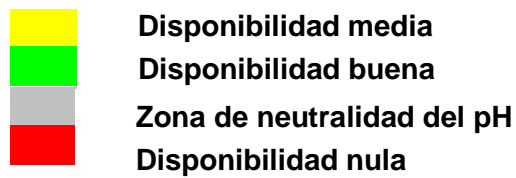
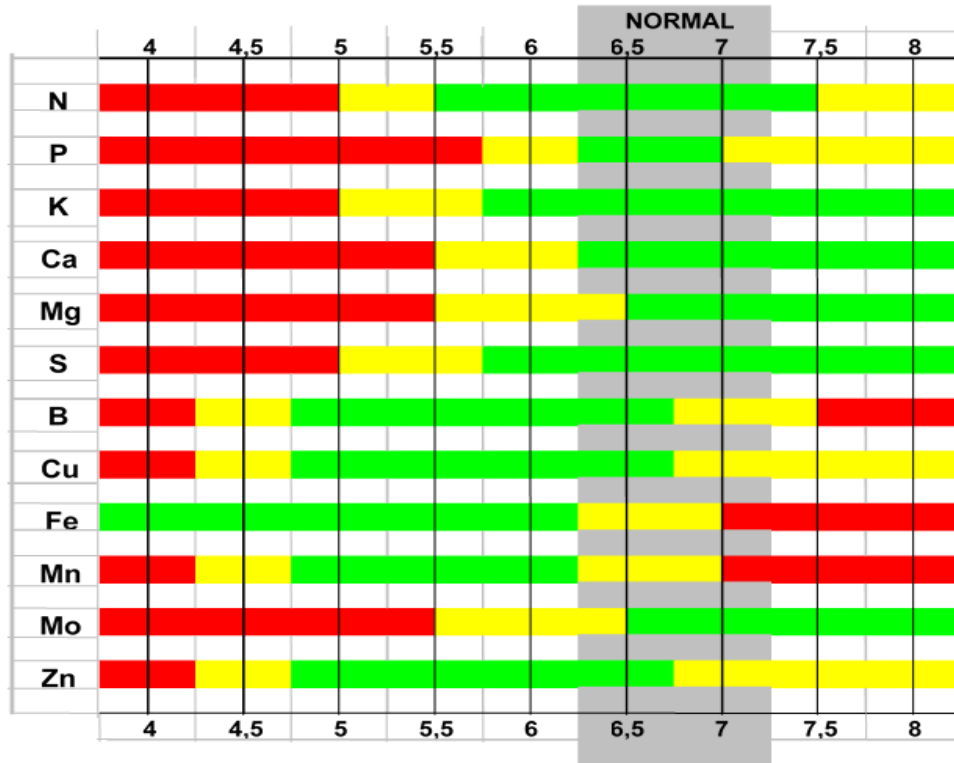


Figura 16. Efecto del pH sobre la disponibilidad de elementos nutritivos.

Tabla 3.

Susceptibilidad de los cultivos frente a la salinidad de los suelos.

SU SCEPTIBILIDAD A LA SALINIDAD			
CULTIVO (Especie)	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA		DISMINUCIÓN RENDIMIENTO
	(dS/m)	o (mmhos/cm)	%
Cebada	8.0		5.0
Palma datilera	8.0		
Algodón	7.7		5.2
Trigo	6.0		7.1
Soya	5.0		20.0
Granado	4.0	6.0	
Higuera	4.0	6.0	
Olivo	4.0	6.0	
Vid	4.0		
Cacahuete	3.2		29.0
Almendras	2.5		
Ciruelo	2.5		
Damasco	2.5		
Durazno	2.5		
Manzano	2.5	3.0	
Naranja	2.5	3.0	
Peral	2.5		
Tomate	2.5		9.9
Palto	2.0		
Caña de azúcar	1.7		5.9
Maíz	1.7		12.0
Pimiento	1.5		14.0
Cebolla	1.2		16.0
Berenjena	1.1		6.9
Betsabel	1.0		5.9
Frijol	1.0		19.0

c. Análisis de agua

Tabla 4.

Propiedades químicas del agua.

Indicativo	Rango Óptimo	Medida Correctiva
pH	5.5 a 6.0	Aplicación de acidificantes
CE (dS/m)	0.5 a 1.2	Uso de correctores de sales; manejo de la fertilización
Ca (meq/l)	10 a 20	Manejo de Ca, Mg y K.
Mg (meq/l)	5 a 10	Manejo de Ca, Mg y K.
K (meq/l)	< 1	Manejo de Ca, Mg y K.
Na (meq/l)	Lo menor posible	Manejo dosis Ca y S Uso de correctores de sales.
HCO ₃ (meq/l)	2 a 3	Acidificar el agua.
SO ₄ (meq/l)	8 a 10	Manejo según sensibilidad del cultivo.
Cl (meq/l)	6 a 8	Manejo según sensibilidad del cultivo. Manejo de Nitratos
RAS	Menor a 5	Manejo dosis de Ca y S Uso de correctores de sales.
B (ppm)	0.7 a 2.0	Manejo dosis de Ca.

Niveles del contenido de agua en el suelo

En función de la mayor o menor proporción de agua en los poros del suelo, y su disponibilidad para la planta se definen cuatro niveles de humedad:

Saturación: Cuando todos los poros están llenos de agua.

Límite superior (LS): Es un nivel de humedad que se consigue dejando drenar el agua del suelo saturado. Este contenido de agua es la mayor cantidad de agua que el suelo puede llegar a almacenar sin drenar. También se conoce como capacidad de campo (CC).

Capacidad de Campo (CC): Es el contenido de agua de un suelo, después que ha sido mojado abundantemente y se ha dejado drenar libremente, evitando las pérdidas por evapotranspiración alrededor de 24 a 48 horas después del riego o la lluvia.

Límite inferior (LI): Si el suelo no recibe un nuevo aporte, la evaporación de agua desde el suelo y la extracción por parte de las raíces hacen que el agua almacenada disminuya hasta llegar a este nivel en el que las raíces no pueden extraer más cantidad. Aunque el suelo aún contiene cierta cantidad de agua, las plantas no pueden utilizarla. Se conoce también como punto de marchitez o punto de marchitamiento permanente (PMP).

Punto de Marchitez Permanente: Es el contenido de agua de un suelo en el que la planta no puede extraerla y en el cual la planta se marchita y ya no recobra su turgencia al colocarla en una atmósfera saturada durante 12 horas.

Suelo seco: Situación en que los poros del suelo están totalmente llenos de aire.

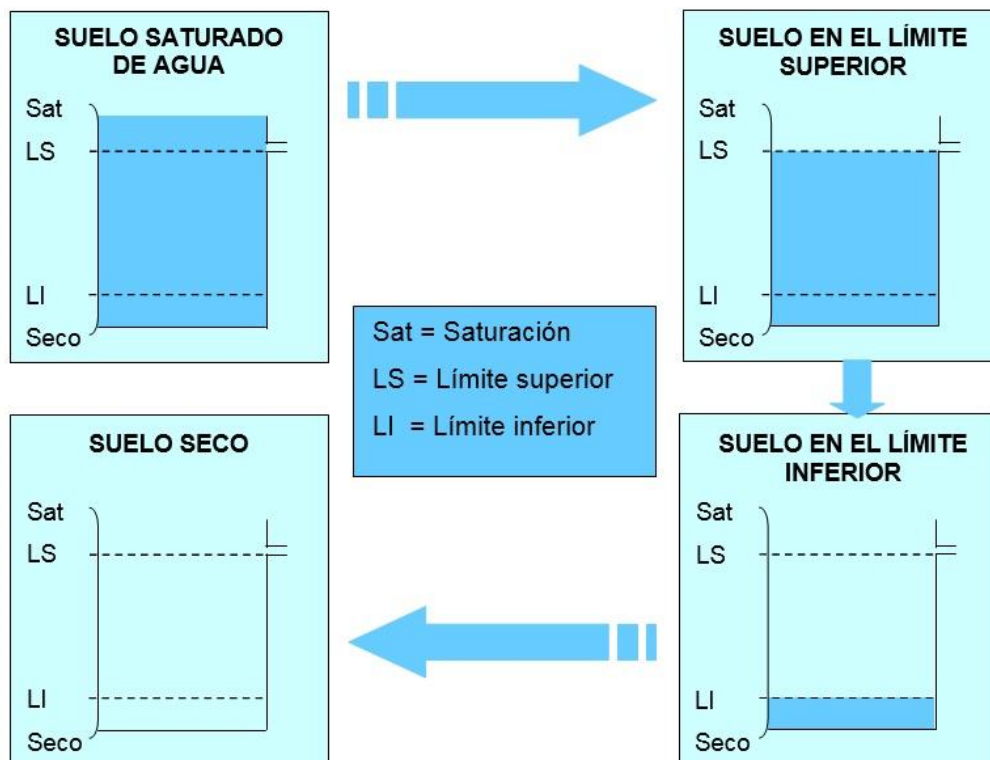


Figura 17. Niveles de contenido de agua en el suelo.

Las plantas pueden tomar el agua del suelo desde el límite superior hasta el límite inferior, que se conoce como Intervalo de Humedad Disponible (también conocido como **agua útil**).

En la práctica, la mayor cantidad que el suelo puede almacenar y poner a disposición de las plantas está alrededor del 70% de la cantidad de agua representada por el agua útil, considerando un margen de seguridad que no permita consumir toda el agua útil.



Figura 18. Intervalo de humedad disponible.

Para poder programar los riegos de forma eficaz, es necesario conocer el nivel de humedad o cantidad de agua que tiene el suelo y los valores tanto de límite superior como inferior.

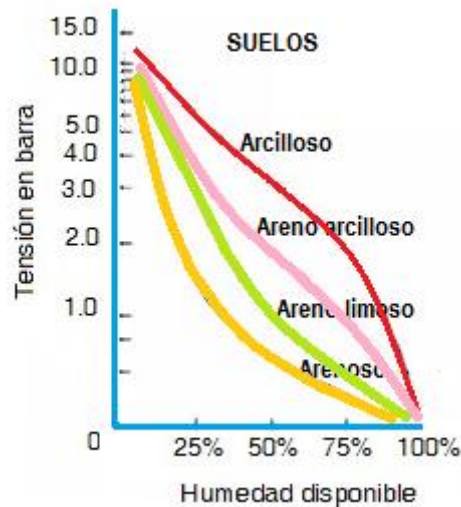
El incremento de rendimientos suele ser más acusado en los cultivos de regadío; estos cultivos suelen dar sus máximos rendimientos cuando se mantiene el suelo en un régimen de humedad constante por encima del 80% del agua utilizable. Si se supera la capacidad de campo, se producen descensos importantes de los rendimientos, lo que justifica la necesidad de drenaje.

En los cultivos de secano se ofrecen los máximos rendimientos en condiciones de humedad de suelo algo menores: a partir del 60% del agua habitualmente útil. Mayor contenido de agua no ofrece, a veces, incrementos significativos de rendimientos, ya que estas especies no están adaptadas a la utilización de grandes volúmenes de agua.

Curvas de retención de humedad

Desde el punto de vista de la planta, interesa conocer cuál es la energía con que un volumen de agua es retenido por el suelo, información de mayor relevancia que el de la humedad que contiene ese suelo.

A la relación que existe, entre el contenido de humedad del suelo y la energía con que ésta es retenida en el suelo, se le denomina curva de retención de humedad, mostrada en la siguiente figura.



De este modo, el contenido de humedad gravimétrica de una muestra de suelo húmedo se mide pesando una muestra de suelo húmedo, secándola posteriormente a un horno de 105°C por 24 horas y volviendo a pesar la muestra.

Tal como se puede apreciar en la figura de humedad disponible, los contenidos de humedad del suelo a una misma energía de retención, son diferentes según textura. Asimismo, se puede observar que los rangos de humedad del suelo entre dos energías de retención, difieren también, según la textura. Este antecedente resulta de sumo interés cuando se desea precisar la cantidad de humedad o agua aprovechable en el suelo (HA), desde un punto de vista agrícola.

Para calcular la humedad aprovechable de un suelo, en términos de una altura de agua, se puede utilizar la siguiente expresión:

$$H.A. = \frac{CC - PMP}{100} * \frac{D_{ap}}{D_{H_2O}} * p$$

En donde:

H.A.= Altura de agua aprovechable para el cultivo (mm). (Un milímetro de altura corresponde a un litro de agua por metro cuadrado de terreno).



PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

- CC= Capacidad de Campo, contenido de humedad de suelo, expresado en porcentaje base peso seco, a una energía de retención que oscila entre 1/10 a 1/3 de bar. Indica el límite superior o máximo de agua útil para la planta que queda retenida en el suelo contra la fuerza de gravedad.
- PMP= Punto de Marchitez Permanente, contenido de humedad del suelo, expresado en porcentaje base peso seco, a una energía de retención que oscila entre 10 y 15 bar. Indica el límite inferior o mínimo de agua útil para la planta.
- Dap = Densidad aparente del suelo (g/cc).
- DH₂O= Densidad del agua. Se asume normalmente un valor de 1 (g/cc).
- P = Profundidad representativa de la muestra de suelo analizada (mm).

Medición del contenido de humedad del suelo

Los criterios de elección de método de medición de humedad son:

- Las características del suelo (materia orgánica, textura, variabilidad, suelos que se expanden).
- Sus objetivos.
- La gente que va a usar el equipo.
- Presupuesto disponible.

Tipos de métodos de medición de humedad de suelo:

Métodos directos, miden la cantidad de agua que hay en el suelo:

- Método gravimétrico (método de determinación de humedad de suelo directo).
- Reflectometría (se basa en la relación que existe entre el contenido de humedad del suelo y su constante dieléctrica).
- Aspersor de Neutrones.
- Método de campo.

Métodos indirectos, calculan la humedad mediante una calibración entre humedad y una propiedad que es más fácil de medir (ej. tensión).

- Uso de tensiómetros (Mide el potencial mátrico).

- Uso de bloques de resistencia (Se basa en el hecho de que la conductividad eléctrica de muchos materiales varía en función del contenido de agua).
- Sicrómetro de Termocuplas (Se basa en que en equilibrio se igualan los potenciales de agua del suelo y del vapor de agua del suelo).

Validación de nuevos instrumentos. Se viene validando instrumentos de tipo electrónico que relacionan el contenido de agua de los suelos con mediciones de la resistencia eléctrica que ofrece el suelo semi-húmedo, el suelo húmedo y el suelo saturado, de acuerdo a la textura del suelo.

Instalando pares de sensores de cobre (pares de alambre de cobre forrados de plástico) a nivel del campo y a la profundidad del suelo (30 cm, 60 cm, 90 cm) en forma permanentemente, durante el periodo de desarrollo del cultivo y en lugares donde se quiere medir la humedad; estos sensores son fijados aleatoriamente en el campo para estimar promedios adecuados en las lecturas y las lecturas son tomadas con un solo aparato portátil, durante un tiempo predeterminado en segundos (30, 60, 90 y 120 segundos). La ventaja consiste en utilizar un solo aparato de tipo portátil.

La calibración se realiza mediante la lectura en Capacidad de Campo del suelo como medida superior (100%), aplicando luego el 80% como lectura extrema en capacidad de campo para regar nuevamente como coeficiente de seguridad; por ejemplo, si la lectura en capacidad de campo nos dio 470 pulsos en 30 segundos, el extremo sería $470 \times 0.80 = 376$ pulsos por 30 segundos, indicativo para regar nuevamente.



Figura 19. Hidrómetro: si el suelo en capacidad de campo, nos da una lectura de 465 pulsos; el extremo para regar nuevamente, sería el 80% de 465 pulsos = 372 pulsos; el cual es un indicativo de volver a regar.

Hidrómetro

Las lecturas son adimensionales, relacionadas con el tiempo en el cual se realiza la lectura; pudiéndose programar también lecturas a los 30, 60, 90 y 120 segundos (Figura 21).

Las lecturas se realizan mediante un par de electrodos (alambres de cobre forrado en plástico N° 10 y pelados 5 cm en sus extremos); los que se instalan en paralelo, con un distanciamiento de 5 cm.

La lectura de humedad se determina a la profundidad efectiva de la raíz (donde se halla la mayor concentración de raíces, en el orden mayor al 80%).

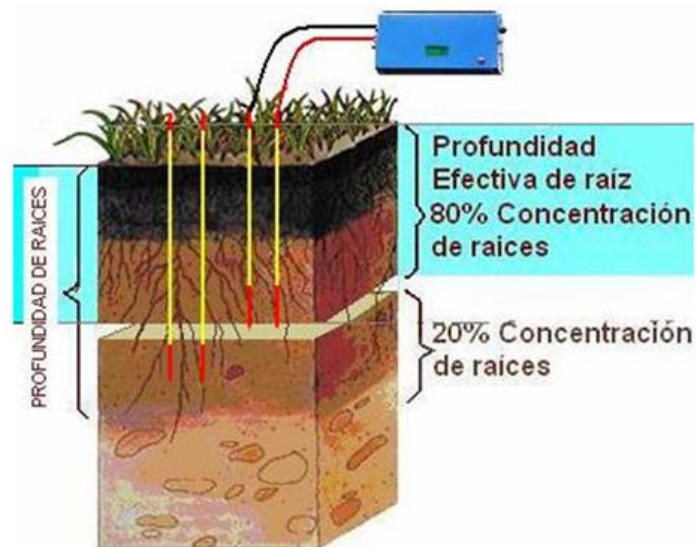


Figura 20. Profundidad de raíces.

Para mayor efectividad en la evaluación de la humedad en el suelo, es factible instalar dos tipos de pares de electrodos, un par de lectura a la profundidad efectiva de la raíz y otro par de control, a 10 cm mayor en profundidad.

Si los electrodos de control, detectan la presencia de agua a mayor profundidad, es indicativo que se está produciendo pérdidas innecesarias de agua.

Componentes

Componentes electrónicos sólidos:

Circuitos integrados.

Display de tres dígitos.

Swich prendido/apagado.

Botón de inicio de lectura.

Botón de reset (puesta en cero).

Batería de 9 volts.

Electrodos de cobre (distanciados en paralelo a 5 cm).

Cable conector.

Swich interno de ajuste de tiempo (30, 60, 90, 120 segundos).

Características

Se caracteriza por su portabilidad.

Lugar de instalación de los electrodos

Se elegirá los lugares adecuados para las lecturas, los que se ajustan más, a la distribución uniforme de humedad y profundidad efectiva de la raíz; para cultivos transitorios, cercanos al lugar de las plantas, para frutales y forestales, al centro, del tercer tercio del anillo de tratamiento.

Longitud de los electrodos

Es posible utilizar dos pares de electrodos, de acuerdo al tipo de cultivo; a: 30 cm, 60 cm y 90 cm y otro par de control a 40 cm, 70 cm. y 100 cm, respectivamente (Figura 22).

PROGRAMACION TIEMPO DE LECTURA

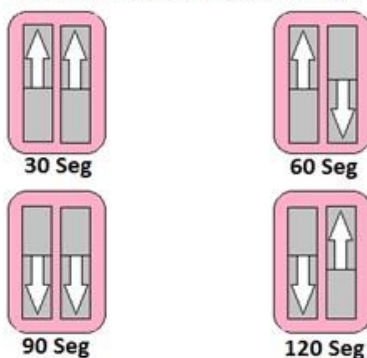


Figura 21. Programación de tiempo de lectura.

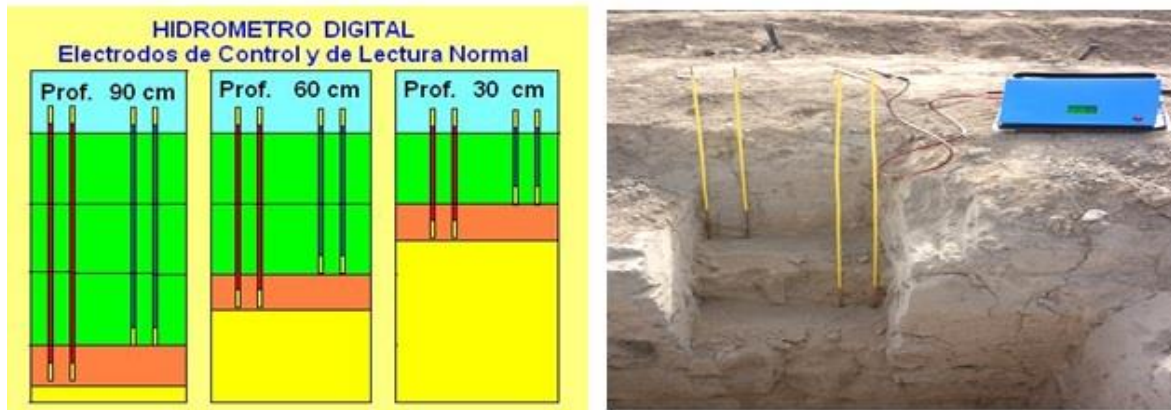


Figura 22. Instalación de electrodos a diferentes profundidades efectivas de raíces.

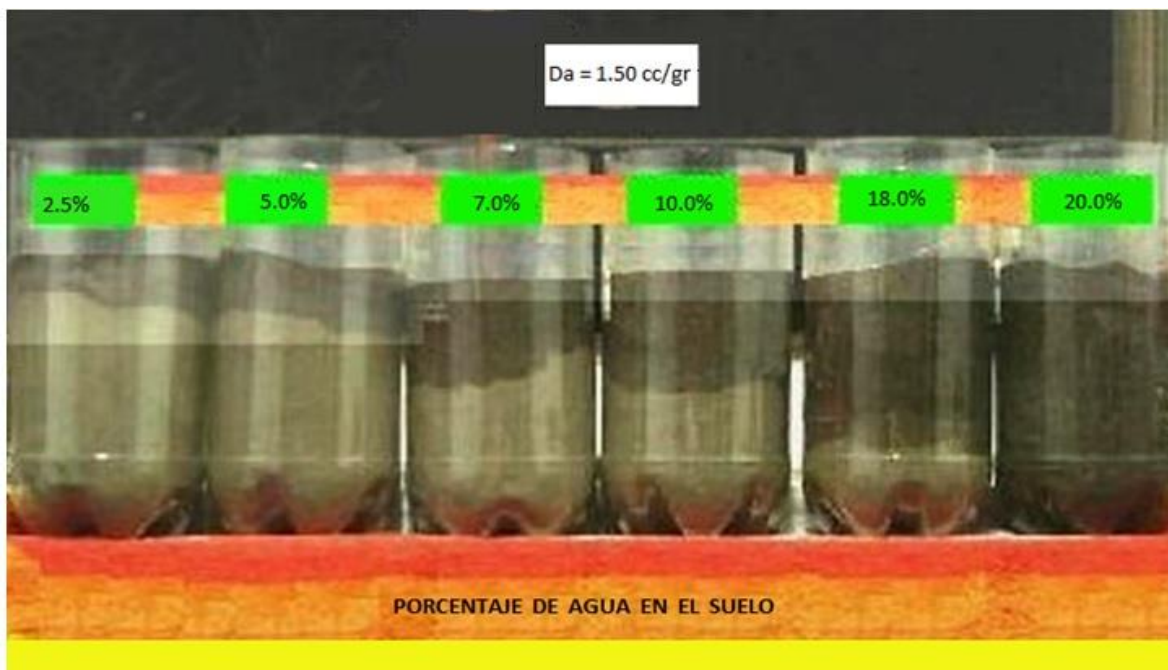


Figura 23. Porcentaje de agua en un suelo de densidad aparente de 1.50 cc/gr.



Figura 24. Humedad del suelo según textura.

Uso

Las lecturas se programan en un modo específico de tiempo, (generalmente a 30 segundos); permaneciendo fija la lectura en el display, al término de 30 segundos.

Es factible utilizar gráficos referenciales de lecturas de contenido de agua en porcentaje en el suelo por unidad de lectura realizada, conforme al tipo de textura del suelo.

Parámetros para interpretar las lecturas

Todo cultivo prospera eficientemente en un suelo en Capacidad de Campo; por lo que para determinarla, es factible extraer una muestra de suelo a la profundidad efectiva de la raíz, las que llenadas en un envase perforado en su base y saturándola completamente con agua de riego, se espera que drene durante 2 a 3 días; en este estado de capacidad de campo, se realiza la primera lectura con el par de sensores.

En un suelo de textura media, puede darnos una lectura de 500 pulsos en 30 segundos en capacidad de campo al 100%, con la premisa de mantener en el otro extremo de lectura,

la humedad al 80%; (80% x 500 pulsos; que estaría en el orden de 400 pulsos en 30 segundos), quedando un margen de 100 pulsos, entre ambas lecturas para volver a regar.

Porcentajes de contenido de agua en el suelo

Un procedimiento para determinar porcentajes de humedad en el suelo, consiste en pesar un kilo de suelo seco o su equivalente e ir incorporando cada vez 30 cc de agua y realizando la lectura de pulsos con el dispositivo, que representa 3% de contenido de agua en el suelo; igualmente seguir agregándose 30 cc de agua y realizando la lectura de pulsos que representaría 6% de contenido de agua en el suelo y así sucesivamente, hasta la saturación del suelo; en base a estos datos podemos representarlos en una curva similar al del Figura 25.

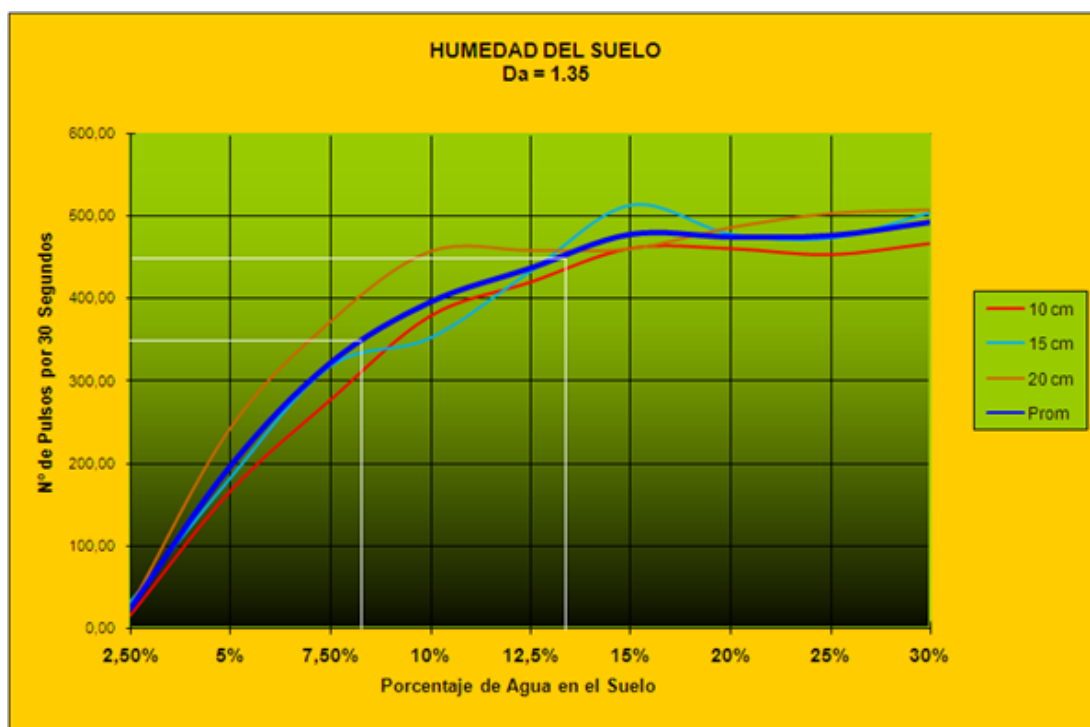


Figura 25. Porcentaje de agua en el suelo.



PERÚ

Ministerio
de Agricultura y Riego



Instituto Nacional de Innovación Agraria

Rangos de medición: Suelo completamente seco a suelo saturado.

Resolución	1 %
Precisión	±2.5%
Parámetros indicados	Tipo de suelo: Textura, Densidad Aparente (Da).
Longitud de electrodos	Par de electrodos de lectura a longitudes de 30 cm, 60 cm y 90 cm. Par de electrodos de control a longitudes de 40 cm, 70 cm y 100 cm.
Pantalla	Display de 3 dígitos.
Batería	9 voltios.
Dimensiones	15 cm x 14 cm x 5 cm. 20 cm x 15 cm x 3.5 cm.
Peso	150 gr.