

MANUAL DE PRÁCTICAS DEL LABORATORIO DE INGENIERÍA DE RIEGO

INDICE

Práctica 1.- Determinación de las propiedades y características de los suelos que influyen sobre el uso del agua de riego:	- 1 -
Muestreo y determinación de la textura y densidad aparente con fines de riego	- 1 -
I. Introducción	- 1 -
II. Objetivo	- 1 -
III. Materiales y Métodos	- 2 -
IV. Reporte de la práctica	- 6 -
Diagrama para la determinación de la textura de los suelos	- 6 -
Práctica 2.- Niveles característicos de la humedad del suelo:	- 7 -
Porcentaje de saturación, Capacidad de campo y Punto de marchitamiento.	- 7 -
I. Introducción	- 7 -
II. Objetivo	- 7 -
III. Materiales y Métodos	- 7 -
IV. Reporte de la práctica	- 13 -
Práctica 3.- Medición de la Humedad del Suelo	- 14 -
I. Introducción	- 14 -
II. Objetivo	- 14 -
III. Materiales y Métodos	- 14 -
IV. Datos requeridos	- 20 -
V. Reporte de la práctica	- 21 -
Práctica 4.- infiltración de agua en el suelo	- 22 -
I. Introducción	- 22 -
II. Objetivo	- 22 -
III. Materiales y Métodos	- 22 -
Fase de Gabinete	- 25 -
IV. Reporte de la práctica	- 26 -
Práctica 5.- Determinación de las Curvas de Tensión y Esfuerzo de Humedad del Suelo	- 27 -
I. Introducción	- 27 -
II. Objetivo	- 27 -
III. Materiales y Métodos	- 27 -
IV. Reporte de la práctica	- 32 -



Práctica 1.- Determinación de las propiedades y características de los suelos que influyen sobre el uso del agua de riego:

Muestreo y determinación de la textura y densidad aparente con fines de riego

*M.C. René Martínez Elizondo y *Dra. Teresa M. Hernández
Mendoza

*Profesor Investigador de Tiempo Completo del Departamento de Irrigación-UACH

I. Introducción

El riego eficiente requiere de un programa sistemático de manejo del agua, el cual responde a las preguntas sobre cuándo regar, cuánta agua aplicar durante el riego y cuál es el mejor método de aplicación. Un componente clave en el manejo del agua de riego es la evaluación y medición rutinaria del agua del suelo, para mantener el nivel de humedad dentro de los límites de disponibilidad deseados para el cultivo de interés. En lo que respecta al suelo, hay distintas variables que se espera influyan de manera decisiva sobre la capacidad que tiene el suelo para almacenar agua. Por esta razón, en la presente práctica se conocerá el procedimiento para hacer un muestreo correcto del suelo con el fin de evaluar el manejo del agua y, a su vez, analizar el papel que juega en este caso el valor de la textura del suelo y su densidad aparente para tomar decisiones sobre el riego.

II. Objetivo

El alumno al final de la práctica conocerá el procedimiento para coleccionar muestras de suelo que empleará para tomar decisiones sobre el manejo del riego. Sabrá cómo analizar la textura del suelo y la densidad aparente, y su importancia en la irrigación de los cultivos.



III. Materiales y Métodos

Fase de Campo

3.1 Muestreo del suelo con fines de riego y su preparación para el análisis físico

♦ Materiales por equipo

Una barrena metálica cilíndrica de aproximadamente 10 cm de diámetro; una pala recta; 5 bolsas transparentes de plástico de 30 x 40 cm; un marcador negro de tinta indeleble; un mazo de madera; un tamiz con malla 2 mm.

♦ Procedimiento

○ Colecta de la muestra

Se seleccionarán los sitios de muestreo mediante un recorrido previo del lugar, observando las diferencias en el aspecto superficial del terreno en general y del suelo en particular (textura, color, vegetación, topografía, entre otras). Cabe señalar que durante la práctica los instructores darán los ejemplos del caso para que los alumnos procedan correctamente. Con la información que se recabe durante el recorrido, el equipo hará un croquis del terreno debidamente orientado y colocando puntos de referencia fijos. Sobre el mapa que haya resultado, se dibujarán los sitios que se seleccionen para coleccionar las muestras de suelo, identificándolos con números o letras, mismas que se usarán para colocarlas en las bolsas que contengan la respectiva muestra de suelo. Se coleccionará una muestra de suelo (2 kilogramos) por cada profundidad, dando un total de cinco muestras por sitio. Las profundidades serán las siguientes: 0 a 15 cm; 15 a 30 cm; 30 a 60 cm; 60 a 90 cm y de 90 a 120 cm.

○ Preparación de la muestra

Cada muestra de suelo coleccionada se llevará a un lugar techado y ventilado, libre del paso de personas y animales para evitar su contaminación. La muestra se extenderá sobre una superficie limpia y en un plástico para protegerla. Una vez seca, se molerá con el mazo de madera y se pasará a través del tamiz de malla 2 mm.



Fase de Laboratorio

3.2 Determinación de la textura del suelo

◆ Materiales por equipo

Una balanza con resolución de tres dígitos; vasos de precipitados (250 mL y 600 mL de capacidad); parrilla con cubierta de cerámica; agitador manual; agitador eléctrico completo; hidrómetro de Bouyoucos; un termómetro de contacto con escala suficiente para medir la temperatura ambiente de soluciones acuosas; un cronómetro; probetas de un litro de capacidad. Reactivos: Agua oxigenada al 6%; Oxalato de sodio; Metasilicato de sodio; Alcohol; Agua destilada.

◆ Procedimiento

De cada muestra de suelo seco y tamizado, se pesan 60 g y se colocan en el vaso de precipitado de 600 mL. Se agrega inicialmente 40 mL de agua oxigenada y si hay efervescencia se continuará añadiendo agua oxigenada pero en porciones de 5 mL hasta que la reacción termine. Posteriormente se coloca el vaso de precipitado con la muestra sobre la parrilla con cubierta de cerámica y se lleva a sequedad. Una vez ocurrido lo anterior, se pesan 50 g del suelo seco tratado con agua oxigenada y se coloca en un vaso de precipitado con capacidad de 250 mL y se agrega en orden lo siguiente: 150 mL de agua destilada, 5 mL de oxalato de sodio, 5 mL de metasilicato de sodio. Se revuelve el suelo con las sustancias añadidas y se deja reposar por 15 minutos. Luego, se pasa la mezcla al vaso metálico del agitador eléctrico y se bate la mezcla durante 30 minutos. Al terminar el tiempo de agitación, se vacía el contenido en una probeta de un litro de capacidad, se coloca el hidrómetro cuidando de no golpearlo y posteriormente se agrega a la probeta agua destilada hasta llegar a la marca de un litro. Una vez terminado lo anterior, se saca el hidrómetro (colocándolo en un lugar seguro y protegido) y se mueve la mezcla con movimientos ascendentes y descendentes con el agitador manual durante un minuto (cronómetro en mano). Inmediatamente después se introduce nuevamente el hidrómetro y después de 40 segundos se realiza la primera lectura y la temperatura de la mezcla (en caso de que se forme espuma se ponen 5 gotas de alcohol para evitarlas). Se retira el hidrómetro y se guarda en un lugar accesible pero seguro. Se registra el tiempo en que terminó la primera lectura y después de que hayan transcurrido exactamente 120 minutos, se introduce lentamente y con mucho cuidado el hidrómetro y el termómetro para registrar la segunda lectura y la temperatura, respectivamente.



◆ Cálculos

Este método está calibrado para 100 g de muestra a 19.50C, por lo que si la temperatura es menor, se resta a la lectura del hidrómetro 0.18 unidades por cada 0.50C de variación. En caso de que la temperatura sea mayor a 19.50C, entonces se sumarán 0.28 unidades a la lectura del hidrómetro por cada 0.50C de variación. En el caso del peso, como para la presente práctica se consideraron sólo 50 g de muestra, entonces las lecturas del hidrómetro deberán ser multiplicadas por dos.

- Primera lectura = % arcilla + % limo
- Segunda lectura = % arcilla
- (Primera lectura) – (segunda lectura) = % limo
- $100 - (\text{arcilla} + \text{limo}) = \text{\% arena}$

Con los datos obtenidos se entra al triángulo de texturas para obtener la clasificación de la textura del suelo analizado.

3.3 Determinación de la densidad aparente del suelo

◆ Materiales por equipo

Una barrena Uhland; una espátula; una báscula con capacidad de 20 kilogramos de peso; una balanza con resolución de tres dígitos; un carrete de hilo nylon delgado; una parrilla eléctrica; parafina; pala recta; tres botes de aluminio; un trozo de plástico de 50 x 50 cm; una probeta graduada de 500 mL de capacidad y otra de 1000 mL; una estufa con capacidad para secar las muestras a 1100 C; 10 litros de agua.

◆ Procedimiento

- Método de campo utilizando plástico

Con una pala recta o espátula hacer un pozo cuyas dimensiones sean lo más aproximado posible a obtener 15 cm de ancho, de largo y de fondo. El suelo que se extraiga se coloca sobre un plástico y se pesa en su totalidad para obtener su peso en condiciones de campo (kg), lo que se define como peso del suelo húmedo (PSH). Se colectan dos muestras del suelo para determinar su contenido de humedad por el método gravimétrico (PS), depositándolas en los botes de aluminio que se emplean para este propósito. Luego, en el pozo abierto se coloca el plástico de 50 x 50 cm

acomodándolo lo mejor posible, se agrega agua con una probeta hasta llenar totalmente el pozo, pero teniendo cuidado de medir toda el agua añadida con la mejor precisión posible para conocer el volumen total (VT).

- o Cálculos

$$Dap = [100 \cdot (P_{SH})] / [V_T \cdot (100 + P_s)]$$

Donde:

Dap = Densidad aparente, g cm⁻³
P_{SH} = Peso del suelo húmedo, kg
V_T = Volumen total, litros
P_s = Porcentaje de humedad del suelo, %

- o Método de campo utilizando barrenas o cilindros de volumen conocido

Se introduce la barrena Uhland al suelo por impacto y la muestra que queda contenida en el cilindro se coloca en un bote de aluminio, la cual se secará en la estufa a 1100C hasta tener un peso constante (PSS), lo cual suele ocurrir aproximadamente en 24 horas. El volumen total se obtiene con las dimensiones del cilindro

- o Cálculos

$$Dap = P_{SS} / V_T$$

Donde:

Dap = Densidad aparente, g cm⁻³
P_{SS} = Peso del suelo seco, g
V_T = Volumen total, cm³

- o Método del terrón

De cada profundidad en la que se colectó el suelo se obtiene un terrón del tamaño de una nuez, el cual debe cuidarse que no se desmorone. Se lleva al laboratorio y se seca en una estufa a 1100C hasta llegar a peso constante para obtener el peso del suelo seco (PSS). En el laboratorio se derrite la parafina, luego, se amarra cada terrón seco con un hilo y se cubre con la parafina líquida, para que posteriormente se deje enfriar. Posteriormente, sujetando con el hilo el terrón cubierto con parafina, se introduce en una probeta graduada con capacidad de 500 mL que previamente tenga 300 mL de agua y se registra el volumen de agua desplazado, lo cual se considerará como volumen total (VT)

- o Cálculos

$$Dap = P_{SS} / V_T$$

Donde:

Dap = Densidad aparente, g cm⁻³
P_{SS} = Peso del suelo seco, g
V_T = Volumen total, cm³

IV. Reporte de la práctica

El reporte de la práctica deberá ser organizado de la siguiente manera:

1. Introducción
2. Objetivos
3. Revisión de Literatura
4. Resultados y Discusión
5. Conclusiones
6. Solución del cuestionario dado en clase
7. Literatura citada

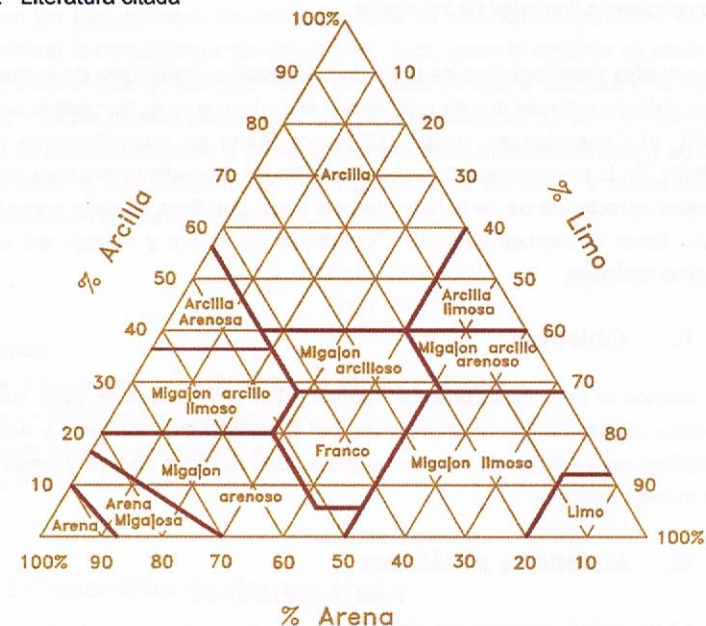


Diagrama para la determinación de la textura de los suelos



Práctica 2.- Niveles característicos de la humedad del suelo:

Porcentaje de saturación, Capacidad de campo y Punto de marchitamiento

*M.C. René Martínez Elizondo y *Dra. Teresa M. Hernández Mendoza

*Profesor Investigador de Tiempo Completo del Departamento de Irrigación-UACH

I. Introducción

Para llevar a cabo un uso y manejo eficiente del agua de riego, es necesario conocer la dinámica del agua en los suelos, esto con el fin de poder predecir su comportamiento espacial y temporal para así tomar decisiones oportunas en el manejo de los cultivos.

Para poder cuantificar la variación temporal y espacial del agua disponible para los cultivos agrícolas en el suelo se han establecido fronteras hídricas, es decir, valores a los cuales se pueda referir el nivel de humedad que tiene un suelo en un momento dado y en un espacio definido, también conocidos, por algunos autores, como constantes de humedad de los suelos.

Los niveles característicos de humedad del suelo o constantes de humedad que se han definido a través de procedimientos empíricos son: a) Porcentaje de saturación (PS), b) Capacidad de campo (CC) y c) Punto de marchitamiento permanente (PMP). En la presente práctica se conocerán los procedimientos para cuantificar los niveles característicos de la humedad del suelo con fines de riego como indicadores para tomar decisiones eficaces y oportunas en el uso y manejo del agua en los suelos agrícolas.

II. Objetivo

El alumno al final de la práctica conocerá los procedimientos para cuantificar los niveles característicos de la humedad del suelo con fines de riego y desarrollará la habilidad para interpretar los valores generados de estos análisis y tomar decisiones de manejo agrícola.

III. Materiales y Métodos

Fase de Laboratorio

3.1 Porcentaje de Saturación (PS ó P_s)



◆ Materiales por equipo

Balanza con resolución de tres dígitos, una cápsula de porcelana, una espátula, aproximadamente 200 g de suelo seco, molido y tamizado (usar muestra de suelo obtenida en la práctica no. 1), estufa de aire forzado con 110°C. Reactivos: Agua destilada.

◆ Procedimiento

Colocar la muestra de suelo en la cápsula de porcelana, y agregar lentamente agua destilada, mezclando el agua y el suelo con una espátula, continuar hasta obtener una pasta que refleje la luz, es importante señalar que no debe escurrir agua, y al deslizar la espátula sobre la pasta, esta debe deslizarse sin restricción(excepto en suelos muy arcillosos). Una vez obtenida esta consistencia en la pasta, con la espátula tomar una muestra (aproximadamente 30 g) y depositarla en un bote de aluminio de peso conocido, repetir la operación en dos botes más. Cuando se tengan las tres muestras de pasta saturada en sus respectivos botes de aluminio, determinar la humedad por gravimetría; es decir, pesar la muestra de pasta saturada incluyendo el bote de aluminio, registrar el peso y meter a una estufa de aire forzado a 110°C hasta obtener peso constante (peso de suelo seco). Una vez que se llega a peso constante, se vuelve a pesar la muestra en el bote de aluminio y se registra el peso seco. El cálculo de la humedad gravimétrica del suelo a saturación (PS) se calcula con la siguiente fórmula.

$$P_s = \frac{(P_{sh} + P_b) (P_{ss} + P_b)}{(P_{ss} + P_b) P_b} \quad (1)$$

donde:

P_s = Humedad del suelo en las condiciones indicadas, %

P_{sh} = Peso de suelo húmedo, g

P_{ss} = Peso de suelo seco, g

P_b = Peso del bote, g

Fase de Campo

3.2 Capacidad de Campo (cc)

- Determinación de la Capacidad de campo *In situ*.



◆ Materiales por equipo

Una pala recta, plástico de 200 x 200 cm; una barrena veihmeyer. Reactivos: Agua

◆ Procedimiento

Seleccionar un sitio de muestreo en campo (mismo de la práctica no. 1), trazar un cuadro en el terreno con dimensiones de 1.00 x 1.00 m, bordeando previamente, se agrega agua en exceso, mojando el perfil o capas en las que se quiera determinar la humedad a CC, con una lámina de agua aproximada de 20 a 30 cm. Una vez colocada el agua se deja que se filtre y se cubre el cuadro humedecido con el plástico para evitar pérdidas por evaporación (figura 1).

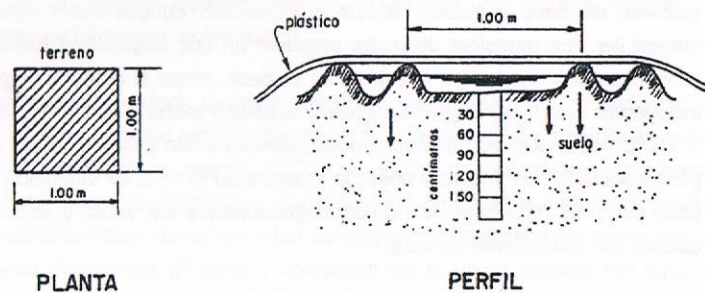


Figura 1. Preparación del cuadro en el terreno para determinar CC (vista en planta y perfil).

Después de concluida la infiltración se inicia el muestreo para determinar la humedad por gravimetría de los diferentes espesores al centro del cuadro. Al principio el muestreo para humedad del suelo se hace diario y al finalizar hasta 2 veces por día, tomando para ésta práctica la muestra a dos profundidades (0-30 cm y 30-60 cm). El muestreo se suspende cuando la humedad del suelo es casi constante. En vista de que no hay pérdidas por evaporación ni extracción por plantas, el excedente de agua se desplaza por gravedad fuera de la zona de raíces y sólo queda el agua retenida por el suelo. En el laboratorio de las muestras de suelo obtenidas diariamente en el campo se obtiene el Psh (al muestrear) y el Pss (24 horas después) y con la fórmula (1) se calcula la humedad del suelo. Por lo tanto la



humedad constante que queda al final (2-4 días) de la prueba corresponde a la CC del espesor muestreado para el suelo en cuestión.

Fase de Laboratorio

- Estimación de la CC a través del método de la Olla de Presión.

◆ Materiales por equipo

Olla de presión con aditamentos completos, aproximadamente 20 g de suelo molido y tamizado (muestra obtenida en la práctica no. 1), dos botes de aluminio de peso conocido, balanza con resolución de tres dígitos, estufa de aire forzado con 110°C. Reactivos: Agua

◆ Procedimiento

Aplicar aire a presión de 1/3 de atmósfera a muestras de suelo previamente saturados y colocados en un plato poroso que a su vez, se coloca en una olla de presión. Se procede preparando la muestra (molida y tamizada), colocándola en anillos de hule que previamente se colocaron en el plato poroso. Se recomienda poner las muestras en los anillos con repeticiones. Antes de colocar las muestras se llena de agua la membrana que tiene el plato a través del tubo que posteriormente servirá de drenaje. Las muestras colocadas en el plato se saturan y se dejan en reposo durante 18 horas, después de esto se retira el exceso de agua con una pipeta, se tapa la olla y se aplica una presión de 1/3 atmósfera por un período de 18 a 24 horas hasta que deje de escurrir el agua. Se suspende la presión y las muestras son colocadas en botes de aluminio para determinarles la humedad por gravimetría (ecuación 1), misma que estima la CC. En la figura 2, se pueden ver el equipo y materiales utilizado por el procedimiento explicado.

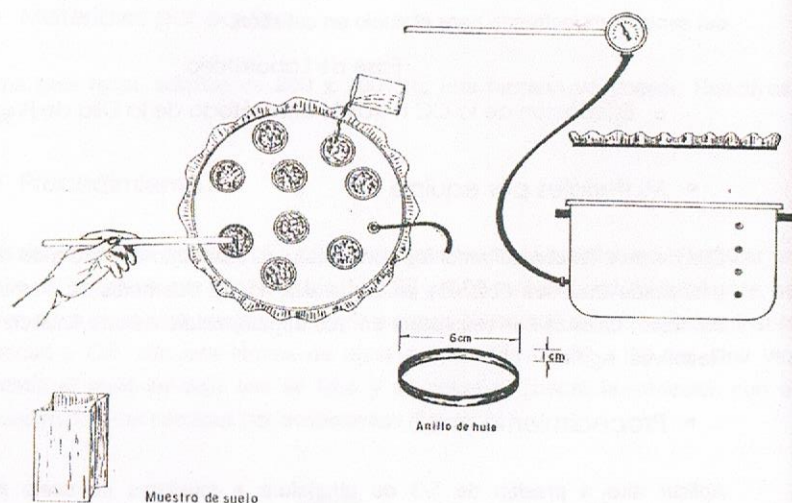


Figura 2. Equipo utilizado para estimar la CC por el método de la olla de presión.

- o Estimación de la CC a través del método de la Columna de suelo

◆ Materiales por equipo

Aproximadamente 100 g de suelo molido y tamizado (muestra obtenida en la práctica no. 1), dos tubos de plástico transparente, papel filtro o malla de alambre, un embudo de vástago largo, dos botes de aluminio de peso conocido, balanza con resolución de tres dígitos, estufa de aire forzado con 110°C. Reactivos: Agua destilada.

◆ Procedimiento

La muestra se coloca en tubos de plástico transparente, de 30 cm de largo por 3.5 a 4.0 cm de diámetro interior. Para evitar que la muestra se salga, ya que el tubo está abierto por ambos extremos, se coloca un papel filtro o una malla de alambre con un tapón perforado en el extremo inferior del tubo. La muestra de suelo se agrega al tubo a través de un embudo de vástago largo, se agrega agua destilada a la columna, cuya cantidad varía de acuerdo a la textura del suelo, 30 a 35 ml de agua para suelos arenosos y de 50 a 60 ml para suelos arcillosos. Después de agregar el



agua se deja reposar de 18-24 horas, en el caso de suelos arcillosos a veces más, se observa el avance del frente húmedo y se suspende la prueba cuando de una hora a otra ya no desciende más la humedad del suelo. Al suceder lo anterior se saca la muestra del tubo de plástico y la parte húmeda se divide en tres partes, colocando la parte central en un bote de aluminio para determinar la humedad por gravimetría (ecuación 1). Esta humedad corresponde a la estimación de la CC, utilizando éste método

Fase de Campo

3.3 Determinación del Punto de Marchitamiento Permanente

- o Determinación del PMP a través del método del Girasol

◆ Materiales por equipo

Dos botes de lámina o cualquier otro material de un litro, aproximadamente 500 g de suelo molido y tamizado (muestra obtenida en la práctica no. 1), o suelo obtenido directamente del sitio y profundidad deseada, cinco semillas de girasol (*Helianthus annuus*), dos botes de aluminio de peso conocido, balanza con resolución de tres dígitos. Reactivos: Agua.

◆ Procedimiento

Los botes de un litro llenarlos con la muestra de suelo, o con tierra (sin moler ni tamizar) del sitio y profundidad deseada. Se siembran las semillas de girasol, regar para aumentar el contenido de humedad hasta llegar a CC; una vez germinada la semilla se selecciona la mejor planta eliminando las demás. Durante el período de crecimiento se riega teniendo el cuidado de no saturar el suelo. Cuando el girasol presente 4 pares de hojas se deja de regar y se cubre el suelo para evitar pérdidas por evaporación. Se deja que la planta se marchite y cuando no se recupere al llevarla a una cámara oscura con una atmósfera saturada, se toman muestras que se colocan en botes de aluminio para determinar la humedad gravimétrica que corresponde al PMP.

Fase de Laboratorio

- o Estimación del PMP a través del método de la Membrana de presión.

◆ Materiales por equipo

Membrana de presión con aditamentos completos, aproximadamente 20 g de suelo molido y tamizado (muestra obtenida en la práctica no. 1), dos botes de aluminio de peso conocido, balanza con resolución de tres dígitos, estufa de aire forzado con 110°C. Reactivos: Agua

◆ Procedimiento

El procedimiento a seguir es similar al explicado para olla de presión para estimar la CC, con la diferencia que la presión de aire aplicada es de 15 atmósferas, por lo tanto se utiliza un plato que soporte esa presión y se hacen las adaptaciones de seguridad necesarias para que se pueda trabajar con la mencionada presión. La humedad que se obtenga corresponde a una estimación muy aproximada del PMP.

IV. Reporte de la práctica

El reporte de la práctica deberá ser organizado de la siguiente manera:

1. Introducción
2. Objetivos
3. Revisión de Literatura
4. Resultados y Discusión
5. Conclusiones
6. Solución del cuestionario dado en clase
7. Literatura citada



Práctica 3.- Medición de la Humedad del Suelo

*M.C. René Martínez Elizondo y *Dra. Teresa M. Hernández Mendoza

*Profesor Investigador de Tiempo Completo del Departamento de Irrigación-UACH

I. Introducción

La importancia de saber cual es la variación temporal del contenido de humedad en un suelo agrícola, radica en poder realizar un riego eficiente con un programa sistemático de manejo de agua a través de la predicción de la cantidad, momento y duración de la lámina de agua de riego a aplicar.

La medición rutinaria del contenido de agua en el suelo nos permitirá mantener el nivel de humedad dentro de los límites de disponibilidad deseados para el cultivo de interés. En la presente práctica se conocerán métodos directos e indirectos para determinar o estimar el contenido de humedad del suelo.

II. Objetivo

El alumno al final de la práctica conocerá los principales métodos directos que se conocen para determinar el contenido de humedad en el suelo.

El alumno calibrará los métodos indirectos dados a conocer en la presente práctica a partir de un método directo, para así poder estimar el contenido de humedad en el suelo.

III. Materiales y Métodos

3.1. Métodos Directos

1. Método por Gravimetría:Ç

◆ Materiales por equipo

Una barrena Veihmeyer con aditamentos, botes de aluminio, una balanza con aproximación de al menos un decimal, estufa con circulación forzada de aire (1100 C

◆ Procedimiento

Ubicar el terreno del cual se extraerán las muestras de suelo a las profundidades que se pretende conocer la humedad, una vez tomadas las muestras colocarlas en botes de aluminio, los cuales se cierran herméticamente. En el laboratorio se pesan cada una de las muestras en la báscula y la lectura obtenida será el peso de suelo húmedo (Psh) más peso de bote (Pb), posteriormente el bote se destapa y se mete a la estufa a 110°C durante 24 horas. Se pesa nuevamente la muestra para obtener el peso de suelo seco (Pss) más peso de bote. El contenido de humedad del suelo se calcula dividiendo la cantidad de agua que tiene el suelo entre el Pss.

$$Ps = \frac{Psh - Pss}{Pss} 100$$

Donde:

Ps = Humedad del suelo, %

En esta fórmula se debe considerar el peso del bote (Pb) para restarlo del Pss del denominador (Pss+Pb-Pb), ya que en el numerador no afecta el Pb, porque se elimina.

2. Método de la Balanza de Rayos Infrarrojos

Con el fin calibrar éste método, se tomarán muestras de suelo con la barrena y se determinará el Ps, por gravimetría y por la balanza de rayos infrarrojos.

◆ Materiales por equipo

Una barrena Veihmeyer con aditamentos, botes de aluminio, una balanza con aproximación de al menos un decimal, estufa con circulación forzada de aire (1100 C), una balanza de rayos infrarrojos.

◆ Procedimiento

Ubicar el terreno del cual se extraerán las muestras de suelo a las profundidades que se pretende conocer la humedad, una vez tomadas las muestras colocar parte (10 g) en la báscula equipada con una lámpara de rayos infrarrojos, los cuales inciden sobre la muestra colocada en la charola de la báscula. En pocos minutos se puede conocer la diferencia entre el peso de suelo húmedo y peso de suelo seco y



de esta manera calcular el Ps. El resto de la muestra colectada se pesa en una báscula (Psh), se deja 24 horas en la estufa para obtener posteriormente el Pss y así seguir todo el procedimiento del Ps por gravimetría. La balanza de rayos infrarrojos no es recomendable cuando la muestra tiene residuos de cosecha. Este equipo tiene manera de regular la intensidad de los rayos (Watts) y un reloj en el cual se fija el tiempo durante el cual estará expuesta la muestra a los rayos.

3.2. Métodos Indirectos

3.2 Método a través del uso de Tensiómetros (Calibración)

◆ Materiales por equipo

Una barrena Veihmeyer con aditamentos, botes de aluminio, una balanza con aproximación de al menos un decimal, estufa con circulación forzada de aire (1100 C), tensiómetros con dimensiones de 30 y 60 cm de largo y agua destilada.

◆ Procedimiento

Ubicar el terreno del cual se pretende conocer el contenido de humedad a diferentes profundidades (0-30 y 30-60 cm). En el sitio seleccionado debe existir un cultivo para que extraiga agua y así crear un diferencial en el contenido de humedad del suelo de interés para que se pueda explorar todo el rango de medición de los equipos.

Los tensiómetros antes de ser colocados en el sitio de muestreo deberán ser saturados de la siguiente forma; en un recipiente con agua introducir la cápsula porosa de cerámica durante 24 horas, posteriormente llenar el contenedor del dispositivo con agua destilada cuidando de que no existan burbujas en el interior. Ya en campo, hacer una perforación con una barrena de 1 pulgada de diámetro a la profundidad deseada e introducir el tensiómetro procurando que la cápsula este en contacto con el suelo. Uno o dos días después de instalados se inicia la toma de lecturas en el tensiómetro haciéndolo cada tercer día. Al mismo tiempo se colectarán muestras con la barrena Veihmeyer a las profundidades establecidas para determinar el contenido de humedad por gravimetría. La práctica durará aproximadamente 30 días.

Otra manera de calibrar el tensiómetro, consiste en tomar una muestra del sitio y profundidades consideradas, llevarlas al laboratorio y prepararlas (secar, moler y tamizar), de tal manera que utilizando la olla de presión, se somete a las muestras a

diferentes tensiones en el rango de 0.1 a 1 atmósfera y se obtiene la humedad por gravimetría correspondiente, considerándose esta curva o su regresión correspondiente a la calibración del tensiómetro.

El tensiómetro es un tubo transparente que tiene en la parte inferior un cono de cerámica porosa, el cual permite la circulación del agua en ambos sentidos. El tubo se llena de agua y se cierra en la parte superior de tal manera que se tiene un sistema cerrado que se comunica con el suelo, por medio del cono de cerámica y en la parte superior está conectado a un vacuómetro o bien a un tubo con mercurio. Al colocar el cono poroso del tensiómetro en contacto con el suelo, a la profundidad deseada, se trata de llegar a un equilibrio, si el suelo está seco el tensiómetro cede agua a través del cono, provocando un vacío y registrándolo en el vacuómetro; cuando llueve o se aplica riego el movimiento del agua es en sentido contrario. El tensiómetro funciona adecuadamente hasta una tensión del suelo de 0.8 atm., después de ese límite las lecturas ya no son confiables.

3.3 Método Eléctrico a través del uso de Bloques (yeso, arcilla y water mark)

En éste caso, al igual que los otros métodos se pretenden calibrar los dispositivos señalados.

◆ Materiales por equipo

Una pala recta, Una barrena Veihmeyer con aditamentos, botes de aluminio, una balanza con aproximación de al menos un decimal, estufa con circulación forzada de aire (1100 C), bloques de yeso, arcilla y water mark. Además se requiere el medidor de resistencia de Bouyoucos y el medidor Water-mark.

◆ Procedimiento

Ubicar el terreno del cual se pretende conocer el contenido de humedad a diferentes profundidades (0-30 y 30-60 cm). En el sitio seleccionado debe existir un cultivo para que extraiga agua y así crear un diferencial en el contenido de humedad del suelo de interés para que se pueda explorar todo el rango de medición de los equipos.

Los bloques antes de ser colocados en el sitio de muestreo deberán ser saturados de la siguiente forma; en un recipiente con agua introducirlos durante 24 horas. Ya



en campo, hacer una perforación con una barrena de 1 pulgada de diámetro a la profundidad deseada e introducir los bloques procurando estén en contacto con el suelo. Uno o dos días después de instalados se inicia la toma de lecturas de resistencia (medidor de bouyoucos y water mark) haciéndolo cada tercer día por lo menos durante 30 días. Al mismo tiempo se colectarán muestras con la barrena Veihmeyer a las profundidades establecidas para determinar el contenido de humedad por gravimetría.

Estos métodos se basan en la propiedad que tienen la solución contenida en el suelo de conducir la corriente eléctrica, la cual se aprovecha para conocer de una manera indirecta el contenido de humedad del suelo. Consiste en dos electrodos que son cubiertos por un bloque de material absorbente (yeso, arcilla y otros), el cual se coloca en el suelo a la profundidad deseada y únicamente sale a la superficie el alambre duplex que comunica con los electrodos. Al colocarse el bloque en el suelo deberá ir saturado para que sea menor el tiempo necesario para llegar a un equilibrio con el suelo. Los alambres que están en la superficie se conectan a un aparato que mide la resistencia. Este método tiene que ser calibrado con el método por gravimetría, relacionándolos con las lecturas del aparato, gráficamente o por medio de una regresión.

3.4 Método a través del uso de Aspersor de Neutrones

Este método solo se describirá y no se hará calibración por no contar con un equipo de estos.

◆ Materiales por equipo

Una barrena Veihmeyer con aditamentos, botes de aluminio, una balanza con aproximación de al menos un decimal, estufa con circulación forzada de aire (1100 C), un equipo de Aspersor de Neutrones.

◆ Procedimiento

Está formado por una sonda que contiene una fuente radioactiva, un tubo de aluminio que se introduce en el suelo a una profundidad prefijada y en el cual se introduce la sonda, un detector, conectado por un cable a un pre-amplificador, un registrador y una amplificador de pulsaciones en la superficie del suelo.



El aspersor de neutrones se utiliza para conocer el contenido de humedad del suelo, de manera indirecta y funciona de la siguiente manera: La fuente emisora, que va en la sonda, se baja dentro del tubo de aluminio, hasta la profundidad establecida, y en ese punto, son lanzados neutrones a una alta velocidad, de tal manera que al chocar con átomos de bajo peso molecular disminuye su velocidad y son regresados a la fuente emisora que tiene un detector que a su vez los transmite a la superficie del suelo donde se lee en un registrador. En este caso se considera que los átomos de bajo peso molecular son los hidrógenos del agua y de esta manera se relaciona con el contenido de humedad de suelo. Este método no es recomendable en suelos orgánicos debido a que interfieren los hidrógenos de la materia orgánica; tampoco es recomendable realizar observaciones muy superficiales (menores de 30 cm), ya que la fuente emisora cubre una esfera de 25 a 30 cm y los neutrones saldrían fuera de la superficie del suelo obteniendo lecturas poco aceptables. Este método, al igual que todos los indirectos, debe ser calibrado a partir del método por gravimetría.

Método a través del uso del TDR (Time Domain Reflectometry)

Este método es de los más recientes en el mercado y se pretende calibrarlo en la práctica.

◆ Materiales por equipo

Una barrena Veihmeyer con aditamentos, botes de aluminio, una balanza con aproximación de al menos un decimal, estufa con circulación forzada de aire (1100 C), un equipo TDR (Time Domain Reflectometry).

◆ Procedimiento

Es una técnica de medición usando un sensor eléctrico. Inicialmente fue usado como radar en 1930. Se basa en seleccionar la constante dieléctrica de la matriz del suelo con el contenido volumétrico de agua.

El suelo como un conductor de ondas electromagnéticas presenta propiedades que suelen variar debido a la cantidad y tipo de componentes que lo constituyen. El sensor TDR proporciona una estimación del contenido volumétrico de agua en medios porosos.



El tiempo que la onda tarda en recorrer y retornar en las varillas se correlaciona con contenido en volumen de agua.

El TDR mide el contenido volumétrico de agua en medios porosos empleando métodos de medida en función del tiempo. La reflectometría con dominio en tiempo, consiste de dos varillas de acero inoxidable conectadas a un circuito de impresión o salida.

Los sensores de humedad del suelo se basan en cuatro supuestos:

- ◆ El agua esta distribuida uniformemente en el suelo
- ◆ La distribución de las plantas y su tamaño es uniforme
- ◆ La humedad del suelo es usada de manera uniforme tanto en la transpiración, como en la evaporación
- ◆ El sensor es instalado en la zona de raíces en un área promedio del sistema suelo-planta-atmósfera

IV. Datos requeridos

- ◆ Datos de textura, densidad aparente, capacidad de campo, pmp del sitio donde fué la calibración. Agregar croquis de localización con medidas (plano).
- ◆ Datos de campo con fechas, datos de humedad obtenida por método de gravimetría, lectura de tensiómetros, medida de resistencia de bloques y lecturas de TDR. Utilizar forma anexa.
- ◆ Relacionar humedad obtenida por el método de gravimetría con humedad obtenida en balanza de rayos infrarrojos; Regresión y gráficas.
- ◆ Modelos de regresión, R^2 , que relacionen los datos del tensiómetro y bloques con el contenido de humedad obtenido por gravimetría. Anexar gráficas de calibración.
- ◆ Modelos de regresión, R^2 , que relacionen los datos del TDR con el contenido de humedad obtenido por gravimetría. Anexar gráficas de calibración.
- ◆ Discuta sobre el funcionamiento de los métodos indirectos para medir la humedad del suelo, su rango de funcionamiento y su aplicación.

V. Reporte de la práctica

El reporte de la práctica deberá ser organizado de la siguiente manera:

1. Introducción
2. Objetivos
3. Revisión de Literatura
4. Resultados y Discusión
5. Conclusiones
6. Solución del cuestionario dado en clase
7. Literatura citada



Práctica 4.- infiltración de agua en el suelo

*M.C. René Martínez Elizondo y *Dra. Teresa M. Hernández Mendoza

*Profesor Investigador de Tiempo Completo del Departamento de Irrigación-UACH

I. Introducción

La infiltración, en riego, se considera como la entrada vertical del agua en el suelo. Conocer éste fenómeno es importante porque permite tener un criterio para definir si un riego se está aplicado adecuadamente o no. Otra aplicación importante es determinar el tiempo de riego, es decir, el tiempo que debe estar en contacto el agua con el suelo para aplicar una lámina de riego deseada.

Hay varias maneras de expresar la infiltración, tales como:

- ♦ Velocidad de Infiltración (I). Es la relación entre la lámina que se infiltra y el tiempo que tarda en hacerlo, cm/h o cm/min (L/T).
- ♦ Infiltración acumulada (Z). Es la integración de la velocidad de infiltración, en unidades de lámina (L).
- ♦ Velocidad de Infiltración básica (I_b). Es la velocidad de infiltración constante, que se obtiene después de un determinado tiempo.

En esta práctica se obtendrán los datos en campo para calcular en gabinete la Velocidad de infiltración, la Infiltración Acumulada y estimar la Velocidad de Infiltración básica. Los datos de campo se obtendrán por dos procedimientos diferentes.

II. Objetivo

El alumno al final de la práctica conocerá los procedimientos para calcular en gabinete la Velocidad de Infiltración, la Infiltración acumulada y estimar la Velocidad de Infiltración básica.

III. Materiales y Métodos

Fase de Campo

Para determinar la Velocidad de Infiltración del suelo, se siguen dos procedimientos: El método del doble cilindro y el método de entradas y salidas.

3.1 Método del Doble Cilindro

Este método es recomendable cuando los datos de infiltración serán utilizados en el diseño y evaluación de riegos por inundación.

♦ Materiales por equipo

Dos cilindros concéntricos de 50 cm. de alto, de 25 y 35 cm. de diámetro, una placa de acero, agua, un pedazo de plástico, un tirante de 10 - 15 cm., un tornillo micrométrico de gancho.

♦ Procedimiento

La prueba consiste en instalar en el terreno dos cilindros concéntricos de 50 cm. de alto, de 25 y 35 cm. de diámetro. Con una placa de acero los cilindros se golpean hasta que penetren 10-15 cm. dentro del suelo, requiriendo que estén nivelados. Se llena de agua la parte comprendida entre los dos cilindros. Se coloca un plástico dentro del cilindro interior el cual se llena de agua con un tirante de 10 - 15 cm. Antes de quitar el plástico se mide la lectura inicial que puede ser el mismo tirante inicial, si se va a medir respecto a la superficie del suelo, o diferente si se mide con el tornillo micrométrico de gancho. Se retira el plástico rápidamente y se toman lecturas del nivel del agua del cilindro interior a intervalos de tiempo cortos al principio (un minuto) y aumentándolos a medida que avanza la prueba (3, 5, 10, 15 minutos). Cuando el nivel del cilindro interior ha descendido 4 - 5 cm. se debe reponer agua, utilizando para este fin un tiempo corto (un minuto) denominado tiempo muerto, en el cual no se calcula la velocidad de infiltración.

El tiempo de la prueba debe ser semejante al tiempo esperado de riego, o bien, se suspende cuando los datos de velocidad de infiltración tienden a ser constantes.

Registro de campo en el método de doble cilindro.

Tiempo (1)	Intervalos de Tiempo Muerto (2) (min)	Intervalos entre Lecturas (3) (min)	Tiempo Acumulado (4) (min)	Lecturas (5) (cm)	Diferencia en Lecturas (6) (cm)	Velocidad de Infiltración (1) (7) (cm/hora)

3.2 Método de Entradas y Salidas

Este método se utiliza cuando se pretende regar por surcos, ya que trata de simular el movimiento del agua para ese caso.



♦ Materiales por equipo

Sifones calibrados para derivar agua a los surcos, estructura aforadora para surcos, manguera y pedazo de tubo de vidrio (piezómetro), reloj.

♦ Procedimiento

Se seleccionan tres tramos de surco contiguos, de los cuales las medidas se harán en el surco central, usando los otros dos como surcos amortiguadores. En el surco prueba (centro) se colocan dos estructuras aforadoras, al principio y al final del tramo seleccionado, para medir el caudal de entrada (q_1) y el caudal de salida (q_2). Otra manera que se utiliza para medir estos caudales es colocando una estructura al final del tramo para medir el gasto de salida (q_2) y el gasto de entrada (q_1) se mide con sifones debidamente calibrados. La velocidad de infiltración (I) se obtiene relacionando la diferencia de caudales entre el área del surco (A).

En un lote, que previamente se haya surcado y preparado para aplicar riego, se seleccionan los surcos que se utilizarán para tomar medidas con el método de entradas y salidas, en este o estos surcos se instalan las estructuras aforadoras a una distancia definida por las personas que realizarán la práctica. El gasto de entrada será medido con sifones calibrados, procurando aplicar un gasto fijo (q_1), para lo cual es necesario definir el número de sifones por surco y la carga correspondiente. Desde el momento que el agua llega a la estructura aforadora se debe iniciar el registro de carga en la misma. Se deberá llenar el registro de campo de la prueba y realizar los cálculos necesarios para obtener el q_2 . Para calcular la (I) se utiliza la siguiente ecuación:

$$I = \frac{(q_1 - q_2)^{360}}{A}$$

Donde:

I = en cm/h

q_1 y q_2 = en lps

A = largo x ancho del tramo, en m^2

Registro de campo en el método de entradas y salidas

Hora (1)	Tiempo transcurrido en		Promedio del tiempo acumulado o (4)* (min)	q_1 (5) (lps)	q_2 (6) (lps)	Velocidad de Infiltración (1) (7) (cm/hora)
	Est.1 (2) (min)	Est. 2 (3) (min)				

- ♦ (4) = Suma promedio de columna (2) y (3) = $\frac{(2)+(3)}{2}$

Fase de Gabinete

Modelos que Representan la Infiltración.

Con los datos de campo se ajustará un modelo empírico que representa la velocidad de infiltración (I) en función del tiempo. Los modelos más utilizados son:

♦ Modelo de Kostiakov.

$$I = K * t^n$$

Donde:

I = en cm/h

T = tiempo, en minutos

K, n = Parámetros empíricos. La n varía entre -1 y 0

La infiltración acumulada se obtiene integrando la ecuación de I, quedando:

$$Z = \frac{K}{60(n+1)} t^{n+1}$$

60 = factor de conversión de unidades de tiempo.

Z = en cm

T = en minutos

♦ Modelo de USDA.

Algunos suelos llegan en poco tiempo a la lb, por lo que para esos casos se recomienda este modelo.

$$I = Kt^n + B$$

B = en este caso, es equivalente a la infiltración básica.

Las demás literales tienen el mismo significado que el explicado para Kostiakov.

La Z (en cm) y tiempo (en minutos) quedará:

$$Z = \frac{K}{60(n+1)} t^{n+1} + \frac{Bt}{60}$$

♦ Modelo de Philip

Este autor obtuvo el modelo para infiltración acumulada (Z)

$$Z = St^{1/2} + Ct$$

Z = cm



t = tiempo en minutos

S = Sorbibilidad, parámetro que se obtiene empíricamente mediante regresión.

C = Parámetro obtenido mediante regresión

Para obtener la I, se deriva:

$$I = \frac{dz}{dt}$$

$$I = \frac{S}{2} t^{-1/2} + C$$

IV. Reporte de la práctica

El reporte de la práctica deberá ser organizado de la siguiente manera:

1. Introducción
2. Objetivos
3. Revisión de Literatura
4. Resultados y Discusión
 - ♦ Datos de campo de las pruebas de infiltración con los métodos de doble cilindro y el de entradas y salidas.
 - ♦ Ajustar los datos de campo de I, a los modelos de: Kostiakov, USDA, Philip. Reportar el R².
 - ♦ Para cada modelo obtener la infiltración acumulada (Z).
 - ♦ Graficar los datos de campo y los modelos ajustados de I y Z.
 - ♦ Obtener de la gráfica el valor de lb y reportarlo.
 - ♦ Comparar y discutir sobre los procedimientos de campo y los modelos.
5. Conclusiones
6. Solución del cuestionario dado en clase
7. Literatura citada

Práctica 5.- Determinación de las Curvas de Tensión y Esfuerzo de Humedad del Suelo

*M.C. René Martínez Elizondo y *Dra. Teresa M. Hernández Mendoza

*Profesor Investigador de Tiempo Completo del Departamento de Irrigación-UACH

I. Introducción

Los diferentes suelos tienen distintas capacidades de retención de la humedad, dependiendo de su textura, esto significa que a una misma tensión, estos suelos, tendrán diferentes contenidos de humedad. El conocer la curva de tensión para suelo en estudio permite definir láminas de riego por aplicar e inferir los intervalos de riego.

II. Objetivo

El alumno al final de la práctica será capaz de obtener la curva de tensión, que relaciona la tensión del suelo y la humedad del mismo; además se presentarán algunos procedimientos que permitan estimar la mencionada curva con menos información.

III. Materiales y Métodos

3.1 Curva de Tensión

- ◆ Materiales por equipo

Muestra de suelo preparada (molida y tamizada); olla de presión; con sus aditamentos; membrana de presión, con sus aditamentos; botes para determinar humedad del suelo; estufa con circulación de aire (105-110°); báscula de aproximación de 0.1 gr.

- ◆ Procedimiento



La curva de tensión se determina en el laboratorio, mediante la olla y la membrana de presión. El procedimiento para obtener un punto de la curva, es el que se explica en la práctica número 3 para determinar la humedad a 0.3 atmósferas en la olla de presión y a 15 atmósferas en la membrana de presión. Para obtener puntos que permitan dibujar la curva, se tiene en eje "X" la humedad (Ps) en % y en el eje de las "Y" se tiene la tensión, en atmósferas.

Se varía la tensión (en olla y membrana) de 0.1 a 15 atmósferas y se obtiene la humedad correspondiente. Se propone los siguientes puntos:

En olla de presión - 0.1, 0.3, 0.5, 0.8 y 1 atmósferas.

En membrana de presión - 3, 5, 8, 12 y 15 atmósferas.

Con los datos anteriores se puede obtener gráficamente la curva de tensión o mediante una regresión, ajustando la información al modelo:

$$T = K Ps^n$$

Donde

T = tensión, atm

Ps = humedad, %

K y n = Parámetros empíricos

- ◆ Estimación de la Curva de Tensión.

El procedimiento para conocer la curva de tensión es laborioso, ya que requiere varios días para obtener los datos; además el equipo de laboratorio necesario, es bastante costoso. Tomando en cuenta lo anterior Palacios (1963 y 1980), presentó algunos desarrollos matemáticos que permite estimar la ecuación de la curva de tensión a partir dos o tres datos conocidos de la curva.

Fórmula presentada por Palacios (1963)

Para deducir el modelo que represente la curva de tensión se parte de dos puntos conocidos de la curva, 0.3 atmósferas que se puede correlacionar con la humedad a capacidad de campo (Psc), obteniendo el dato de CC por el método de campo o bien utilizando el método de columnas. El otro punto de la curva sería el de 15 atmósferas, que se puede relacionar con la humedad del punto de marchitamiento permanente (Pspmp), el cual se puede obtener por el método del girasol o bien por métodos empíricos como $Pspmp = \frac{1}{2} Psc$.

La relación entre tensión y porcentaje de humedad (Ps) es de tipo hiperbólico. Para un mejor ajuste de la curva se propone una ecuación con tres parámetros:

$$T = K(Ps)^n + C \quad (1)$$

Para resolver esta ecuación se requieren tres puntos, por lo que el parámetro C se obtuvo en forma empírica, analizando varias curvas de tensión de humedad cuya textura varía desde franco-arenoso hasta la arcilla se encontró la siguiente relación:

$$C = -0.000014 (P_{scc})^{2.7} + 0.3 \quad (2)$$

Conociendo el parámetro C la ecuación (1) se expresa en forma logarítmica quedando:

$$\log(T - C) = \log K + n \log Ps \quad (3)$$

Aplicando esta ecuación para los puntos de CC y PMP queda:

$$\log(T_{cc} - C) = \log K + n \log P_{scc} \quad (4)$$

$$\log(T_{pmp} - C) = \log K + n \log P_{s_{pmp}} \quad (5)$$

Restando la ecuación (4) de (5) y despejando queda:

$$n = \frac{\log(T_{cc} - C) \log(P_{s_{pmp}}) - \log(T_{pmp} - C) \log(P_{scc})}{\log(P_{scc}) \log(P_{s_{pmp}}) - \log(P_{scc}) \log(P_{s_{pmp}})} \quad (6)$$

Para obtener el parámetro K, se utiliza la ecuación (4) ó (5).

$$\log K = \log(T_{cc} - C) - n \log P_{scc}$$

De esta manera se sustituye y se saca antilogaritmo para obtener el valor de K, que es el último parámetro para conocer el modelo que representa la curva de tensión de humedad en el suelo.

Fórmula presentada por Palacios (1980)

En esta fórmula se trata de definir mejor la curva de tensión fijando algunos puntos de frontera. En este caso se consideran tres puntos de la curva, que se conocen previamente. Los puntos considerados son: Porcentaje de saturación (PS) con Tensión = 0; la humedad a capacidad de campo (P_{scc}) con Tensión = 0.3 atmósferas; la humedad a PMP (P_{s_{pmp}}) con Tensión = 15 atmósferas. Estos tres puntos se pueden obtener por métodos o procedimientos diferentes a la olla y membrana de presión.

El modelo propuesto es:



$$T = K * Ps^{-n} + C \quad (7)$$

Con el mismo significado de las variables que en la ecuación (1), sólo que en esta ecuación se pone explícito el signo del exponente n y se considera el signo negativo para el parámetro C.

Para estimar los parámetros K, n y C, se parte de las siguientes tres ecuaciones:

$$T_{cc} = K * P_{s_{cc}}^{-n} + C \quad (8)$$

$$T_{pmp} = K * P_{s_{pmp}}^{-n} + C \quad (9)$$

$$K * PS^{-n} = C \quad (10)$$

Donde:

P_{s_{cc}} = Humedad a capacidad de campo

P_{s_{pmp}} = Humedad a punto de marchitamiento permanente

PS = Humedad a saturación

Tomando logaritmos y sustituyendo los valores de K y n; obtenidos de (8) y (9) en (10) se tiene:

$$\log C = \log(T_{cc} + C) \frac{\log PS/P_{s_{pmp}}}{\log P_{scc}/P_{s_{pmp}}} - \log T_{pmp} + C \frac{\log PS/P_{s_{pmp}}}{\log P_{scc}/P_{s_{pmp}}} + 1$$

Si se toma la variable auxiliar q, cuyo valor es:

$$q = \frac{\log PS/P_{s_{pmp}}}{\log P_{scc}/P_{s_{pmp}}}$$

Entonces se tiene:

$$\text{Log } C = q * \log(T_{cc}+C) - (q-1) * \log(T_{pmp}+C) \quad (11)$$

En vista de que no se puede despejar C, se obtuvo una relación entre C y q (curva), a partir de la cual se tiene una estimación bastante aproximada de C mediante regresión.

$$C = 1.1122 q^{7.4147} \quad (12)$$

Conociendo C, los valores de n y K se obtienen de manera semejante a lo explicado en la fórmula de Palacios 1963.

$$n = \frac{\log \frac{15+C}{0.3+C}}{\log \frac{P_{scc}}{P_{spmp}}} \quad (13)$$

De la ecuación (10) se tiene:

$$K = C * (PS)^n \quad (14)$$

3.2 Curva de Esfuerzo de Humedad del Suelo (EHS)

Cuando el suelo contiene sales, además de la tensión del suelo, propiamente dicha, hay una tensión extra provocada por la presión osmótica, de tal manera que el EHS queda.

$$\text{EHS} = T + PO \quad (15)$$

Donde:

T = Tensión del suelo (atm)

PO = Presión osmótica (atm)



Para representar la curva de EHS, se parte de la curva de tensión a la cual se le adiciona en diferentes puntos la tensión por PO. Es necesario calcular la PO para diferentes contenidos de humedad.

$$PO_{P_{sx}} = PO_{sat} \frac{PS}{P_{sx}} \quad (16)$$

Donde:

$PO_{P_{sx}}$ = Presión osmótica para x % de humedad, Atm.

PO_{sat} = Presión osmótica a saturación, Atm

$PO_{sat} = 0.36 (CE \times 10^3)$

$CE \times 10^3$ = Conductividad eléctrica del extracto de saturación, dS/m (mmhos/cm)

PS = % humedad a saturación.

P_{sx} = % humedad del suelo.

- * Procedimiento para obtener la curva de esfuerzo de humedad del suelo (EHS)

Con las muestras de suelo preparadas (molido y tamizado) y utilizando la olla y membrana de presión se obtiene varios puntos de la curva de tensión (T vs Ps), para las tensiones de 0.1, 0.3, 0.5, 0.8, 1, 3, 5, 8, 12 y 15 atmósferas se obtendrá la humedad correspondiente. Con estos datos se obtiene y dibujan la curva de tensión, ya sea gráficamente o mediante una regresión. A partir de la curva de tensión, se adicionan los valores de Presión Osmótica (PO_{psx}), calculados con la fórmula (16), para diferentes humedades del suelo y los puntos resultantes corresponden a la curva de Esfuerzo de Humedad del Suelo (EHS).

IV. Reporte de la práctica

El reporte de la práctica deberá ser organizado de la siguiente manera:

1. Introducción
2. Objetivos
3. Revisión de Literatura
4. Resultados y Discusión

- * Datos obtenidos de olla y membrana de Presión.
- * Cálculos para obtener curva de tensión.
- * Cálculos para estimar curvas de tensión mediante las dos metodologías presentadas por Palacios (1963 y 1980).
- * Gráfica de curvas de tensión de la humedad del suelo.

- ♦ Comparación y discusión entre las curvas obtenidas en laboratorio y las estimadas.
- ♦ Cálculos de PO para diferentes contenidos de humedad.
- ♦ Graficar curvas de EHS, para un valor dado de conductividad eléctrica.

5. Conclusiones

6. Solución del cuestionario dado en clase

7. Literatura citada