# PRACTICA 1

## M U E S T R E O  D E  S U E L O

En cualquier tipo de muestreo que se realiza, lo que tradicionalmente se busca es que la muestra sea lo más representativa posible de la población, debido a que de los resultados que se obtengan en la muestra se realizarán inferencias sobre la población. En el sector agrícola dichas inferencias llegan a implicar la correcta o errónea decisión de aplicar una tecnología, el excelente o pésimo rendimiento de un cultivo etc., en el área edafológica el muestreo de suelos no escapa a dichas condiciones del muestreo, pero el problema radica en definir en la superficie a muestrear:

1.- Selección del sitio de muestreo
2.- Cuantos sitios de muestreo
3.- Como tomar las muestras, y
4.- Cuantas muestras tomar

Parte de los problemas indicados, se definen con los objetivos del muestreo, los cuales de una forma práctica los más comunes son:

**A** ⟩ - Obtener la caracterización física y química general del terreno; normalmente se realiza cuando el productor o el técnico asesor, no tienen ningún antecedente del terreno y desean mejorar las producciones y bajar costos de producción a través de optimizar las tecnologías que se estén manejando ó bien conocer la calidad del terreno para su compra.

**B** ⟩ - De diagnostico; se realiza cuando el productor desea conocer el porque, cierta área o tabla de su terreno con el mismo manejo tecnológico, los rendimientos que obtiene del cultivo son más bajos, no se logra el mismo desarrollo y la calidad del producto no cumple con los estándares requeridos en el mercado.

**C** ᚦ - De análisis específicos; normalmente se realiza cuando eventualmente se desea monitorear como va mejorando algún parámetro especifico del suelo, después de realizar algunos trabajos (drenaje, subsuelo, etc.) o aplicar algunos productos ejemplo salinidad, materia orgánica, sodicidad, etc.

**D** ᚦ - Conocer las cantidades de fertilizantes por aplicar al cultivo; es el más común que el productor y algunos técnicos desean conocer, sin embargo es el objetivo más controvertido

y erróneo, debido a que con solo los resultados de laboratorio, no es factible lograr con éxito el objetivo del muestreo.

## 1.- SELECCION DEL SITIO DE MUESTREO

Para la selección del sitio de muestreo en el objetivo A, existen algunos criterios prácticos y fáciles de seguir:

- Partiendo de la base de que el mejor indicador de las condiciones del suelo es el vigor de las plantas que sobre el se desarrollan; si el terreno tiene sembrado algún cultivo o maleza, se realiza un recorrido para observar la uniformidad en vigor y desarrollo (altura, grosor de tallo, follaje, etc.) y se delimitan las áreas de desarrollo similares, tantas como condiciones diferentes de desarrollo se detecten; desde el excelente hasta el pésimo desarrollo. Otro aspecto importante a considerar son las especies de malezas que se desarrollan, debido a su alta correlación con algunos problemas del suelo; el ejemplo más clásico es con problemas de salinidad del suelo.

- Si el terreno no tiene ningún cultivo, la selección del sitio de muestreo se basa en algunos parámetros superficiales del suelo como son: textura (al tacto), pedregosidad, color, pendiente, humedad, etc; en donde mediante recorridos por el terreno se delimitan las áreas similares, tantas como condiciones diferentes se tengan.

- Otra situación que puede presentarse es que el terreno no tenga ningún cultivo y el color, textura, y pendientes sean muy uniformes superficialmente. En este caso se selecciona la parte más larga del terreno y por la mitad se traza un transecto (línea recta imaginaria) y en forma más o menos equidistante se marcan los sitios de muestreo; en terrenos mayores de 100 hectáreas se marcan de cuatro a seis sitios (uno por cada 20 o 25 hectáreas). Con la información que se obtenga podrá diseñarse un mejor manejo del terreno y esperar el desarrollo del cultivo que se siembre, lo que confirmara mejor la selección de los sitios de muestreo.

En el objetivo B, los terrenos generalmente ya tienen antecedentes de manejo y bitácoras de manejo de los cultivos, por otro lado, el propietario y el encargado (mayordomo, capataz) de ejecutar los trabajos, conocen muy bien cada tabla del terreno y pueden señalar las áreas especificas en donde obtienen los mejores, medios y más bajos rendimientos y calidad o bien problemas en el manejo del suelo. Con está información y recorridos en el campo acompañados del propietario o mayordomo, la selección de los sitios de muestreos son más fáciles y precisos.

En el objetivo C las muestras son básicamente de seguimiento y más dirigidos, por lo que la selección de los sitios de muestreos no tienen ningún problema.

Para el objetivo D, posteriormente, se darán algunos comentarios.

## 2.- CUANTOS SITIOS DE MUESTREOS

La cantidad de sitios de muestreo a seleccionar, está en función de la variabilidad que se encuentre en el terreno, así como del objetivo del muestreo, como anteriormente se indicó; cabe señalar que no existe una relación directa entre la cantidad de sitios de muestreo a seleccionar y la superficie del terreno a muestrear, es decir que en una superficie de 100

hectáreas se pueden seleccionar cinco sitios y la misma cantidad de sitios en una superficie de 20 hectáreas. Lo importante que uno siempre debe tener presente, es que las muestras deben representar lo mejor posible la problemática o situación motivo del muestreo en el terreno.

## 3.- COMO TOMAR LAS MUESTRAS

Una vez seleccionados los sitios de muestreo, el siguiente paso importante es como tomar las muestras de suelo, tradicionalmente se han tomado a incrementos constantes de 30 cm. (0-30, 30-60,etc), en donde a la primera profundidad de 0-30 cm. se le conoce como capa arable y la de 30-60 como subsuelo. Dichas consideraciones de muestreos tiene algunas limitantes prácticas que no pueden generalizarse, tales como:

- La mayoría de los arados agrícolas profundizan a 30 cm. quizás de ahí el nombre de capa arable, pero el sistema radical de la mayoría de los cultivos exploran profundidades mayores de 30 cm.

- En muchos terrenos agrícolas la primera capa del suelo u horizonte es mayor y/o menor de 30 cm. y muy diferente al horizonte inmediato inferior.

- Es bien conocido que las condiciones físicas y químicas de los horizontes inferiores llegan a ser las responsables de los malos o buenos rendimientos de los cultivos ó del alto o bajo potencial productivo de los suelos.

- En suelos con horizontes no múltiples de 30 cm. las muestras que se toman vienen de horizontes mezclados, cuyos análisis no reflejan las condiciones físicas y químicas reales del suelo, lo cual provoca interpretaciones y tomas de decisiones erróneas que se reflejan en el desarrollo y producción de los cultivos.

- Las muestras de suelo con incrementos constantes de 30 cm., normalmente se realizan con barrenas, y no se logran detectar algunas condiciones físicas (estructura, aereación, compactación, textura, etc.) de los horizontes, los cuales llegan a definir el manejo que se le dará al suelo.

- En áreas con cultivo establecido ya sea anual o perenne, con barrena no es factible observar la profundidad y distribución del sistema radical de los cultivos y su condición de sanidad.

En base a las limitantes indicadas de los muestreos de suelos a incrementos constantes de 30 cm.; se sugiere la apertura de perfiles de 1.0 m. de ancho, 1.0 m. de largo y de 1.50 a 2.50 metros de profundidad, en los sitios de muestreos marcados, los cuales permiten identificar claramente las siguientes condiciones:

_ El vigor y desarrollo radical de los cultivos y su condición de sanidad.

_ La presencia de horizontes o capas compactadas o cementadas que influyen en el desarrollo radical.

_ La distribución textural de los diferentes horizontes que integran el perfil; indispensable en determinar el movimiento descendente del agua, la posible acumulación (saturación - no aereación), grado de lixiviación y su movimiento capilar ascendente.

_ Las características estructurales de cada horizonte; muy importante en definir las condiciones de otras propiedades físicas (aereación, retención de humedad, etc.).

_ Identificación de horizonte con problemas específicos de acumulación de sales, sodio etc.

_ Identificación del nivel freático y sus características químicas.

_ Definir la profundidad de los drenes pluviales y drenes freáticos.

_ Definir con bases más técnico – científicas el programa de manejo y conservación del suelo, agua, nutrimentos y otros.

La caracterización física y química del suelo mediante este tipo de muestreo, se realiza cada 5 o 10 años en función del grado de Intemperismo bajo el cual se desarrollan los suelos, y en dicho tiempo se realizan muestreos específicos de algún parámetro que se desee mejorar, ejemplo aumentos de la materia orgánica, bajar sales, bajar sodio etc. los cuales se puede realizar con barrena a profundidades previamente definidas con el perfil. En el área del punto de muestreo, se toma una muestra compuesta a la profundidad del primer horizonte con fines de fertilidad básicamente.

## 4.- CUANTAS MUESTRAS TOMAR

La pregunta que normalmente se hace tanto el productor como el técnico es cuantas muestras de suelo tomar en el rancho o finca. En base a lo indicado anteriormente, en el muestreo a incrementos constantes de 30 cm., la cantidad de muestras por sitio, queda definida al fijar la profundidad del muestreo. Sin embargo en el muestreo sugerido, mediante la apertura de un perfil por sitio de muestreo, se desconoce la cantidad exacta de muestras que se van colectar, debido a que están en función de las capas u horizontes identificados en el perfil, es decir se toma una muestra por cada horizonte, cuya cantidad puede variar de una hasta cinco o seis muestras por perfil.

El como tomar las muestras de suelo, es una metodología ampliamente documentada para ambos sistemas de muestreos; además el personal del laboratorio a donde mandara a analizar las muestras, lo pueden orientar en como tomar las muestras.

## 5. MANEJO DE LAS MUESTRAS EN EL LABORATORIO

Las muestras de suelo húmedo se ponen a secar al aire sobre un papel limpio, (no usar papel periódico), esto con el fin de expresar los resultados del análisis en porciento, por mililitro o por ppm del suelo seco. Una vez seco el suelo se procede a moler los terrrones con un mazo de madera y enseguida se procede a pasarlo por un tamiz de 2 mm y se desecha el sobrante que no pasa por el tamiz, una pequeña porción del suelo de 2 mm se pasa a través de un tamiz de 0.5 mm para determinar carbonatos totales y materia orgánica. Se guardan las muestras en una bolsa de plástico bien cerrada y etiquetada. La muestra esta lista para iniciar los análisis requeridos.

# PRACTICA 2

## TEXTURA (Richards, 1980).

La textura del suelo se refiere a la proporción relativa de arena, limo y arcilla; específicamente la clasificación de texturas se basa en la cantidad de partículas menores de 2 mm. Si las partículas mayores de 2 mm están presentes en cantidades significativas, al nombre de la textura se le agrega un adjetivo apropiado como gravoso o pedregoso.

La determinación del porciento de arena, limo y arcilla es a lo que se llama análisis mecánico, pero solamente dos han sido los mas comúnmente aceptados, el método de la pipeta y el método del hidrómetro (Boyoucus), ambos métodos se basan en la proporción diferencial de asentamientos de las partículas de suelo en el agua.

Para dispersar los agregados del suelo es necesario utilizar hexametafosfato de sodio (calgón), este procedimiento se usa para efectuar la separación de las partículas de arena, limo y arcilla.

Boyoucus determinó que después de 40 segundos todas las partículas mayores de 0.05 mm de diámetro se han asentado de tal manera que no tendrán ninguna influencia sobre el hidrómetro y a las dos horas se habrán asentado las partículas de 2 micras.

PROCEDIMIENTO:

1.- Pesar 50 g de suelo de textura fina (arcilloso) o 100 g de suelo de textura gruesa (arenoso) y se ponen en la copa del agitador, llenándose ésta con agua destilada hasta 4 cm por debajo del borde.

2.- Agregar 10 ml de calgón.

3.- Agitar por 10 minutos.

4.- Vaciar el contenido de la copa de agitación en una probeta especial, lavando la copa con una piseta con agua destilada para que no quede nada de suelo en la copa y aforar hasta 1130 ml si el suelo es arcilloso y hasta 1205 ml si el suelo es arenoso, los aforos deben llevarse a cabo con el hidrómetro adentro y con agua destilada.

5.- Sacar el hidrómetro y tapar la boca de la probeta herméticamente con la palma de la mano o con una pelota de esponja, luego se le dan varias vueltas de campana.

6.- Colocar la probeta sobre la mesa de trabajo y anótese la hora, sumérjase el hidrómetro para hacer la primera lectura a los 40 segundos después de haber colocado la probeta en la mesa y tomar enseguida la temperatura de la suspensión.

7.- Tomar la siguiente lectura a las dos horas después de la lectura anterior (sin agitar) colocando el hidrómetro 20 segundos antes del tiempo indicado y tomar también la temperatura.

CALCULOS:

1.- Corregir las lecturas del hidrómetro agregando 0.36 por cada grado centígrado arriba de 20$^{o}$C o restando la misma cantidad por cada grado abajo de 20$^{o}$C.

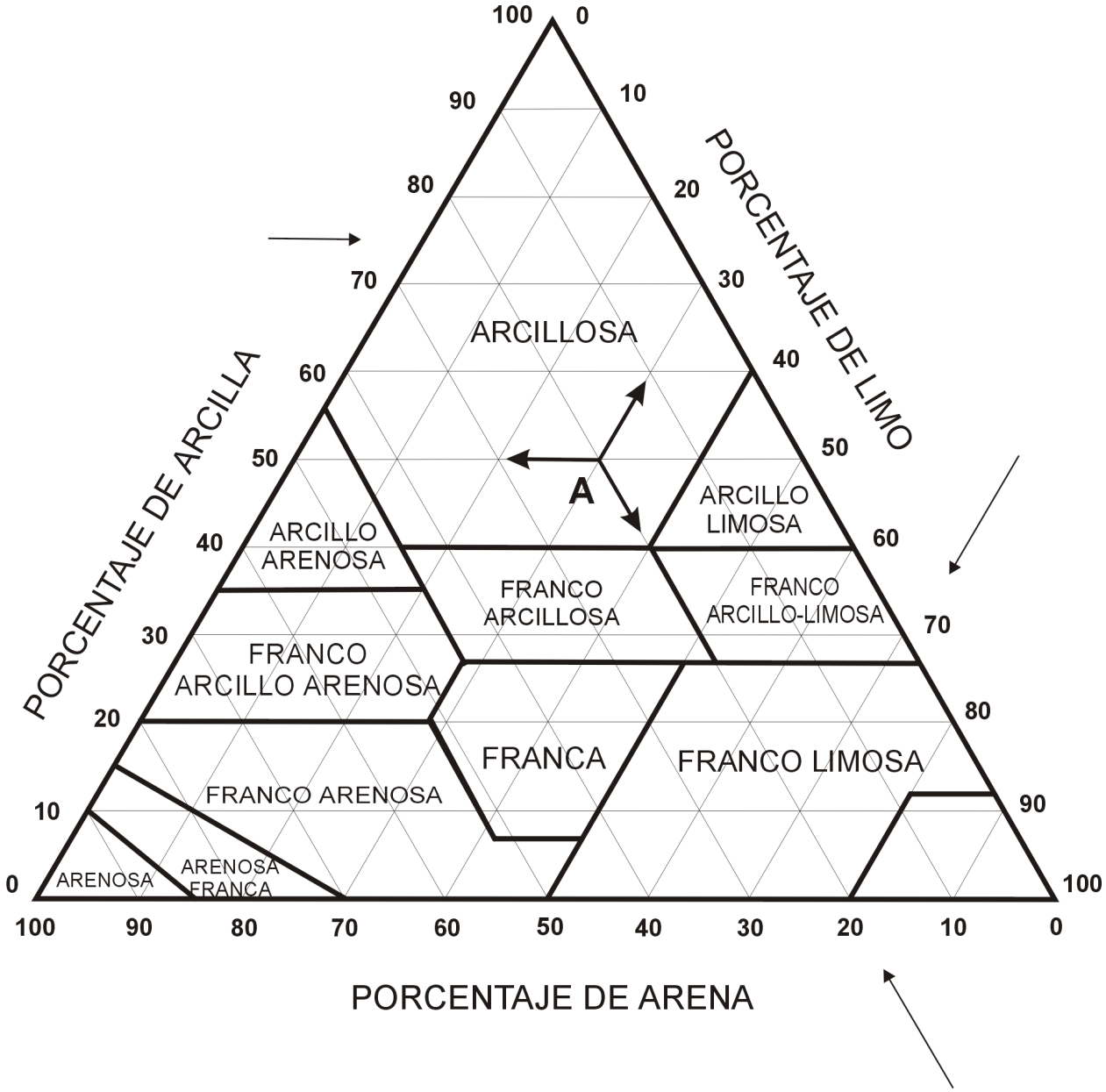
2.- % Arena = 100 - LC a los 40 segundos.
% Limo = LC a los 40 segundos - LC a las dos horas
% Arcilla = LC a las dos horas.
LC= Lectura corregida.

3.- Con el porcentaje de arena, limo y arcilla se denomina la clase textural correspondiente ya que el hidrómetro está calibrado en base a 100 g de suelo.

NOTA: Cuando se utilizan 50 gr de suelo deben multiplicarse por 2 las lecturas correspondientes ya que el hidrómetro está calibrado en base a 100 g de suelo.

REACTIVOS:

Hexametafosfato de sodio (calgón) 5%.- Pesar 50 g de hexametafosfato de sodio y aforar a un litro.




## TRIANGULO DE TEXTURAS

## DETERMINACION DE TEXTURA EN EL CAMPO

La textura del suelo también puede determinarse directamente en el campo. En general, debe considerarse como una estimación y el procedimiento consiste en tomar entre los dedos una pequeña fracción de suelo, humedecerlo y frotarlo o moldearlo. De acuerdo con la sensación o forma, se establece la clase textural.

Las normas que tradicionalmente se siguen, son: la dominancia de arena da una sensación como de lija (rasposo); la dominancia en limo produce una sensación a jabón, y la dominancia en arcilla origina un material pegajoso y moldeable. También es común diferenciar a los suelos arcillosos de los francos por las formas que pueden moldearse. Con ambos suelos es posible hacer cordones redondeados entre las manos, pero solo con las arcillas pueden formarse anillos.

# PRACTICA 3

## COLOR DEL SUELO.

El color del suelo es un indicador de la existencia de ciertos componentes, tales como la materia orgánica, humedad, condiciones de drenaje, aireación, presencia de minerales y sus estados de óxido-reducción. Las coloraciones rojizas indican la presencia de óxidos (principalmente de hierro) y sulfuros, mientras que el color blanco la presencia de sulfatos y carbonatos. El color oscuro en los horizontes indica la presencia de materia orgánica y/o óxidos de manganeso; un suelo de color brillante indica un buen drenaje, mientras que uno de color opaco sugiere un drenaje deficiente. Cuando aparece un color moteado se tienen condiciones de hidromorfismo y de óxido-reducción.

Dentro de los óxidos de hierro, cuya presencia en el suelo es muy frecuente, se presenta la siguiente gama de coloraciones:

| Mineral | Nombre | Color |
|---|---|---|
| $Fe_2O_3$ | Hematita | Rojo |
| $Fe_2O_3$ $H_2O$ $FeO_2H$ | Goetita | Amarillo o Pardo Rojo |
| $Fe_2O_3$ $nH_2O$ | Limonita | Amarillo Verdoso |
| $Fe(OH)_3$ | Hidróxido férrico | Herrumbre |
| FeO | Oxido férrico | Azul en medio alcalino |
| | | Verde en medio alcalino |
| $Fe(OH)_2$ | Hidróxido ferroso | Verde grisáceo |
| | Fe unido a la M.O. | Negro |
| | Fe unido a arcilla | Amarillo o pardo |
| | Fe unido a arcilla y M.O. | Pardo |
| | Complejos ferrosos | Grisáceo |
| | Complejos ferrisilísicos | Rojizo |

### Determinación del color del suelo.

El color del suelo se determina por comparación con las Cartas Munsell (Munsell Color, Co. Inc. 1945) que tiene todos los colores estándar, conteniendo 175-177 cuadros de colores diferentes y montados sistemáticamente de acuerdo a las tres propiedades esenciales del color: el Matiz (Hue), el Valor (Value) e Intensidad (Chroma). El matiz se refiere a la longitud de onda dominante que

es reflejada (azul, verde, amarillo, rojo y púrpura). En los suelos los colores varían en matiz desde el rojo (R), pasando por el rojo-amarillo (YR) hasta el amarillo (Y) y en ocasiones manchas de amarillo verde (GY) o aún de verde (G).
La ordenación continua del matiz existente entre estos colores principales se subdivide por medio de prefijos numéricos que van desde el 0 al 10. El matiz designado, junto con el negro y blanco, produce todos los colores de cualquier página de la Tabla de Munsell.

El Valor indica el porcentaje de luz reflejada del total incidente y constituye una medida del Total de color blanco o negro que mezclados se requieren para formar la tonalidad de gris. (El gris es la mezcla de blanco y negro). El Valor tiene magnitudes desde 0 para el Negro Absoluto (nada de blanco) hasta el 10 para el Blanco Absoluto (nada de negro). Cuantitativamente dicho valor es igual a la raíz cuadrada del porcentaje de luz reflejada. En la tabla el valor para el color del suelo va desde 2 en la parte Inferior hasta 8 en la parte Superior.

La Intensidad indica la cantidad de pigmento que debe mezclarse con el gris para producir el color que se requiere. Un objeto de color gris puro tiene 0 de intensidad y uno que sólo refleja una longitud de onda (muy pura) tendrá intensidad 20. En los colores del suelo varían desde 0 en la parte izquierda de la hoja hasta 8-10 en la derecha.

Es recomendable medir el color del suelo bajo las mismas condiciones de humedad a capacidad de campo, iluminación y fondo de contraste.

El color debe ser medido en seco y en húmedo, la humedad hace disminuir una unidad a la intensidad, por lo general el matiz permanece constante. El color en ohúmedo es por tanto más oscuro que en seco para la misma muestra. Al medir el color en las dos condiciones de humedad se tiene los dos extremos de la gama de colores del suelo, que depende de su % de humedad.

**Objetivos:**

1. Comprender el fundamento de elaboración de las Cartas Munsell.
2. Manejar adecuadamente las Cartas Munsell.
3. Inferir características fisicoquímicas del suelo y procesos edafogenéticos de acuerdo al color.

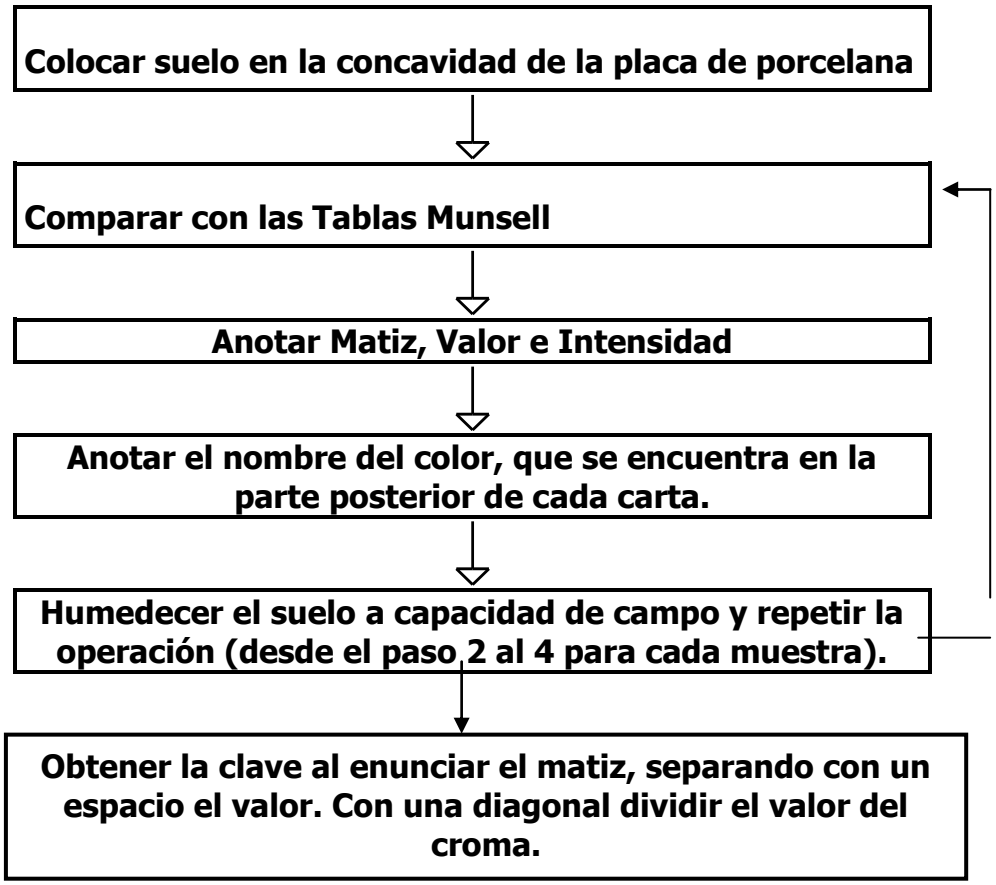
**Material:**

Placas de porcelana

Tablas de Color Munsell

Piceta con agua destilada

**Procedimiento:**



# PRACTICA 4

## DENSIDAD APARENTE

La densidad aparente se define como el cociente que resulta de dividir el peso de suelo seco entre el volumen total, incluyendo los poros. Usualmente se expresa en gr/$cm^3$ . Para fines prácticos, conceptualmente esto es lo mismo que la gravedad específica o peso volumétrico.

$$Da = \frac{Pss}{Vt}$$

Donde:

Da = Densidad aparente
Pss = Peso de suelo seco, gr.
Vt = Volumen total, $cm^3$

Los suelos arenosos son relativamente bajos en espacio vacío total y proporcionalmente tienen densidades aparentes altas.

Las densidades aparentes aumentan con la profundidad en el perfil del suelo. Esto se debe a más bajos niveles de materia orgánica, menor agregación y mas compactación.

Los valores de densidad aparente varían en función de las propiedades de los suelos fundamentalmente con la textura y el contenido de materia orgánica. Sin embargo como valores medios se tienen los siguientes:

| Textura | Da gr/$cm^3$ |
|---|---|
| Arena | 1.6 –1.7 |
| Francos | 1.3 –1.4 |
| Arcillas | 1.0 – 1.2 |
| Suelos orgánicos | 0.7 – 1.0 |

La determinación de la Da puede hacerse por diferentes métodos; con muestras alteradas e inalteradas, entre ellos se pueden mencionar:

1.- Método de campo utilizando plástico.
2.- Utilizando barrenas o cilindros de volumen conocido (método de campo).
3.- Método del terrón y parafina (método de laboratorio)

### METODO DE CAMPO UTILIZANDO PLASTICO

Procedimiento: Se perfora el terreno con una pala y se hace una oquedad con determinada dimensión (20X20X15 aproximadamente), la porción de suelo obtenida se somete a secado y se pesa.

El volumen se calcula mediante la colocación de un plástico en la oquedad. Su volumen se determina por el agua requerida para llenarlo, midiéndolo mediante el uso de una probeta graduada. En caso de no poder llevar a cabo todo el suelo obtenido a la estufa, la muestra con el suelo se pesa en el campo y se obtiene el peso de suelo húmedo (Psh), de ella se toma una muestra representativa para determinar el contenido de humedad mediante su secado a la estufa a 110°C hasta peso constante; con el contenido de humedad se determina el peso de suelo seco y como el volumen de suelo es conocido, se determina la densidad aparente utilizando la siguiente fórmula:

$$Da = \frac{100\ Psh}{Vt\ (100 + Ps)}$$

Donde:

Da= Densidad aparente, gr/cm3.
Psh= Peso de suelo húmedo, kg.
Vt = Volumen total de agua, l.
Ps= Porcentaje de humedad, %.

## METODO DEL TERRON CUBIERTO DE PARAFINA

Este método está basado en que la Da de los terrones o de las unidades estructurales del suelo, se puede calcular a partir de su masa y su volumen.

El volumen se determina mediante el recubrimiento del terrón con una sustancia impermeable al agua y pesándolo tanto al aire como sumergido en agua de densidad conocida, haciendo uso del principio de Arquímedes. El terrón o la unidad estructural de suelo, debe ser lo suficientemente estable para que no se destruya en su recubrimiento, pesada y manejo. La densidad aparente se calcula con la siguiente fórmula:

$$Da = \frac{Pss}{Vd - \frac{(S - Pss)}{Dp}}$$

Donde:

Da = Densidad aparente, gr/$cm^3$.
Dp = Densidad de la parafina, gr/$cm^3$ (0.85-0.90).
Pss = Peso del terrón, gr.
S = Peso del terrón mas parafina, gr.
Vd = Volumen desplazado por el terrón cubierto de parafina.

Este método generalmente de valores mas altos de densidad aparente; debido principalmente a que el terrón no incluye el espacio natural entre terrones en el suelo, ya que el volumen medido corresponde a un terrón secado al aire, por lo que este volumen puede ser mucho menor que el de un terrón a la humedad de campo, pues se contrae al secarse.

Usos de la densidad aparente

- Cálculo del Peso de una Capa de suelo, es un dato indispensable para expresar muchos datos analíticos en Kg/ha. Para obtener este dato se emplea la fórmula:

$P = Da \times E \times S$

P = Peso en Ton/ha
Da = Densidad aparente en ton/$m^3$ (no existe ningún cambio en la transformación el valor en g/$cm^3$).
E = Espesor de la capa en m.
S = Superficie, generalmente referida a 1 ha = 10,000 $m^2$.

# PRACTICA 5

# DENSIDAD REAL

La densidad real de un suelo es la relación que existe entre el peso de éste, en seco (Pss) y el volumen real o sea el volumen de sus partículas (Vp). Usualmente se expresa en gr/cm$^3$. Se calcula por mediante la siguiente fórmula:

$$Dr = \frac{Pss}{Vp}$$

Donde:

Dr = Densidad real, gr/cm$^3$.
Pss = Peso del suelo seco, gr.
Vp = Volumen de las partículas, cm$^3$.

El tamaño y arreglo de las partículas del suelo no afectan la densidad de las partículas. Sin embargo, la materia orgánica que pesa mucho menos de un volumen de sólidos minerales influirá en ella. En suelos minerales esta densidad es casi constante y varía de 2.60 a 2.75 gr/cm$^3$.

La determinación de la densidad real se realiza principalmente por el método del picnómetro; en el que se emplea un pequeño frasco llamado picnómetro.

PROCEDMIENTO:

Se pesa un picnómetro lleno de aire, P'a; lleno de agua, Pa; con la muestra de suelo secad a la estufa, Ps; y lleno con suelo y agua, Psa. Para eliminar el aire del picnómetro con suelo y agua, deben sujetarse a varias reducciones de presión en un desecador de vacío y luego se dejan en reposo por varias horas a muy baja presión, para que luego se llenen con agua y se pesen, Psa. La densidad real en gr/cm3, Dr, está dada por la fórmula:

$$Dr = \frac{Dag\ (Ps - P'a)}{(Ps - P'a) - (Psa - Pa)}$$

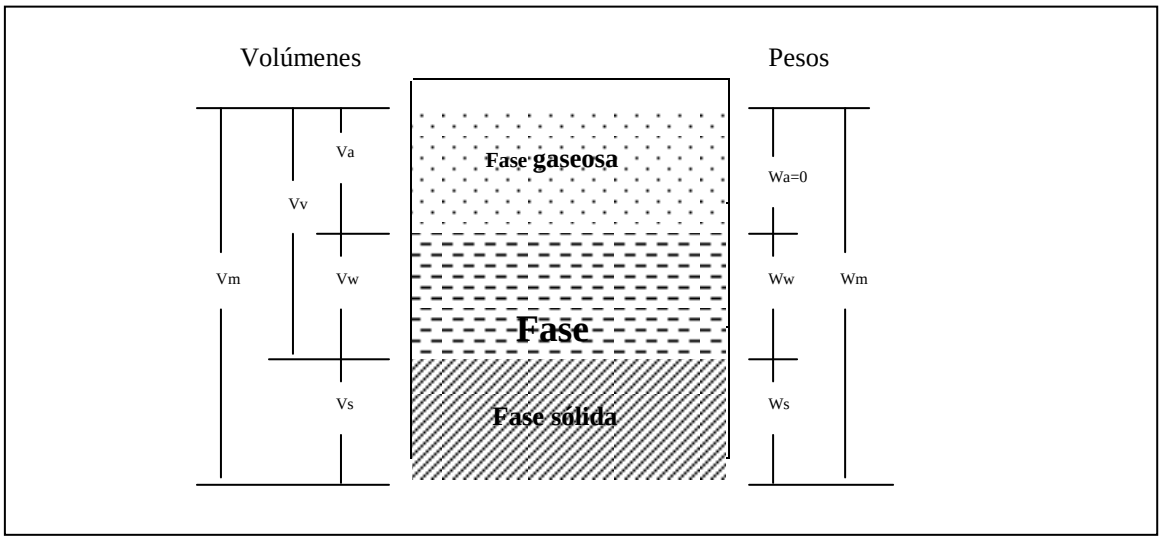
Donde:

Dag= densidad del agua, gr/cm3.

# PRACTICA 6

# DETERMINACION DE LA POROSIDAD

El espacio poroso es la porción de suelo no ocupado por partículas sólidas como se muestra en la siguiente figura. Los espacios porosos están ocupados por aire y agua. El arreglo de las partículas sólidas del suelo determina la cantidad de espacio poroso.




Representación gráfica del contenido de sólidos, líquidos y gas en el suelo. (Aguilera y Martínez, 1996).

El significado es le siguiente:

Vm = Volumen total de la muestra de suelo (Volumen de la masa).
Vs = Volumen de la fase sólida de la muestra (Volumen de sólidos).
Vv = Volumen de los vacíos de la muestra del suelo (Volumen de vacíos).
Vw = Volumen de la fase liquida contenida en la muestra (Volumen de agua).
Va = Volumen de la fase gaseosa de la muestra (Volumen de aire).
Wm = Peso total de la muestra de suelo (Peso de la muestra).
Ws = Peso de la fase sólida de la muestra de suelo (Peso de los sólidos).
Ww = Peso de la fase líquida de la muestra (Peso del agua).
Wa = Peso de la fase gaseosa de la muestra.

La porosidad se define como el porcentaje del volumen total de suelo que está ocupado por los poros:

$$Pr = \frac{V}{Vt} \times 100$$

Donde:

Pr = Porosidad, %.
V = Volumen de vacíos, $cm^3$.
Vt = Volumen total, $cm^3$.

Como se vio en las prácticas anteriores:

Da = Pss/Vt;  Dr = Pss/Vp

Pero Vp = Vt –Vv; entonces Dr = Pss/(Vt-Vv)

Despejando el volumen de vacíos en esta ecuación se tiene:

$$Vv = Vt - \frac{Pss}{Dr}$$

Sustituyendo:

$$Pr = Vt - \frac{\frac{Pss}{Dr}}{Vt} \times 100$$

$$Pr = \left[ \left(\frac{Vt}{Vt}\right) - \frac{Dr}{Vt} \right] 100$$

$$Pr = \left(1 - \frac{Pss}{VtDr}\right) 100$$

Como: $\frac{Pss}{Vt} = Da$

Entonces:

$$Pr = \left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) 100$$

O bien:

$$Pr = \frac{(Dr - Da)}{Dr} \times 100$$

Los valores de la porosidad fluctúan alrededor de los porcentajes siguientes:

30% para las arenas.
50% para las texturas francas.
65% para las arcillas.

Aunque la porosidad influye en la capacidad de retención del agua, sobre el movimiento del aire, del agua y del crecimiento de las raíces de las plantas en el suelo, para indicar las condiciones de aereación y permeabilidad de un suelo es necesario complementar el valor de dicha porosidad con la propiedad física de la distribución de poros por el tamaño.

**La distribución de poros por el tamaño**. En función del tamaño de los poros se divide la porosidad en capilar y no capilar.

Porosidad = poros capilares + poros no capilares.

Se entiende por porosidad capilar al volumen de poros (expresado en porciento) que retiene una columna de agua de 60 cm en 60 seg. Para que exista una aereación suficiente y las plantas puedan desarrollarse en un suelo, la porosidad no capilar debe ser alrededor del 10%.

# PRACTICA 7

## EL AGUA DEL SUELO

Los espacios entre las partículas forman una red de cavidades conectadas entre sí, de una variedad infinita de formas y dimensiones. Al suministrar agua en un suelo seco, ya sea por lluvia o por riego, esta se distribuye alrededor de las partículas y se retiene por fuerzas de adhesión y cohesión, desplaza al aire en las cavidades y finalmente llena los poros.

Cuando los poros grandes y chicos quedan llenos, se dice que el terreno está saturado y a su máxima capacidad de retención, debido a esto la película de agua alrededor de las partículas aumenta de espesor hasta que, las fuerzas de cohesión, que sostienen las películas de agua son menores que la fuerza de gravedad, provocando así su filtración. Esta agua que se filtra por acción de las fuerzas de gravedad se conoce como agua de gravedad o agua libre.

Al suspender el suministro en la superficie, ésta continúa colocándose por entre dichos poros durante varios días hasta que el agua libre logra filtrarse. Los poros se vuelven a llena de aire y el agua contenida en los poros pequeños sigue moviéndose por capilaridad y se le conoce como agua capilar.

El agua capilar penetra más lentamente que el agua de gravedad y se mueve en cualquier dirección, en respuesta a diferencias de tensión.

En términos generales y en condiciones normales, la capilaridad actúa libremente hasta 1.2 ó 1.5 m de altura, relativamente bien hasta 3 m y mas lentamente hasta 9 m o más.

La evaporación en la superficie y la absorción de humedad de las plantas en crecimiento, reducen la cantidad de agua en el suelo hasta el punto que no se observa movimiento de capilaridad. El agua queda aprisionada herméticamente en forma de capas muy delgadas alrededor de las partículas de suelo, no puede ser aprovechada por la planta y ésta comienza a marchitarse. Finalmente, el suelo queda tan seco que causa la muerte de la planta se demora el suministro de agua al terreno. La parte restante del agua queda retenida entre las partículas superficiales, especialmente en los coloides del suelo, en forma tal que se pierde su estado líquido y se desplaza como vapor. Este tipo de agua se conoce como agua higroscópica.

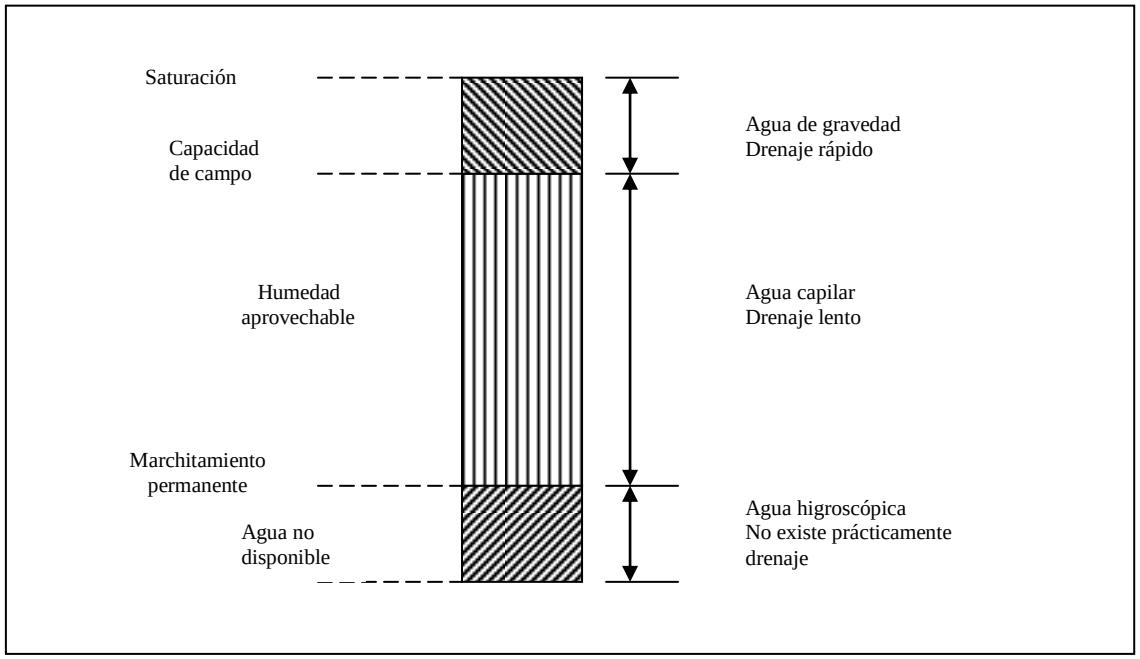
No existe una línea clara de separación entre estos tres tipos de agua del suelo. La proporción en que se encuentran cada uno de ellos depende de la textura, de la estructura, contenido de materia orgánica, de la temperatura y del espesor del perfil del suelo considerado.

Expresiones de la humedad del suelo basadas en la clasificación de disponibilidad de agua con relación a los vegetales, son las siguientes:

Agua de gravitación: Agua que drena por acción de la gravedad de la zona radicular de los cultivos y es un drenaje mas rápido en los suelos arenosos que en los arcillosos.

Agua no disponible: Agua que se encuentra retenida por la fuerza capilar y que a las plantas se les dificulta mucho su aprovechamiento.

Agua disponible o humedad aprovechable: Agua que puede ser aprovechada por la planta y se define como la diferencia entre la humedad a capacidad de campo y la humedad en el punto de marchitamiento permanente.




**Clases de agua disponible para los vegetales y características de drenaje.**

## Contenido de humedad del suelo

Entre un suelo saturado y un suelo seco, existe una variación muy considerable en su contenido de humedad, este contenido se expresa generalmente en porcentaje respecto al peso del suelo seco, es decir la relación de peso de agua contenida a peso del suelo seco multiplicada por cien.

Con objeto de tener siempre un patrón constante, se dice que un suelo está seco cuando se ha secado en una estufa a una temperatura de 105º-110$^{o}$C durante 24 horas o hasta obtener un peso constante.

El contenido de humedad se expresa con la siguiente ecuación:

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

Donde:

Ps = Contenido de humedad (%).
Pss = Peso de suelo seco (gr).
Psh = Peso de suelo húmedo (gr).
Pa = Peso de agua contenida (gr).

El contenido de agua en el suelo también puede expresarse en porcentaje de volumen de agua respecto al volumen total del suelo, como sigue:

$Pv = (Va / Vt) \times 100$

Donde:

Pv = Porciento en volumen.
Va = Volumen de agua (cm).
Vt = Volumen total (cm).

El volumen total del suelo es su volumen aparente e incluye los poros.

Debido a que la unidad de volumen de agua pesa la unidad de peso, es válida la siguiente igualdad: Va = Pa

Por lo tanto, si despejamos y sustituimos en las fórmulas anteriormente citadas tenemos:

$$Pa = \frac{Pss \times Ps}{100} = Va$$

$$Pv = \frac{Ps \times Pss \times 100}{Vt \times 100}$$

## DETERMINACION DE LA CURVA DE TENSION DE HUMEDAD DEL SUELO.

El procedimiento consiste en obtener datos de humedad a diferentes tensiones partiendo de 0.3 atmósferas, que es cuando se considera que el suelo está a su máxima capacidad de retención de agua, hasta 15 atmósferas, tensión a la que se alcanza aproximadamente el PMP. Cómo resultado se obtiene una curva de forma hiperbólica, la que puede ajustarse por medio de una regresión simple.

Para obtener la curva anteriormente mencionada, los valores de las abscisas son los de porciento de humedad (Ps %) y los valores de las ordenadas de la tensión en atmósferas.

Método de la olla y la membrana de presión. Es el método mas desarrollado, pues permite hacer la determinación del valor de la CC y PMP de un gran número de muestras en corto tiempo y consiste en aplicar aire a presión de 1/3 de atmósfera a las muestras de suelo previamente saturadas. Además permite hacer la curva de retención de humedad en varios valores de presión.

El equipo que se utiliza es: olla de presión y platos de cerámica, anillos de hule de 1 cm de alto por 6 cm de diámetro para contener muestras de 25 gr cuando menos, balanza, estufa y botes de aluminio para determinar humedad.

Las muestras se colocan en el plato de cerámica previamente saturado y se les agrega agua hasta saturación, se colocan en la olla y se aplica la presión que se desee determinar por un período de 18 a 24 horas.

Después de ese tiempo se quita la presión del aire y se pesan las muestras, se pasan a la estufa a 105°C. por 24 horas, se pesan de nuevo y se calcula el porcentaje de humedad con la siguiente fórmula:

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

Donde:
Ps = Contenido de humedad, %
Pss = Peso de suelo seco, gr
Psh = Peso de suelo húmedo, gr

Palacios (1963) propuso una ecuación de tipo exponencial que se puede utilizar cuando se dispone de pocos datos. Tomando en cuenta que los puntos que se pueden considerar conocidos son la CC y el PMP, ya que estos valores de porcentaje de humedad, correspondientes a la tensión del suelo son aproximadamente constantes; expresó dicha ecuación de la siguiente manera:

$$T = K(Ps)^n + C$$

Donde:

T= Tensión del suelo, atm.
Ps = Porcentaje de humedad, %.
n = Exponente que depende de las características físicas del suelo, adimensional.
K = Constante que también depende de la textura, estructura y compactación del suelo, adimensional.
C = Constante que también es función de las características físicas del suelo, adimensional.

El parámetro C se adicionó debido a que, al probar con curvas de texturas de suelo diferentes se encontró que tan solo para algunos suelos era aceptable la ecuación. El mismo Palacios, analizando varias curvas de tensión de humedad de suelos cuya textura varía desde franco-arenoso hasta la arcilla encontró una ecuación de regresión entre la CC y la constante C;

El valor del PMP es aproximadamente de 0.5 de la CC, por lo que para conocer en forma aproximada la ecuación de las curvas de retención de humedad cuando se conoce sólo la capacidad de campo se recurre a la gráfica de la siguiente figura, en la cual se pueden obtener los valores de los parámetros K, c y n.

Este procedimiento es aproximado, pero sirve para conocer la relación tensión de humedad cuando no se tienen los medios adecuados para obtener las curvas en el laboratorio.

# PRACTICA 8

## DETERMINACION DE pH Y CONDUCTIVIDAD ELECTRICA

El término sales solubles, como es aplicado a suelos, se refiere a la mayor cantidad de solutos inorgánicos que se pueden disolver. La salinidad de suelos, se describe y caracteriza en términos de concentración (ocasionalmente en cantidad) de sales solubles. El manejo y necesidades de recuperación de los suelos salinos son evaluados midiendo la concentración de sales solubles.

Idealmente, lo deseable sería conocer la concentración individual de los solutos en el agua del suelo en un rango amplio de humedades en el campo y obtener esta información en forma inmediata y directa del campo, sin necesidad de colectar muestras de suelo y análisis de laboratorio. Sin embargo a la fecha no existe un método práctico que permita tales determinaciones.

Las sales solubles en el suelo pueden ser determinadas o estimadas de medidas hechas en: 1) Extractos de muestras de suelo, 2). En muestras de agua obtenidas directamente del suelo (Solución del suelo), 3). Usando sensores de salinidad porosos, previamente equilibrados, 4) En el suelo o pasta de suelo, usando cuatro electrodos con un sistema electromagnético. El método mas adecuado debe ser seleccionado en función de las condiciones específicas y propósitos; si lo único que se requiere es el nivel de electrolitos totales solubles, los sensores de salinidad son más recomendables; cuando la determinación de un soluto en particular es lo que se requiere, el extracto de suelo o colección de agua del suelo es lo mas apropiado.

## METODO DEL EXTRACTO

La relación agua-suelo que se utilice debe estandarizarse para obtener resultados que puedan ser aplicados e interpretados universalmente. Por esto la salinidad de los suelos es convencionalmente definida y medida en el extracto

de la pasta de suelo saturada. Esta relación de agua-suelo (pasta saturada) refleja mejor las cantidades de agua del suelo bajo condiciones de campo; y por esta razón la tolerancia de los cultivos a la salinidad es frecuentemente relacionada con la conductividad eléctrica del extracto de saturación (Laboratorio de Salinidad, U.S.D.A.).

Otras relaciones agua-suelo 1:2, 1:5, etc. son más fáciles de usar que la de saturación, pero no reflejan los contenidos reales de agua del suelo bajo condiciones de campo; y errores tales como peptización, hidrólisis, cationes intercambiables y solubilización de minerales son muy significativos en dichos extractos.

**PROCEDIMIENTO DE LA PASTA DE SUELO SATURADA.**

Pesar de 200 a 400 g de suelo secado al aire en un recipiente de plástico con tapa, pesar el recipiente mas el suelo (anótelo), agregar agua desionizada y mezclar el suelo con una espátula hasta lograr la pasta de suelo saturada. En este punto de saturación, el suelo debe resbalar o deslizarse bien de la espátula, se refleja la luz. Cuando se logre este punto dejar reposar la muestra toda la noche de preferencia o al menos cuatro horas. Después checar de nuevo la pasta, no debe estar agua libre en la superficie del suelo. Si la pasta está muy húmeda agregar un poco de suelo (peso conocido), una vez lograda la pasta de suelo saturada, pesar de nuevo el recipiente. Anotar el aumento en peso, el cual corresponde al agua adicionada, calcular el porcentaje de saturación sumándole al agua de suelo secada a la estufa el peso del agua adicionada, pasar la pasta de suelo saturada a un embudo buchner con papel filtro, aplicar vacío y colectar el filtrado en un tubo de ensaye o frasco. Si el filtrado inicial sale turbio, refiltrarlo o descartarlo. Agregar una gota de la solución de 0.1% ($NaPO_3$) por cada 25 ml del filtrado.

El hexametafosfato de sodio es agregado al extracto para prevenir precipitaciones de $CaCO_3$ la cantidad adicionada incrementa la concentración de

sodio en aproximadamente 0.5 ppm ó 0.02 meq/l. El extracto debe guardarse a una temperatura aproximada de 4$^{\emptyset}$C hasta que se analice.

Determinar pH en la pasta de suelo saturada y en el extracto la conductividad eléctrica, tomando en cuenta la temperatura. (Laboratorio de Salinidad U.S.D.A.).

**DETERMINACION DEL pH. (Richards, 1980)**

Los métodos para determinar pH en los suelos puede dividirse en métodos colorimétricos o electrométricos. Los métodos colorimétricos hacen uso de indicadores, generalmente colorantes orgánicos, de tipo ácido o básico, que cambian de color con la actividad de los iones $H^+$. Su uso se restringe a trabajos de campo, para obtener valores aproximados de pH.

El método electrométrico es el más utilizado en los laboratorios de suelos. Con este método, se mide el potencial de un electrodo sensitivo a los iones $H^+$ (electrodo de vidrio) presentes en una solución problema, usando como referencia un electrodo cuyo problema no se modifica cuando cambia la concentración de los iones a medir.

Reportar siempre el resultado indicando la relación suelo-solución o pasta de suelo saturada empleados.

**CONDUCTIVIDAD ELECTRICA. (Richards, 1980)**

La conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE) ha sido durante mucho tiempo uno de los índices mas útiles y difundidos para evaluar la concentración salina en el laboratorio; dicho índice tiene utilidad práctica en (a) obtención de la salinidad promedio del suelo, (b) detectar y delimitar afloramientos salinos, (c) estimar la tolerancia de los cultivos a las sales, (d)

estimar el potencial osmótico de las soluciones de suelo y (e) verificar la veracidad de los análisis de aniones y cationes.

# PRACTICA 9

## DETERMINACION DE CARBONATOS TOTALES

Los carbonatos están presentes en los suelos como calcio poco soluble de tierras alcalinas conocidas como "Calcita" o como minerales de calcio-magnesio conocidos como "Dolomita". La calcita puede derivarse ya sea del material parental o pedogenético y la dolomita casi siempre proviene del material parental. Los materiales carbonatados también pueden provenir de los residuos de los mejoradores de suelo que se aplican como son cal, conchas, etc. Pero independientemente de la fuente, los carbonatos alcalinos de la tierra son generalmente distribuidos como fragmentos al azar a través del suelo; por lo tanto las muestras de suelo que se van a analizar para carbonatos, deben ser molidas y pasadas a través de una criba de 30 mallas, con objeto de reducir el error de submuestreo. Los carbonatos cálcicos se descomponen rápidamente en soluciones frías de ácidos diluidos, pero las dolomitas se descomponen muy despacio bajo las mismas condiciones; por lo que se requiere de calentar o extender el tiempo de la reacción, para asegurar una completa descomposición de la dolomita. Un molido muy fino acelera la reacción.

## METODO DE TITULACION CON ACIDO. (Aguilar, 1987, Richards, 1980).

En este método el suelo es tratado con un exceso de HCl, y el exceso es titulado con NaOH; el cual generalmente da valores un poco altos, pero tiene la suficiente precisión para muchas determinaciones de rutina.

PROCEDIMIENTO:

Coloque 1 g de suelo secado al aire (30 mallas) en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Agregue HCl 0.5 N con una bureta graduada, hasta que la adición del ácido ya no cause mas ebullición del $CO_2$; enseguida agregue 10 ml mas aproximadamente de ácido. Anote el volumen de ácido utilizado y su

normalidad. Caliente el matraz y su contenido hasta que hierva lentamente por cinco minutos y enseguida se enfría agregando 100 ml de agua destilada y/o desionizada fría y 4 gotas de fenolftaleina al 1%. Titule la mezcla de ácido con NaOH al 0.25N hasta que se observe un color rosado en el líquido, después de que el suelo se ha floculado. Anote el volumen de NaOH requerido y/o usado y su normalidad. Calcule el $CaCO_3$ equivalente que contiene la muestra, de la siguiente ecuación.

$$CaCO_3 \text{ Totales \%} = \frac{(\text{meq HCl} - \text{meq NaOH}) \times 0.05 \times 100}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

$$\text{meq} = (\text{ml gastados}) \times (\text{Normalidad de la solución})$$

Para aumentar la precisión, la mezcla de suelo y ácido puede filtrarse a través de un papel filtro medio, lavar con cuidado el papel filtro con agua destilada y/o desionizada para remover los excesos de ácido y enseguida se procede a titular. Siempre correr uno o dos blancos.

REACTIVOS:

Acido clorhídrico 0.5 N.- Diluir el HCl concentrado (12 N) aproximadamente a 0.5 N y estandarizarlo.

Hidróxido de sodio 0.25 N.- Disolver 10 g. de NaOH en agua destilada y/o desionizada y diluir a un litro, para obtener una solución de 0.25 N. Esta solución debe ser estandarizada.

Fenolftaleina 1%.- Un gramo de fenolftaleina diluirla a 100 ml con etanol al 60%.

# PRACTICA 10

## MATERIA ORGANICA

La materia orgánica generalmente es determinada mediante el análisis del carbón orgánico, principal elemento de la materia orgánica. Basándose en la asumpción de que la M.O. es el 58% de carbón, la M.O. puede ser calculada multiplicando el C orgánico por el factor 1.724. Sin embargo muchos estudios han demostrado que el contenido de C en la M.O. del suelo varía considerablemente de dicho porcentaje (58); por lo que los contenidos de M.O. del suelo mediante dichos cálculos son solo valores aproximados. Por esta razón, quizás el contenido de "carbón orgánico" del suelo debería de llamarse o nombrado como tal, en vez de materia orgánica.

El carbón orgánico es determinado por dos procedimientos generales: 1) Por oxidación húmeda y 2) Por oxidación en seco. En el procedimiento de oxidación en húmedo, la cantidad de oxigeno requerido o el volumen de $CO_2$ desprendido es usado para medir el carbón orgánico. En el método de oxidación en seco, la materia orgánica del suelo es quemada y el $CO_2$ desprendido es medido.

De los varios procedimientos existentes se seleccionó un método de oxidación en húmedo, en donde se usa el dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) como agente oxidante; y la cantidad de oxidante usado es determinada por una retro-titulación. Con una solución estándar de sulfato ferroso ($FeSO_4$). Para el cálculo del carbón orgánico se consideran y/o hacen dos asumpciones: 1) El 80% del carbón orgánico es oxidado por el procedimiento usado, y 2) El carbón orgánico es oxidado de valencia cero a $4^+$.

### METODO DE WALKLEY-BLACK (Aguilar, 1987)

La oxidación en húmedo, es un procedimiento y/o método rápido muy comúnmente utilizado en análisis rutinarios de carbón orgánico. El carbón

orgánico es oxidado con una solución estándar de $K_2Cr_2O_7$ en presencia de $H_2SO_4$ concentrado, condiciones estándar de la reacción; y el exceso de dicromato es titulado con una solución estándar de $FeSO_4$, usando el difenilamina sulfonato de bario como indicador.

PROCEDIMIENTO:

Pesar 0.5 g de suelo pasado a través de un tamiz de 30 mallas, transferirlos a un matraz erlenmeyer de 500 ml, agregar 10 ml de $K_2Cr_2O_7$ 1N y agitarlo lentamente para pasar el suelo a suspensión. Agregar rápidamente 20 ml de $H_2SO_4$ concentrado e inmediatamente agitarlo por un minuto, y dejar el matraz reposar por 30 minutos en una cubierta de asbesto o madera. Enseguida agregar 200 ml de agua destilada y/o desionizada, 10 ml de $H_3PO_4$ concentrado y 2 ml del indicador (difenilamina sulfonato de bario).

Titular con una solución estándar de $FeSO_4$ hasta que la solución presente una coloración púrpura o azul. Enseguida adicione $FeSO_4$ lentamente hasta que la solución cambie a un color verde. Si este punto (color) se pasa; agregar una pequeña cantidad de dicromato con objeto de provocar un exceso y titularlo gota a gota con $FeSO_4$ hasta obtener un color verde pálido como punto final. Anote las cantidades de dicromato y sulfato ferroso utilizados.

Para hacer la valoración de la solución de sulfato ferroso, se corre una prueba en blanco (todos los reactivos sin suelo) y se obtiene el valor de B de la siguiente ecuación. El $K_2Cr_2O_7$ es una sustancia patrón primaria por lo que la titulación del blanco sirve para estandarizar simultáneamente al reductor. Con el empleo de la fórmula siguiente no es necesario calcular específicamente la normalidad.

CALCULOS:

$$\% \text{ M.O.} = 10 \left( 1 - \frac{M}{B} \right) X\ 1.34$$

Donde:

M = ml de sulfato ferroso gastados en la muestra problema

B = ml de sulfato ferroso gastados en el blanco

El factor 1.34 se deduce de la siguiente forma:

$$(10\ N)\ X\frac{12}{4000}\ X\frac{1.72}{0.77}\ X\ \frac{100}{0.5} = 1.34$$

Donde:

1.0 = Normalidad del $K_2Cr_2O_7$

12/4000 = Peso equivalente del carbono

1.72 Factor de transformación de carbón en materia orgánica (M.O.)

0.77 = Factor de recuperación de 77 % determinado por Walkey

0.5 = Peso de la muestra

Si el peso de la muestra analizada es diferente a 0.5 g se sustituye el peso del suelo analizado en la ecuación anterior para encontrar el factor correspondiente para calcular el porcentaje de M.O.

REACTIVOS:

1. Dicromato de potasio 1 N.- Disolver 49.04 g de $K_2Cr_2O_7$ en agua desionizada y diluirlo a un litro.
2. Sulfato ferroso 0.5 N.- Disolver 140 g de $FeSO_4.7H_2O$ en agua, agregar 40 ml de $H_2SO_4$ concentrado, enfriar y diluir a un litro. Estandarizar este reactivo cada vez que se utilice por titulación contra $K_2Cr_2O_7$.
3. Difenilamina sulfonato de bario.- Solución acuosa al 0.16%.
4. Acido sulfúrico.- Concentrado.
5. Acido fosfórico.- Concentrado.

# PRACTICA 11

## CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico (CIC), usualmente es expresada en miliequivalentes por 100 g de suelo, es una medida de la cantidad de cationes intercambiables que neutralizan las cargas negativas del suelo.

Las cargas negativas en los constituyentes del suelo son derivadas de la sustitución isomórfica dentro de las estructuras de las capas de silicatos minerales, ligaduras quebradas en las orillas del mineral y su superficie externa, disociación de grupos funcionales acidicos de compuestos orgánicos y la adsorción preferencial de ciertos iones en la superficie de la partícula.

La primera de estos tipos de carga, es llamada "carga permanente" y es independiente del valor del pH, de la valencia del ion vecino y del nivel electrolítico o composición de la densidad de la solución. Los siguientes tipos de carga, varían en magnitud dependiendo del valor del pH, nivel electrolítico, valencia del ion vecino, de la constante dieléctrica del medio y de la naturaleza del anión en la solución. Por lo tanto la CIC, no es una propiedad del suelo que sea independiente de las condiciones bajo las cuales sea determinada; diferentes resultados se obtendrán con diferentes métodos.

La determinación de la CIC, en general comprende cuatro pasos: **Primero**, el suelo se satura con un catión no común contenido en una solución de concentración y pH dado, a este catión se le llama saturante. **Segundo**, el suelo se lava con etanol o con una solución diluida 0.001 N del mismo catión saturante aplicando una pequeña corrección por el volumen de sales ocluidas en la solución que queda en el suelo. **Tercero**, una vez lavado el suelo, se reemplaza el catión saturante con una solución de concentración y pH dado, a este catión se le llama reemplazante. **Cuarto**, se determina la cantidad del catión saturante que ha sido desplazado. Esta cantidad puede variar

dependiendo de que tan completa haya sido la saturación con el catión saturante, el pH de la solución y del método utilizado para su determinación.

Todos los métodos para analizar la CIC de un suelo, se han estandarizado, por lo que únicamente los datos obtenidos por el mismo método son comparables.

La precisión de las determinaciones del CIC depende de las propiedades del suelo, de la concentración y tipo de ion usado y el pH de la solución.

## METODO DE $NH_4OAc$ (pH 7.0) y NaOAc (pH 8.2). (Aguilar, 1987)

PROCEDIMIENTO:

Pesar 5 g de suelo secado al aire, pasado por una malla de 1 mm, colocarlo en un tubo de centrifuga de fondo redondo de 40 ml, agregar 35 ml de la solución de acetato de sodio, taparlo y agitarlo por 5 minutos, destapar y centrifugar hasta que el líquido esté claro.

Decantar el líquido y desecharlo. Repetir esta operación 3 veces más. Enseguida lavar con 35 ml. de etanol o isopropanol de manera similar durante 3 ó 4 veces. La conductividad eléctrica del líquido supernadante después del tercero o cuarto lavado debe ser menor de 0.040 mmhos/cm.

Reemplazar el sodio intercambiable de la muestra de suelo, mediante su extracción con tres lavados de 33 ml. cada uno, de acetato de amonio. Colectar el líquido supernadante después de cada lavado en un matraz volumétrico de 100 ml y completar a su volumen con la solución de acetato de amonio y mezclarlo vigorosamente. Determinar la concentración de sodio de la solución mediante absorción atómica, en una dilución adecuada (una dilución 1:100

generalmente es apropiada). Preparar estándares de Na en acetato de amonio 1N. Expresar los resultados en base a suelo secado a la estufa a 105$^{o}$C.

CALCULOS:

CIC meq/100g de suelo = $\frac{\text{Na en el extracto en meq/l X 10}}{\text{gr. de suelo secado a la estufa}}$

REACTIVOS:

Solución de NaOAc 1 N.- Disolver 136 g de NaOAc.3H2O en agua y diluir a un litro. Ajuste el pH a 8.2 con NaOH.

Etanol o isopropanol al 99%.

Solución de $NH_4OAc$ 1 N.- Adicionar 70 ml de $NH_4OH$ (sp gr 0.90) y 57 ml de ácido acético al 99.5% por litro de la solución final deseada. Hacer la mezcla en aproximadamente la mitad del volumen de agua desionizada, agregar un poco mas de agua, dejarlo enfriar, ajustar el pH a 7.0 con hidróxido de amonio ó ácido acético (muy pequeños volúmenes de ácido o base se requerirán) y enseguida aforar.

# PRACTICA 12

## CATIONES INTERCAMBIABLES

Cationes intercambiables son todos aquellos que pueden intercambiarse por un catión de la solución adicionada.

Los cationes intercambiables más comunes son $Ca^{+2}$, $Mg^{+2}$, $K^{+}$ y $Na^{+}$, frecuentemente llamados bases intercambiables y comúnmente se encuentran en el suelo en el orden enlistado.

## METODO DEL ACETATO DE AMONIO (Aguilar, 1987).

En este método la muestra de suelo es combinada con un exceso de acetato de amonio 1 N, de tal manera que el máximo intercambio se lleva a cabo en pocos minutos. El catión más difícil de extraer con este método es calcio en presencia de $CaCO_3$ libre o yeso, y potasio en suelos donde predomine la vermiculita o micas. En el caso de que el suelo contenga $CaCO_3$ libre o yeso, este método no debería utilizarse si se requieren resultados exactos (pero ningún otro método es satisfactorio). En ausencia de un exceso de $CaCO_3$ los cationes $Ca^{+2}$ , $Mg^{+2}$ y $Na^{+}$ pueden ser completamente intercambiables por el acetato de amonio.

PROCEDIMIENTO:

En un tubo de centrífuga de 50 ml colocar 5 gr de suelo secado al aire menor de 2 mm, agregar 25 ml de $NH_4OAc$, taparlo y agitarlo por 30 minutos. Colocar el tubo en la centrífuga a 2,000 RPM por 10 minutos. Colocar el líquido supernadante en un matraz volumétrico de 50 ml. Repetir el mismo procedimiento con otros 25 ml y finalmente complete el volumen a 50 ml con $NH_4OAc$. Determine las concentraciones de $Ca^{+2}$, $Mg^{+2}$, $K^{+}$ y $Na^{+}$ por absorción atómica. Preparar los estándares para cada elemento en $NH_4OAc$. Para suelos con una CIC mayor de 20 meq/100 g de suelo usar solamente 2 g de suelo.

meq $M^+$ por 100 g de suelo = $\frac{\text{Volumen del extracto (ml) X 0.1 X meq/l}}{\text{Peso del suelo (g)}}$

Donde: $M^+ = Ca^{+2}$, $Mg^{+2}$, $K^+$ ó $Na^+$

REACTIVOS:

Acetato de amonio 1 N.- Prepararlo en la forma indicada en la CIC.

# INTERPRETACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL SUELO (CIHACEK, 1985).

## ***REACCION DEL SUELO***

| pH | Clasificación |
|---|---|
| 7.9-8.5 | Alcalino moderado |
| 7.3-7.9 | Alcalino ligero |
| 6.7-7.3 | Neutral |
| 6.2-6.7 | Ácido ligero |
| 5.6-6.2 | Ácido moderado |

## SALES SOLUBLES

| C.E. mmhos | Clasificación |
|---|---|
| Menor de 2 | Muy bajo |
| 2 – 4 | Bajo |
| 4 – 8 | Moderado |
| 8 – 16 | Alto |
| Mayor de 16 | Muy alto |

## MATERIA ORGANICA

| Arenoso% | Arcilloso% | Clasificación |
|---|---|---|
| Menor 0.5 | Menor 1.0 | Muy bajo |
| 0.5 – 1.0 | 1.0 – 2.0 | Bajo |
| 1.0 – 1.5 | 2.0 – 3.0 | Moderado |
| Mayor 1.5 | Mayor 3.0 | Alto |

## CARBONATOS TOTALES

| **$CaCO_3$** | **Clasificación** |
|---|---|
| 0 – 2 | Muy bajo |
| 2 – 6 | Bajo |
| 6 – 15 | Moderado |
| 15 – 25 | Alto |
| Mayor 25 | Muy alto |

## SODIO INTERCAMBIABLE

| **Sodio%** | **Clasificación** |
|---|---|
| Menor 10 | Bajo |
| 10 – 20 | Moderado |
| 20 – 30 | Alto |
| Mayor 30 | Muy alto |

## NITRÓGENO

| **$N\text{-}NO_3$ ppm** | **Clasificación** |
|---|---|
| Menor 10 | Bajo |
| 10 – 30 | Moderado |
| Mayor 30 | Alto |

## COBRE-DTPA

| **Cu en ppm** | **Clasificación** |
|---|---|
| Menor 0.3 | Bajo |
| 0.3 – 1.0 | Moderado |
| Mayor 1.0 | Alto |

## FÓSFORO-OLSEN

| **P en ppm** | **Clasificación** |
|---|---|
| Menor 7 | Muy bajo |
| 8 – 14 | Bajo |
| 15 – 22 | Moderado |
| 23 – 30 | Alto |
| Mayor 31 | Muy alto |

## POTASIO

| **K en ppm** | **Clasificación** |
|---|---|
| Menor 30 | Bajo |
| 30 – 60 | Moderado |
| Mayor 60 | Alto |

## FIERRO-DTPA

| Fe en ppm | Clasificación |
|---|---|
| Menor 2.5 | Bajo |
| 2.5 – 4.5 | Moderado |
| Mayor 4.5 | Alto |

## ZINC-DTPA

| Zn en ppm | Clasificación |
|---|---|
| Menor 0.5 | Bajo |
| 0.5 – 1.0 | Moderado |
| Mayor 1.0 | Alto |

## MANGANESO-DTPA

| Mn en ppm | Clasificación |
|---|---|
| Menor 1.0 | Bajo |
| 1.0 – 2.5 | Moderado |
| Mayor 2.5 | Alto |

# LITERATURA CITADA

Aguilar, S.A., Etchevers B.J. y Castellanos R.J.Z. 1987. Análisis químico para evaluar la fertilidad del suelo. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México.

Aguilera, C. M. Y Martínez, E.R. 1996. Relaciones agua, suelo, planta, atmósfera. Colegio de Posgraduados. Universidad Autónoma de Chapingo.

Cavazos, T. y Rodríguez, O. 1992. Manual de prácticas de física de suelos. Ed. Trillas. México, D.F.

Castillo, G. J. L. M. 2004. Laboratorio Integral de biología IV. Módulo Edafología. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UAM.

Cihacek, L.J. 1985. Interpreting Soil Analysis. Cooperative Extension Service. Guide A-126. New Mexico State University.

Richards, L.A. 1980. Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos. Manual No. 60. U.S.D.A. Trad. De la primera edición en inglés por Sánchez D.N., Ortega T.E., Vera R.Z. y Chena G.R. Limusa. México.