



# **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**

## **DEPARTAMENTO DE IRRIGACIÓN**



# **MANUAL DE PRÁCTICAS DEL LABORATORIO DE**

## **SALINIDAD**



## CONTENIDO

CONTENIDO .....	1
CONCEPTOS BÁSICOS .....	1
MUESTREO PARA DETERMINAR SALINIDAD Y/O SODICIDAD .....	4
MATERIAL Y EQUIPO .....	4
PROCEDIMIENTO .....	4
<i>Subdivisión de unidades de muestreo</i> .....	4
<i>Número de muestras</i> .....	5
<i>Ubicación de sitios de muestreo</i> .....	5
<i>Profundidad de muestreo</i> .....	5
<i>Informe</i> .....	5
PREPARACIÓN DE MUESTRAS DEL SUELO .....	6
PRINCIPIO Y APLICACIÓN .....	6
MATERIAL Y EQUIPO .....	6
PROCEDIMIENTO .....	7
<i>Traslado de la muestra al laboratorio</i> .....	7
<i>Recepción y registro</i> .....	7
<i>Secado</i> .....	7
<i>Molienda</i> .....	8
<i>Tamizado</i> .....	8
<i>Homogeneizado</i> .....	8
<i>Pesado</i> .....	8
<i>Almacenamiento</i> .....	8
DETERMINACIÓN DEL PH DEL SUELO MEDIDO EN AGUA .....	9
PRINCIPIO Y APLICACIÓN .....	9
REACTIVOS .....	9
MATERIAL Y EQUIPO .....	9
PROCEDIMIENTO .....	10
INFORME DE LA PRUEBA .....	10
COMENTARIOS .....	10
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	11
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE DEL SUELO UTILIZANDO PARAFINA .....	12
PRINCIPIO Y APLICACIÓN .....	12
MATERIALES Y EQUIPO .....	12
PROCEDIMIENTO .....	12
CÁLCULOS .....	13
COMENTARIOS .....	13
INTERPRETACION DE RESULTADOS .....	13
DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL CON EL PICNÓMETRO .....	14
PRINCIPIO Y APLICACIÓN .....	14
MATERIALES Y EQUIPO .....	14
PROCEDIMIENTO .....	14
CÁLCULOS .....	15
COMENTARIOS .....	15
DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO POR GRAVIMETRÍA .....	16
PRINCIPIO Y APLICACIÓN .....	16
MATERIAL Y EQUIPO .....	16
PROCEDIMIENTO .....	16
CÁLCULOS .....	17
COMENTARIOS .....	17



DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD POR EL MÉTODO DEL PLATO Y MEMBRANA DE PRESIÓN .....	18
PRINCIPIO Y APLICACIÓN .....	18
MATERIAL Y EQUIPO .....	18
PROCEDIMIENTO .....	18
<i>Olla y membrana de presión</i> .....	18
CÁLCULOS .....	19
PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO POR EL MÉTODO DE WALKLEY Y BLACK .....	21
PRINCIPIO Y APLICACIÓN .....	21
REACTIVOS .....	21
MATERIAL .....	21
PROCEDIMIENTO .....	21
CÁLCULOS .....	22
OBSERVACIONES .....	22
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE MATERIA ORGÁNICA .....	23
DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO INORGÁNICO DEL SUELO .....	24
PRINCIPIO Y APLICACIÓN .....	24
REACTIVOS .....	24
MATERIAL Y EQUIPO .....	24
PROCEDIMIENTO .....	25
CÁLCULOS .....	25
INFORME DE LA PRUEBA .....	25
SENSIBILIDAD .....	25
COMENTARIOS .....	26
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE NITRÓGENO INORGÁNICO .....	26
DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA DEL SUELO POR EL PROCEDIMIENTO DE BOUYOUCCS .....	27
PRINCIPIO Y APLICACIÓN .....	27
REACTIVOS .....	27
MATERIAL Y EQUIPO .....	27
PROCEDIMIENTO .....	27
CÁLCULOS .....	28
<i>Tabla de corrección por temperatura</i> .....	28
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	29
DETERMINACIÓN DEL FÓSFORO APROVECHABLE PARA SUELOS NEUTROS Y ALCALINOS POR EL PROCEDIMIENTO DE OLSEN Y COLABORADORES .....	30
PRINCIPIO Y APLICACIÓN .....	30
REACTIVOS .....	30
MATERIAL Y EQUIPO .....	31
PROCEDIMIENTO .....	31
CÁLCULOS .....	32
INFORME DE LA PRUEBA .....	32
COMENTARIOS .....	32
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS FÓSFORO OLSEN .....	32
DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO Y BASES INTERCAMBIABLES DEL SUELO CON ACETATO DE AMONIO .....	33
PRINCIPIO Y APLICACIÓN .....	33
REACTIVOS .....	33
MATERIAL .....	34
PROCEDIMIENTO .....	34
CÁLCULOS .....	35
PRESENTACIÓN DE RESULTADOS .....	35
DETERMINACIÓN DE Ca Y Mg INTERCAMBIABLES .....	35
<i>Cálculos</i> .....	35



DETERMINACIÓN DE Na Y K INTERCAMBIABLES .....	36
<i>Cálculos</i> .....	36
COMENTARIOS .....	36
INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC) .....	36
DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO EN SUELOS ÁCIDOS Y CALCÁREOS Y BASES INTERCAMBIABLES CONTIUREA DE PLATA .....	38
PRINCIPIO Y APLICACIÓN .....	38
REACTIVOS .....	38
MATERIAL Y EQUIPO .....	39
PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR CIC .....	40
<i>Cálculos</i> .....	40
DETERMINACIÓN DE Ca Y Mg INTERCAMBIABLES .....	40
<i>Cálculos</i> .....	41
DETERMINACIÓN DE Na Y K INTERCAMBIABLES .....	41
<i>Cálculos</i> .....	41
COMENTARIOS .....	41
PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE SUELOS CON PROPÓSITO DE SALINIDAD .....	42
PRINCIPIO Y APLICACIÓN .....	42
REACTIVOS .....	42
MATERIAL Y EQUIPO .....	42
INTERFERENCIAS .....	42
PROCEDIMIENTO .....	42
PRETRATAMIENTO DEL EXTRACTO DE SATURACIÓN .....	43
CONSERVACIÓN DEL EXTRACTO DE SATURACIÓN .....	43
DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE SATURACIÓN POR GRAVIMETRÍA .....	44
PRINCIPIO Y APLICACIÓN .....	44
REACTIVOS .....	44
MATERIAL Y EQUIPO .....	44
INTERFERENCIAS .....	45
PRETRATAMIENTO DE LA MUESTRA .....	45
PROCEDIMIENTO .....	45
CÁLCULOS .....	45
PREPARACIÓN DE UNA PASTA DE SATURACIÓN PARA LA CUANTIFICACIÓN DEL PORCENTAJE DE SATURACIÓN .....	47
CÁLCULOS .....	47
INFORME DE LA PRUEBA .....	48
DETERMINACIÓN DEL PH DEL SUELO MEDIDO EN EL EXTRACTO DE SATURACIÓN CON UN POTENCIÓMETRO .....	49
PRINCIPIO Y APLICACIÓN .....	49
REACTIVOS .....	50
MATERIAL Y EQUIPO .....	50
INTERFERENCIAS .....	50
PRECISIÓN Y EXACTITUD .....	51
CONSTANTE DE CELDA .....	51
PROCEDIMIENTO .....	51
CONTROL DE CALIDAD .....	51
INFORME DE LA PRUEBA .....	51
INTERPRETACIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA .....	51
DETERMINACIÓN DE CATIONES SOLUBLES EN EL EXTRACTO DE SATURACIÓN .....	52
PRINCIPIO Y APLICACIÓN .....	52
REACTIVOS .....	52
MATERIAL Y EQUIPO .....	53



DETERMINACIÓN DE CA Y MG.....	53
Cálculos.....	53
DETERMINACIÓN DE NA Y K.....	53
Cálculos.....	54
LA DETERMINACIÓN DE ANIONES SOLUBLES EN EL EXTRACTO DE SATURACIÓN.....	55
PRINCIPIO Y APLICACIÓN.....	55
REACTIVOS.....	55
MATERIAL Y EQUIPO.....	55
DETERMINACIÓN DE CARBONATOS $\text{CO}_3^{\text{R}}$ .....	56
DETERMINACIÓN DE BICARBONATOS $\text{HCO}_3^{\text{A}}$ .....	56
Cálculos.....	56
DETERMINACIÓN DE CLORUROS $\text{CL}^-$ .....	56
Cálculos.....	56
DETERMINACIÓN DE SULFATOS $\text{SO}_4$ .....	57
Cálculos.....	57
MEDICIÓN DEL PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE BASES (PSB), RELACIÓN DE ADSORCIÓN DE SODIO (RAS) Y PORCENTAJE DE SODIO INTERCAMBIABLE (PSI).....	58
PRINCIPIO Y APLICACIÓN.....	58
CÁLCULOS.....	58
BIBLIOGRAFIA.....	59



## CONCEPTOS BÁSICOS

**Acidez de un suelo.** Medida de la actividad de los iones hidrógeno y aluminio en un suelo húmedo, se expresa como valores reducidos de pH.

**Análisis del suelo.** Prueba física, química o microbiológica que estima alguna de las fracciones que constituyen al suelo.

**Anión.** Ion con carga eléctrica negativa, resultado de la ganancia de electrones en su estructura.

**Capacidad de intercambio catiónico.** Es la suma de cationes intercambiables adsorbidos por un suelo, expresados en miliequivalentes por cada 100 g de suelo B secado al horno y actualmente en C mol/Kg.

**Catión.** Ion cargado positivamente, debido a la pérdida de electrones. Los cationes más comunes del suelo son: calcio, magnesio, sodio, potasio, amonio e hidrógeno.

**Clasificación taxonómica de suelos.** Agrupación sistemática de los suelos dentro de un grupo o una categoría teniendo como base sus características. La denominación de los suelos de un área se basa en un sistema internacional (FAO/UNESCO/ISRIC versión 1988 y la Taxonomía de Suelos).

**Clasificación interpretativa de suelos.** Agrupación de suelos previamente cartografiados con un propósito específico.

**Conductividad eléctrica.** Propiedad de un material que le permite conducir el flujo de la electricidad.

**Densidad aparente.** Masa por unidad de volumen de un suelo que se ha secado a un peso constante a 105°C. Comúnmente se expresa en gramos por centímetro cúbico.

**Extracto de saturación.** La solución del suelo obtenida cuando el suelo se encuentra en su punto de saturación con agua.

**Extracto de suelo.** La solución del suelo separada del mismo por filtración, centrifugación, succión o presión.

**Fertilidad.** La cualidad que permite a un suelo proporcionar los compuestos apropiados, en las cantidades debidas y en el balance adecuado para el crecimiento de plantas específicas cuando otros factores, tales como la luz, temperatura y condiciones físicas del suelo, son favorables.

**Horizonte.** Capa del suelo paralela a la superficie de la tierra que tienen características distintivas producto de los procesos físicos, químicos y biológicos, de formación del suelo.

**Horizonte de diagnóstico de suelo.** Horizontes conceptualizados a partir de un conjunto de parámetros cuantitativos de las propiedades del suelo, con utilidad básica en la Clasificación de Suelos.

**Micronutrimiento.** Elementos que son esenciales para el desarrollo de la planta pero que se requieren sólo en cantidades usualmente menores a 50 mg/kg de tejido; tales como hierro, cobre, zinc, manganeso, molibdeno, cloro, boro, cobalto y níquel.



**Muestra compuesta.** Muestra constituida por varias submuestras simples de suelo, las cuales provienen de una superficie de terreno relativamente homogénea.

**Muestreo.** Procedimiento para obtener una o más muestras representativas de un terreno.

**Nutrientes intercambiables.** Conjunto de iones que están absorbidos sobre la superficie de las arcillas mediante un mecanismo de atracción electrostática.

**Pasta de saturación.** Mezcla particular entre suelo y agua donde la pasta tiene la propiedad de reflejar la luz, fluir la mezcla y que tiende a unirse cuando es cortada con una espátula.

**Perfil de suelo.** Corte vertical de un suelo que exhibe todos los horizontes genéticos que lo integran y parte del material subyacente relativamente inalterado.

**pH.** Logaritmo negativo de la actividad de los iones de hidrógeno en el suelo. El grado de acidez o alcalinidad de un suelo, expresado en términos de la escala de pH, de 0 a 14.

**Porcentaje de saturación de bases.** Proporción de la superficie absorbente de un suelo que es saturada con cationes intercambiables diferentes al hidrógeno y al aluminio. Se expresa como un porcentaje de la capacidad total de intercambio catiónico.

**Porcentaje de sodio intercambiable.** Porcentaje de sodio absorbido sobre la superficie de las arcillas en proporción a la concentración de los cationes intercambiables.

**Reacción del suelo.** Grado de acidez o alcalinidad de un suelo, expresada en términos del valor de pH.

**Salinidad.** Concentración de sales en el perfil del suelo que puede afectar el crecimiento y desarrollo de los cultivos.

**Solución del suelo.** El agua del suelo que contienen los iones en solución.

**Suelo.** Colección de cuerpos naturales formados por sólidos (minerales y orgánicos), líquidos y gases, sobre la superficie de los terrenos. Presenta, ya sea, horizontes o capas, que se diferencian del material de origen como resultado de adiciones, pérdidas, migraciones, y transformaciones de energía y materia; o por la habilidad de soportar raíces de plantas en un ambiente natural.

**Textura del suelo.** La proporción relativa por tamaños de partículas de arena, limo y arcilla. Las cuales al combinarse generan las clases texturales.

**Suelo ácido.** Específicamente un suelo con pH menor a 7.0 originado por la presencia de iones activos de hidrógeno y/o aluminio. El valor del pH disminuye a medida que aumenta la actividad de esos dos iones.

**Suelo calcáreo.** Suelo que contiene suficiente carbonato de calcio como para que haga efervescencia cuando se trata con ácido clorhídrico al 10% o que contiene más de 2% de carbonato de calcio.

**Suelo fértil.** Es un suelo con propiedades químicas, físicas o biológicas en las proporciones óptimas o ligeramente arriba o debajo de los contenidos más adecuados.



**Suelos minerales.** Suelos desarrollados a partir de materiales de rocas minerales los cuales tienen bajos contenidos de materia orgánica.

**Suelos genéricos.** Denominación de los suelos que por su aptitud o uso actual se denominan como forestales, de agostadero, cafetaleros, agrícolas, entre otros.

**Suelo orgánico.** Suelo turboso con un 16% o más de materia orgánica en todo el perfil de suelo.

**Suelo productivo.** Suelo en el cual las condiciones físicas, químicas y biológicas le favorecen para la producción potencial de los cultivos adecuados a una región en particular.

**Suelo salino.** Suelo que contiene suficientes sales solubles como para reducir el crecimiento de las plantas, con conductividad eléctrica (CE) en la pasta de saturación igual o mayor a 4 dS/m.

**Suelo salino sódico.** Suelo que contiene suficiente sodio intercambiable para interferir con el crecimiento de la mayoría de los cultivos y que contiene cantidades apreciables de sales solubles. El porcentaje de sodio intercambiable es mayor de 15, la conductividad del extracto de saturación mayor de 4 dS/m.

**Suelo sódico.** Suelo en el cual el porcentaje de sodio intercambiable es de 15 o más, o el que contiene el sodio suficiente como para afectar adversamente las propiedades físicas y la permeabilidad.



## MUESTREO PARA DETERMINAR SALINIDAD Y/O SODICIDAD

El muestreo de suelos es un procedimiento para obtener una o más muestras representativas en un terreno. Mediante el muestreo la heterogeneidad de los parámetros del suelo a ser evaluados son estimados en su valor promedio, colectando un determinado número de muestras.

### MATERIAL Y EQUIPO

El material y equipo mínimo necesario para la colecta de muestras de suelo en campo.

1. Barrena de cilindro cerrado o pala recta. La herramienta de muestreo debe garantizar que la muestra obtenida tenga el mismo volumen en espesor y profundidad, de un tamaño suficiente que facilite y permita la formación de las muestras, que sea fácil de limpiar, resistentes al desgaste, útil en suelos arenosos secos y arcillosos húmedos, y que no contamine las muestras con impurezas.
2. La barrena debe ser fácil de manejar y permitir rapidez en el muestreo.
3. Bolsas de plástico transparente con capacidad para dos kilogramos de suelo.
4. Marcadores de tinta indeleble.
5. Libreta de notas y bolígrafo.
6. Plano, mapa, fotomapa del área de muestreo.

### PROCEDIMIENTO

#### Subdivisión de unidades de muestreo

1. Establecer objetivos para definir las unidades de muestreo.
2. La unidad de muestreo debe ser un área donde el tipo de suelo en cuanto a textura, color, pendiente, cultivo, manejo, etc., sea aparentemente homogéneo.
3. Disminuir la heterogeneidad de los atributos que se van a determinar, delimitando las unidades de muestreo o áreas aparentemente homogéneas en el terreno.
4. Las unidades de muestreo pueden tener una extensión de dos a ocho hectáreas o más si el área en cuestión es muy homogénea. Unidades de muestreo menores a dos hectáreas pueden considerarse.
5. Cuando el muestreo se practica para cultivos económicamente redituables y mayores a ocho hectáreas.



### Número de muestras

1. Se ha observado que las muestras individuales pueden presentar mayor variación y consumen más tiempo y recursos económicos que las muestras compuestas, sin embargo resulta más conveniente coleccionar y analizar muestras simples cuando se trata de evaluar la salinidad de un suelo.
2. El número de sitios de muestreo varía dependiendo de la heterogeneidad y tamaño de la unidad de muestreo.

### Ubicación de sitios de muestreo

1. Existen varios procedimientos para definir el sitio de colecta de la muestra, siendo el más práctico el muestreo en zig zag a lo largo de una línea, dentro de la unidad de muestreo.
2. El muestreo en zig zag inicia por un lado del terreno, escogiendo al azar el punto de partida para definir el plano de muestreo que cubra homogéneamente la unidad de muestreo.
3. Ya definido el plano de muestreo se decide la distancia entre los diferentes puntos de muestreo en relación con el número de muestras elegido.
4. Se recomienda hacer un muestreo por separado a los manchones evidentemente salinos (costras de sal, sin vegetación o muy raquítica).

### Profundidad de muestreo

1. La profundidad del muestreo se determina en función del objetivo que se persigue.
2. Cuando el muestreo es para evaluar la salinidad del suelo se debe hacer un muestreo a la profundidad de máxima exploración radical del cultivo y estratificarse cada 20 cm.
3. La colecta de la muestra se hará de cada una de las capas estratificadas.
4. Es importante señalar que las profundidades a las que se ha hecho referencia, comienzan a contar después de haber removido los residuos orgánicos no descompuestos.

### Informe

Debe incluir la información que se indica a continuación:

1. Nombre del productor o interesado.
2. Clave de identificación del lugar donde fue colectada la muestra, si fuera posible un plano.
3. Nombre del cultivo establecido o finalidad de los análisis.
4. Identificación propia de la muestra.
5. Fecha de colecta de la prueba.



## PREPARACIÓN DE MUESTRAS DEL SUELO

### PRINCIPIO Y APLICACIÓN

Una vez obtenida la muestra de suelo debe ser llevada al laboratorio en donde deberá ser preparada, para posteriormente someterla a los procesos de análisis correspondientes.

La preparación de la muestra es tan importante como el muestreo y análisis de la misma, ya que los errores cometidos en este proceso pueden invalidar el resultado del análisis químico. La preparación de la muestra de suelo incluye el traslado, recepción, registro, secado, molienda, tamizado, homogeneizado, y el almacenamiento para su conservación. Con el propósito de evitar la contaminación de la muestra de suelo y asegurar mayor precisión y exactitud en el resultado del análisis, se deberá realizar esta operación en un lugar especial y limpio. A continuación se presentan algunos aspectos que se deben considerar al momento de coleccionar y preparar la muestra de suelo para analizar metales tóxicos:

- Debido a que los elementos a estudiar se encuentran generalmente a muy bajas concentraciones, el riesgo de contaminar con los diferentes dispositivos para coleccionar y preparar la muestra es relativamente alta.
- Se evitará el uso de material metálico en mal estado o deteriorado, así como el que contiene pintura como protección, dado que son fuente de contaminación con zinc, cadmio y plomo.
- La muestra debe ser almacenada en bolsas de polietileno. Cuando sea tamizada debe realizarse esa actividad con un tamiz con malla de nylon.

### MATERIAL Y EQUIPO

1. Etiquetas
2. Hojas de plástico de 40 x 70 cm
3. Mazo de madera
4. Cilindro de madera.
5. Libreta de registro.
6. Tamices de acero inoxidable de malla < 2 mm.
7. Frascos de vidrio de 1 l o cajas de cartón de 2.0 kg de capacidad.



## PROCEDIMIENTO

### Traslado de la muestra al laboratorio

1. Una vez obtenida la muestra en el campo, ésta debe ser cuidadosamente mezclada y reducidas de tamaño las partículas más grandes.
2. Cada muestra debe ir acompañada de una identificación, donde se indique claramente su procedencia, nombre del interesado, profundidad de colecta, relieve, cultivo, historial de fertilización, aplicación de mejoradores, así como las determinaciones requeridas, según el propósito del estudio.
3. Durante el traslado es necesario evitar el efecto de factores como la humedad exterior, O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, luz, calor y otros materiales que puedan cambiar la naturaleza de la muestra.
4. Se debe evitar manejar la muestra con materiales que puedan contaminarla, como por ejemplo: recipientes que se oxiden, cintas adhesivas, entre otras.

### Recepción y registro

1. Al llegar las muestras al laboratorio deberán registrarse con la identificación de campo y una lista de las determinaciones requeridas, incluyendo los métodos.
2. La identificación de campo de la muestra debe incluir los siguientes datos: (a) nombre del interesado; (b) procedencia; (c) fecha del muestreo; (d) número de muestras o submuestras; (e) profundidad de colecta; (f) pendiente del terreno; (g) manejo del terreno, entre otras.
3. El laboratorio asignará un número de registro a cada muestra, registro que conviene se realice con números seriados, para facilidad del manejo interno.

### Secado

1. El secado se realiza con el propósito de facilitar el manejo de la muestra, mejorar la homogeneización y disminuir los cambios químicos indeseables.
2. Las muestras de suelo se secarán al ambiente.
3. El secado debe realizarse extendiendo la muestra de suelo sobre una superficie que no contamine. Puede secarse sobre charolas de plástico, vidrio, aluminio, fibra de vidrio o sobre una superficie de polietileno o papel.
4. La muestra debe extenderse logrando una profundidad inferior de 2.5 cm, colocarse a la sombra a una temperatura no mayor a 35°C y una humedad relativa entre 30 y 70%.



#### Molienda

1. Para realizar la molienda, deben retirarse con anticipación de la muestra, las rocas y el material orgánico visible.
2. La molienda se realiza con un mazo de madera.

#### Tamizado

1. El suelo molido se hace pasar por un tamiz con aberturas de dos mm de diámetro (malla 10) de acero inoxidable. Este grado de fineza es conveniente para la mayoría de los análisis requeridos con el propósito de diagnosticar un suelo.
2. Una vez tamizado el material se separa 1.5 kg de suelo, cantidad suficiente para realizar las determinaciones químicas y físicas que permitirán caracterizar el suelo.

#### Homogeneizado

1. Este paso es necesario para evitar sesgo en la selección de la submuestra que va a ser destinada para las determinaciones analíticas.
2. El homogeneizado puede lograrse utilizando bolsas de plástico (pueden ser las mismas donde estaban originalmente las muestras), haciendo girar la muestra en todas direcciones.

#### Pesado

Tamizada y debidamente homogeneizada la muestra de suelo se extrae la submuestra que va a ser utilizada para cada una de las determinaciones analíticas. Esto debe realizarse con espátulas y con la ayuda de pinceles de pelo de camello para limpiar completamente la espátula. La submuestra extraída debe ser pesada con balanza de precisión, de preferencia con aproximación de 0.1%, con respecto a la magnitud de la pesada que se desea realizar.

#### Almacenamiento

1. Una vez que las determinaciones analíticas han sido realizadas, las muestras deben almacenarse para posteriores comprobaciones u otros usos. Para esto pueden ser utilizados los frascos de vidrio o de plástico perfectamente cerrados, para disminuir los cambios químicos.
2. Estos recipientes deben permanecer herméticamente cerrados y debidamente clasificados. Para esto se recomienda conservar el número de registro del laboratorio, junto con la fineza del material.
3. La muestra almacenada puede sufrir cambios lo cual debe tenerse presente para posteriores usos. En todo caso, es conveniente especificar si los resultados analíticos provienen de muestras recientes o con cierto grado de almacenamiento.



### DETERMINACIÓN DEL PH DEL SUELO MEDIDO EN AGUA

#### PRINCIPIO Y APLICACIÓN

Método electrométrico para la determinación del pH en muestras de suelo en una solución de agua pura. La evaluación electrométrica del pH se basa en la determinación de la actividad del ion H mediante el uso de un electrodo cuya membrana es sensitiva al H. En el caso de los suelos el pH se mide potenciométricamente en la suspensión sobrenadante de una mezcla de relación suelo; agua 1:2.

El pH es una de las mediciones más comunes e importantes en los análisis químicos rutinarios de suelo, ya que controla reacciones químicas y biológicas en el suelo. La determinación del pH es afectada por varios factores tales como: el tipo y cantidad de constituyentes orgánicos e inorgánicos que contribuyen a la acidez del suelo, la concentración de sales en la solución, la relación suelo: solución, la presión parcial de bióxido de carbono y el efecto de la suspensión asociado con el potencial de unión.

#### REACTIVOS

Los reactivos utilizados en esta determinación deben ser grado analítico y el agua utilizada en la preparación de las soluciones debe ser destilada o desionizada.

1. Agua destilada o desionizada.
2. Soluciones reguladoras de referencia, pH 4.00, 7.00 y 10.00, las cuales se adquieren preparadas o concentradas para diluirse de acuerdo a la instrucción. Estas soluciones deben estar a temperatura ambiente al momento de calibrar el medidor de pH.

#### MATERIAL Y EQUIPO

1. Potenciómetro o medidor de pH equipado con electrodo de vidrio en combinación con electrodo de referencia
2. Balanza con 0.1 g de sensibilidad
3. Frascos de vidrio o plástico transparente de boca ancha con capacidad de 50 a 100 ml
4. Pipeta volumétrica de 20 ml
5. Varilla de vidrio que sirva como agitador manual
6. Piceta
7. Cinta métrica



#### PROCEDIMIENTO

1. Pesar 10 g de suelo en un frasco de vidrio o plástico de boca ancha.
2. Adicionar 20 ml. de agua destilada al frasco conteniendo el suelo.
3. Con una varilla de vidrio, agitar manualmente la mezcla de suelo: agua a intervalos de 5 minutos, durante 30 minutos.
4. Dejar reposar durante 15 minutos.
5. Calibrar el medidor de pH con las soluciones reguladores pH 4.00 y 7.00 o 7.00 y 10.00 según el suelo, enjuagando con agua destilada los electrodos antes de iniciar las lecturas de las muestras.
6. Agite nuevamente la suspensión e introduzca el electrodo en la suspensión.
7. Registre el pH al momento en que la lectura se haya estabilizado.

#### INFORME DE LA PRUEBA

Debe incluir la información que a continuación se indica:

1. Datos completos de identificación de la muestra.
2. Reportar el valor con número entero y una cifra decimal.
3. Fecha de realización de la prueba.

#### COMENTARIOS

1. Previo a la lectura calibrar el potenciómetro de pH con solución amortiguadora de referencia para los intervalos dentro de los cuales se va a medir.
2. Las soluciones amortiguadoras de referencia deben conservarse en refrigeración y colocarlas a temperatura ambiente al momento de la calibración del equipo.
3. No se deberá almacenar las soluciones amortiguadoras por mucho tiempo.
4. Muestras de suelo conteniendo una alta concentración de materia orgánica tiende a formar gruesos grumos cuando la relación suelo: solución es similar a la de un suelo mineral, en este caso se deberán de utilizar relaciones más amplias.



#### INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para la clasificación del suelo en cuanto a su valor de pH se presenta el cuadro siguiente:

CLASIFICACIÓN	pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1 - 6.5
Neutro	6.6 - 7.3
Medianamente alcalino	7.4 - 8.5
Fuertemente alcalino	> 8.5



### DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD APARENTE DEL SUELO UTILIZANDO PARAFINA

#### PRINCIPIO Y APLICACIÓN

Método del terrón parafinado para la determinación de la densidad aparente de los suelos. La densidad aparente de una muestra de suelo es calculada a partir del conocimiento de dos parámetros: la masa del suelo y el volumen total, es decir el volumen de los sólidos y el volumen ocupado por el espacio poroso. En el caso de la masa, ésta se conoce pesando la muestra (terrón) y en el caso del volumen, éste es determinado de manera indirecta recubriendo el terrón con una capa de parafina y pesándolo sumergido en un líquido (agua).

#### MATERIALES Y EQUIPO

1. Terrones de suelo con un diámetro máximo de 2 cm.
2. Hilo de algodón para cocer ropa.
3. Parafina a punto de fusión (56-60°C).
4. Vaso de precipitados de 500 ml.
5. Termómetro.
6. Estufa.
7. Balanza analítica.

#### PROCEDIMIENTO

1. Secar dos o tres terrones de aproximadamente dos cm a la estufa a 105°C hasta peso constante.
2. A uno de estos terrones atarle un hilo procurando que quede bien sujeto y en el otro extremo del hilo hacer una lazada para sujetarla al brazo del platillo de la balanza.
3. Pesarse el terrón sujetando la lazada al brazo del platillo de la balanza, éste será el peso del terrón al aire ( $P_{t_{aire}}$ ).
4. Sumergir el terrón rápidamente en la parafina derretida a 60°C cuidando que quede totalmente cubierto por una capa delgada y uniforme.
5. Pesarse el terrón parafinado al aire que será: ( $P_{t_{parafina}}$ ).
6. Pesarse el terrón parafinado sumergido en el agua adecuando al interior de la balanza para que se registre únicamente el peso del terrón sumergido en el agua, que será: ( $P_{t_{agua}}$ ).



### CÁLCULOS

1. Volumen de H<sub>2</sub>O desplazada por el terrón

$$(P_{t_{parafina}}) - (P_{t_{agua}}) = \text{considerando una } \rho_{parafina} = 1 \text{ g/cm}^3 \text{ que es igual } (V_t + V_p)$$

2.  $(P_{t_{parafina}}) - (P_{t_{aire}}) = \text{Peso de la parafina } (P_p)$

3.  $P_p = V_p = \text{Volumen de la parafina } (V_p)$

4.  $(V_t + V_p) - V_p = \text{Volumen del terrón } (V_t) \frac{P_{t_{aire}}}{V_{terrón}} = \text{Densidad aparente}$

$\rho_{parafina} = \text{Densidad de la parafina } (0.90 \text{ g/cm}^3)$

#### COMENTARIOS

Corregir el valor de la densidad del agua por efecto de temperatura, de acuerdo con el siguiente cuadro de equivalencias:

#### RELACION DE LA DENSIDAD DEL AGUA CON LA TEMPERATURA

Temperatura (°C)	Densidad del agua (g/cm <sup>3</sup> )
10	0.99970
12	0.99950
14	0.99924
16	0.99894
18	0.99860
20	0.99820
22	0.99770
24	0.99730
26	0.99678
28	0.99623
30	0.99565
32	0.99503
34	0.99437
36	0.99369

#### INTERPRETACION DE RESULTADOS

Tipos de suelos		g/cm <sup>3</sup>
Orgánicos y volcánicos		Menor de 1.00
Minerales		
Arcillosos		1.0 1.19
Francos		1.20 1.32
Arenosos		Mayor a 1.32



## DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD REAL CON EL PICNÓMETRO

### PRINCIPIO Y APLICACIÓN

Método del picnómetro para la determinación de la densidad real de los suelos. La densidad real de un suelo puede ser calculada a partir del conocimiento de dos parámetros: la masa y el volumen de una cierta cantidad del suelo. La masa es determinada pesando directamente el suelo y el volumen de manera indirecta por el cálculo de la masa y la densidad del agua (o cualquier otro fluido) desplazado por la muestra de suelo.

### MATERIALES Y EQUIPO

1. Picnómetros o matraces aforados de 25 ml
2. Desecador de vacío
3. Bomba de vacío
4. Balanza analítica
5. Suelo seco tamizado con tamiz de 2 mm
6. Agua destilada y hervida (fría)
7. Embudo de plástico
8. Termómetros

### PROCEDIMIENTO

1. Pesarse un matraz o picnómetro limpio y perfectamente seco (1).
2. Colocar en el interior del picnómetro 5 g de suelo usando un embudo plástico.
3. Anotar el peso del matraz con suelo, manteniendo el matraz completamente limpio (evitar humedad y/o grasa en las manos) (2).
4. Adicionar agua destilada hervida recientemente y fría hasta la mitad del volumen de matraz; girar éste entre los dedos con mucha suavidad y colocarlo en el desecador de vacío.
5. Hacer vacío durante 15 minutos para eliminar todo el aire retenido en el suelo. La succión de la bomba deberá aumentarse paulatinamente para evitar pérdidas de material por formación de espuma.
6. Dejar reposar dentro del desecador por 30 minutos aproximadamente y eliminar el vacío del desecador paulatinamente, sacar el matraz y llenar hasta aforo con agua destilada hervida y fría, secar perfectamente el exterior y pesar en la balanza analítica (3).
7. Tomar la temperatura de la suspensión.



8. Vaciar el matraz, enjuagarlo perfectamente y llenarlo hasta aforo con agua destilada, hervida y fría.

9. Pesarse el matraz con agua y tomar la temperatura, anotarla (4).

### CÁLCULOS

Peso de las partículas del suelo ( $P_s$ )

$$P_s = (2) - (1)$$

Volumen de las partículas del suelo ( $V_s$ )

$$V_s = \frac{(4) - (1)}{\rho_w} - \frac{(3) - (1)}{\rho_w} = \frac{\text{Peso del agua desplazada por partículas del suelo}}{\text{Densidad del agua}}$$

$$\text{Densidad real } (\rho_s) = \frac{P_s}{V_s}$$

### COMENTARIOS

Corregir el valor de la densidad del agua por efecto de temperatura, de acuerdo con el siguiente cuadro de equivalencias:

### RELACION DE LA DENSIDAD DEL AGUA CON LA TEMPERATURA

Temperatura (°C)	Densidad del agua (g/cm <sup>3</sup> )
10	0.99970
12	0.99950
14	0.99924
16	0.99894
18	0.99860
20	0.99820
22	0.99770
24	0.99730
26	0.99678
28	0.99623
30	0.99565
32	0.99503
34	0.99437
36	0.99369



## DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO POR GRAVIMETRÍA

### PRINCIPIO Y APLICACIÓN

Método gravimétrico para la determinación del contenido de humedad de los suelos, sean estos orgánicos o minerales. El método se basa en la medición o determinación de la cantidad de agua expresada en gramos que contiene una muestra de suelo. Esta masa de agua se referencia de la masa de suelo seco de la muestra. La determinación de la masa de agua se realiza por la diferencia en peso entre la masa de suelo húmedo y la masa de suelo seco. Se considera como suelo seco aquél secado a la estufa a 105°C hasta obtener un peso constante.

### MATERIAL Y EQUIPO

Botes de aluminio para humedad  
Estufa con circulación forzada de aire y temperatura controlada  
Balanza con aproximación de 0.01 g  
Pinzas  
Desecador

### PROCEDIMIENTO

1. Lave y limpie perfectamente e identifique los botes de aluminio a utilizar.
2. Los botes con todo y tapa introdúzcalos a la estufa durante 8 horas como mínimo a una temperatura de 105°C posteriormente registre el peso y vuelva a introducir los botes a la estufa hasta que se logre un peso constante en las muestras, todo este procedimiento previo al enfriamiento de los botes que se colocan en un desecador.
3. Utilizando las pinzas, saque los botes del desecador de vacío hasta que se enfríen y péselos con todo y tapa, éste será el peso del bote (PB).
4. Obtenga la muestra deseada, se recomienda sean de 30 a 50 gramos, aproximadamente, y colóquela en el bote de aluminio, en caso de que la muestra vaya a ser transportada es necesario tapar y sellar herméticamente el bote con parafilm.
5. Pese el bote con el suelo húmedo, este peso deberá ser el peso del bote más el suelo húmedo (PB + Psh).
6. Destape el bote con el suelo húmedo, coloque la tapa en la parte inferior e introdúzcalo a la estufa a una temperatura de 105°C.
7. Después de 24 horas saque el bote de la estufa tápelo y colóquelo en el desecador de vacío hasta que se enfríe, posteriormente pese el bote con la muestra seca, este peso será el peso del bote más el peso del suelo seco (PB + Pss).
8. Vuelva a introducir el bote a la estufa y una hora después sáquelo, enfríe en un desecador y pese; repetir este procedimiento hasta obtener el peso constante.



## CÁLCULOS

Con los datos obtenidos en el procedimiento, aplicar la siguiente ecuación:

$$\theta g = \frac{(PB + Psh) (PB + Pss)}{(PB + Pss) PB} \times 100$$

### Donde:

$\theta g$  = Contenido de humedad gravimétrica expresado en porcentaje

PB = Peso del bote con tapa (g).

Psh = Peso de suelo húmedo (g).

PB+Psh = Peso del bote más peso del suelo húmedo (g).

PB + Pss = Peso del bote más peso del suelo seco (g).

### COMENTARIOS

En muestras de suelos orgánicos, el secado a 105°C puede producir pérdida de masa por oxidación y volatilización de componentes orgánicos. Sin embargo bajo este método esto es inevitable.

El método gravimétrico tiene la ventaja de ser simple y no utilizar equipo sofisticado. La desventaja es que las mediciones no son *in situ* y el muestreo es destructivo al sitio.



### DETERMINACIÓN DE LA CURVA DE RETENCIÓN DE HUMEDAD POR EL MÉTODO DEL PLATO Y MEMBRANA DE PRESIÓN

#### PRINCIPIO Y APLICACIÓN

Método para la determinación de la curva de retención de humedad. Este método consiste en establecer una serie de puntos que relacionan los contenidos de humedad de una muestra de suelo con valores de potencial o succiones. Por lo general se aplican succiones de 0.3, 0.5, 1.5, 10 y 15 atmósferas, haciendo las determinaciones correspondientes de humedad por el método gravimétrico y posteriormente se traza la gráfica correspondiente, se obtiene una curva de forma hiperbólica la cual se ajusta por medio de una regresión simple.

#### MATERIAL Y EQUIPO

Suelo seco y tamizado con la malla de 2 mm

Olla y membrana de presión

Compresora

Platos de presión de un bar

Anillos de hule

Botes de aluminio

Aros de lámina para saturación de platos

Espátula

Picetas

#### PROCEDIMIENTO

La preparación de la muestra para su proceso tanto en la olla como en la membrana de presión es semejante y consiste esencialmente en los siguientes pasos:

##### Olla y membrana de presión

1. Coloque el plato de hasta 1 bar sobre un aro de lámina para saturación de tal manera que el diafragma quede suspendido y se levante el bordo sobresaliente para evitar escurrimientos.

2. Con un vaso de precipitado ya calibrado coloque aproximadamente 25 g de suelo seco y tamizado sobre los anillos de hule que previamente fueron colocados sobre el plato o la membrana de presión; el vaciado debe ser enérgico para evitar segregación de partículas, es posible acomodar hasta 15 muestras por plato y en este caso hay necesidad de tomar el tubo conector de drenaje como punto de referencia para hacer un croquis de localización.



3. Agregue agua destilada a la superficie del plato o membrana, cuidando de no aplicarla sobre las muestras, hasta lograr una lámina de 8-10 mm o que la lámina llegue cerca del bordo superior de los anillos de hule. Conecte al mismo tiempo una manguera de tubo de drenaje del plato para que se introduzca agua al diafragma. Deje las muestras saturando por lo menos durante 16 horas.

4. Pasado el tiempo de saturación, elimine el exceso de agua sobre el plato o la membrana con una pipeta y coloque el plato con la muestra dentro de la olla de presión conectando la manguera de drenaje.

5. Cierre la olla con su tapa, colocando por pares y en forma alternada los pernos, aplique una presión uniforme a todas las tuercas mariposa auxiliándose con una llave.

6. Encienda el compresor y espere a que se genere una presión de por lo menos 200 libras por pulgada cuadrada. Aplique la presión deseada y manténgala hasta obtener el equilibrio que se logra cuando deba de escurrir agua por las perforaciones laterales, el tiempo de equilibrio puede alcanzarse en 18, 24, 36 y 48 horas. La presión a aplicar para el caso de la olla es de 0.3 atm, la cual permite obtener el contenido de humedad a capacidad de campo (cc), en el caso de la membrana es de 15 atm para obtener el contenido de humedad a punto de marchites permanente (pmp).

7. Elimine totalmente la presión dentro de la olla o membrana, remueva la tapa de la olla, aflojando por pares y en forma alternada las tuercas mariposa, desconecte los tubos de desagüe del plato y del tanque y saque las muestras.

8. Remueva las muestras de suelo con ayuda de una espátula, colocándolas dentro de botes de aluminio previamente pesados y pese para obtener el peso de suelo húmedo, posteriormente meta a la estufa para el secado hasta peso constante (24 horas) y obtenga el peso de suelo seco.

#### CÁLCULOS

Para el cálculo de la curva de retención de humedad se utiliza como base el porcentaje de humedad a capacidad de campo (cc) y punto de marchitamiento permanente (pmp), el valor de  $\theta_g$  cc y de  $\theta_g$  pmp se obtiene por medio de la siguiente fórmula:

$$\theta_g = \frac{(P_{sh} - P_{ss})}{P_{ss}} \times 100$$

Donde:

$\theta_g$  = Contenido de humedad a cc o pmp

$P_{sh}$  = Peso del suelo húmedo

$P_{ss}$  = Peso del suelo seco

Posteriormente con estos datos y aplicando la ecuación del Palacios (1963) se encuentra los contenidos de humedad a la presión de 0.1, 1, 3.2, 10, 20, 50, 250 y 1500 kpa o cualquier otra presión siempre y cuando esté dentro de los rangos de cc y pmp.



$$\text{Log } \theta_g = (K - \text{log } (T-C)) / n$$

$$C = -0.000014 \theta_g \text{ cc } 27 + 0.3$$

$$n = (\text{Log } (T \text{ pmp} - C) - \text{Log } (T \text{ cc} - C)) / (\text{Log } P_h \text{ pmp} - \text{Log } \theta_g \text{ cc})$$

$$K = \text{Log } (T \text{ pmp} - C) + n \text{ Log } \theta_g \text{ pmp}$$

**Donde:**

$\theta_g$  = humedad en porcentaje

T = presión elegida

T cc = presión a cc

T pmp = presión a pmp

$\theta_g$  cc = porcentaje de humedad a cc

$\theta_g$  pmp = porcentaje de humedad a pmp



**PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO POR EL MÉTODO DE WALKLEY Y BLACK**

**PRINCIPIO Y APLICACIÓN**

La determinación de materia orgánica del suelo se evalúa a través del contenido de carbono orgánico con el método de Walkley y Black. Este método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado. Después de un cierto tiempo de espera la mezcla se diluye, se adiciona ácido fosfórico para evitar interferencias de  $\text{Fe}^{3+}$  y el dicromato de potasio residual es valorado con sulfato ferroso. Con este procedimiento se detecta entre un 70 y 84% del carbón orgánico total por lo que es necesario introducir un factor de corrección, el cual puede variar entre suelo y suelo. En los suelos de México se recomienda utilizar el factor 1.298 (1/0.77).

**REACTIVOS**

Los reactivos que a continuación se mencionan deben ser grado analítico a menos que se indique otra cosa.

1. Dicromato de potasio 0.166 M o 1N.- Disolver 48.82 g de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  en agua destilada aforar a 1000 ml en un matraz volumétrico.
2. Acido sulfúrico concentrado ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ).
3. Acido fosfórico concentrado ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ).
4. Indicador de difenilamina. Disolver 0.5 g de difenilamina en 20 ml de agua y añadir 100 ml de ácido sulfúrico concentrado.
5. Sulfato ferroso 1.0 M (aproximadamente). Disolver 278 g de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  en agua a la que previamente se le añadieron 80 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado, enfriar y diluir a un litro. Esta solución debe ser valorada con  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  1 N antes de realizar la determinación.

**MATERIAL**

- Matraces Erlenmeyer de 500 ml
- Bureta para  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  (50 ml)
- Bureta para  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  (50 ml)
- Pipeta volumétrica (10 ml)
- Probeta de vidrio (25 ml)

**PROCEDIMIENTO**

1. Pesar 0.5 g de suelo seco y pasado por un tamiz de 0.5 mm y colocarlo en un matraz Erlenmeyer de 500 ml. Procesar un blanco con reactivos por triplicado.



2. Adicionar exactamente 10 ml de dicromato de potasio 1 N girando el matraz cuidadosamente para que entre en contacto con todo el suelo.
3. Agregar cuidadosamente con una bureta 20 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado a la suspensión, girar nuevamente el matraz y agitar de esa forma durante un minuto.
4. Dejar reposar durante 30 minutos sobre una lámina de asbesto o sobre una mesa de madera, evitando las mesas de acero o cemento.
5. Añadir 200 ml de agua destilada.
6. Añadir 5 ml de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> concentrado.
7. Adicionar de 5 a 10 gotas del indicador de difenilamina.
8. Titular con la disolución de sulfato ferroso gota a gota hasta un punto final verde claro.

#### CÁLCULOS

$$\%C \text{ orgánico} = \frac{B}{g} \times \frac{T}{N} \times 0.39 \text{ mcf}$$

#### Donde:

B = Volumen de sulfato ferroso gastado para valorar el blanco de reactivos (ml)

T = Volumen de sulfato ferroso gastado para valorar la muestra (ml)

N = Normalidad exacta del sulfato ferroso (valorar por separado al momento de analizar las muestras)

g = Peso de la muestra empleada (g)

mcf = factor de corrección de humedad

% Materia orgánica = % C Orgánico x 1.724

#### OBSERVACIONES

Si al añadir el dicromato de potasio al suelo la solución se torna verdosa o si se gastan menos de dos ml de sulfato ferroso al titular la muestra, se debe reducir el peso de la muestra a la mitad.

El factor 0.39 resulta de multiplicar

$$\frac{12}{4000} \times \frac{1}{0.77} \times 100 = 0.39$$

#### Donde:

$\frac{12}{4000}$  = es el peso miliequivalente del C

$\frac{1}{0.77}$  = es un factor de corrección debido a que se supone que el método sólo oxida 77% del C, y 100 es la conversión a porcentaje.



En la mayoría de los laboratorios se sigue usando el factor de Van Benmelen de 1.724 para estimar la M.O. a partir de C orgánico, el cual resulta de la suposición de que la M.O. contiene un 58% de C,  $\frac{1}{0.58} = 1.724$

Alternativamente puede emplearse una solución de sulfato ferroso amónico 0.5N pesar 196.1 g de Fe(NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O, disolverlos en 800 ml de agua destilada con 20 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado y diluir a 1 L. Se ha reportado que los cloruros reaccionan con el dicromato en este método. Se ha propuesto que su efecto sea corregido mediante:

$$C_c = C \frac{Cl}{12}$$

#### Donde:

C<sub>c</sub> = Contenido de C orgánico en el suelo en porcentaje

C = Contenido de C orgánico determinado por el método en porcentaje

Cl = Contenido de cloruros en el suelo en porcentaje alternativamente, también se ha recomendado separar los cloruros por lavado o eliminar su efecto mediante la adición de 25 g de sulfato de plata por cada litro de ácido sulfúrico concentrado.

#### INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE MATERIA ORGÁNICA

Los valores de referencia para clasificar la concentración de la materia orgánica en los suelos minerales y volcánicos se presenta en el cuadro siguiente:

Clase	Materia orgánica (%) Suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
Muy bajo	< 4.0	< 0.5
Bajo	4.1 - 6.0	0.6 - 1.5
Medio	6.1 - 10.9	1.6 - 3.5
Alto	11.0 - 16.0	3.6 - 6.0
Muy Alto	> 16.1	> 6.1



## DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO INORGÁNICO DEL SUELO

### PRINCIPIO Y APLICACIÓN

Método para la determinación de nitrógeno inorgánico extraíble con el procedimiento micro-Kjeldahl. Se utiliza como índice de disponibilidad de nitrógeno en el suelo. Se realizará su evaluación para generar recomendaciones de fertilización. El nitrógeno inorgánico determinado con este procedimiento ha mostrado una alta relación con la respuesta de la planta en estudios de correlación de métodos químicos.

Se basa en la extracción del amonio intercambiable por equilibrio de la muestra de suelo con KCl 2 N y su determinación por destilación mediante arrastre de vapor en presencia de MgO. La adición de la aleación de Devarda permite incluir la determinación de nitratos y nitritos.

### REACTIVOS

1. Óxido de magnesio (MgO). Se calcina en una mufla a 600-700°C durante dos horas y se almacena en frascos con tapa hermética, después de enfriarlo en desecador provisto de gránulos de KOH.
2. Solución de ácido bórico con indicador. Disolver 20 g de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> puro en 700 ml de agua caliente y transferir la solución fría a un matraz volumétrico de 1 litro que contenga 200 ml de etanol (96%) y 20 ml de la solución indicadora descrita más abajo. Ajustar a pH de 5.0 con NaOH 0.05 N. Complete el volumen de 1 litro.
3. Mezcla de indicadores. Disolver 0.300 g de verde de bromocresol y 0.165 g de rojo de metilo en 500 ml de etanol (96%).
4. Aleación de Devarda. En (Al:Zn:Cu 10:9:1). Moler si es necesario en un molino de bolas o mortero hasta que el 75% pase un tamiz de 300 mallas.
5. Ácido sulfúrico 0.005 N. Estandarizarlo con THAM (trihidroximetilaminometano).
6. Solución patrón de 50 ppm de N-NH<sub>4</sub> y N-NO<sub>3</sub>. Pesar 0.236 g de (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y 0.361 g de KNO<sub>3</sub> desecados y diluirlos a 1 litro con agua destilada. Guardar en refrigerador.
7. Solución de cloruro de potasio 2 N. Disolver 1490.8 g de KCl grado reactivo en 8 litros de agua y diluir la solución a 10 litros.

### MATERIAL Y EQUIPO

1. Balanza analítica
2. Matraces de destilación
3. Destilador con arrastre de vapor
4. Microburetas de 5 ml, graduadas a intervalos de 0.01 ml
5. Matraces Erlenmeyer de 125 ml



6. Agitador de vaivén regulado a 180 oscilaciones por minuto

### PROCEDIMIENTO

1. Pesar 5 g de suelo y colocar en un bote de polietileno de 100 ml de capacidad o en un matraz Erlenmeyer de 125 ml.
2. Agregar 50 ml de solución de KCl 2 N y agitar por 60 minutos en agitador de acción recíproca regulado a 180 rpm y centrifugar 5 minutos. Decantar o filtrar si es necesario.
3. Colocar 10 ml de solución H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> con indicador en un matraz Erlenmeyer de 125 ml y conectarlo en un tubo de salida del refrigerante, de modo que éste quede en contacto con el líquido.
4. Pipetear una alícuota de 10 a 20 ml del extracto de suelo y colocar en un matraz de destilación y agregar 0.2 g de MgO calcinado y 0.2 g de aleación de Devarda.
5. Conectar el aparato de destilación y destilar hasta completar aproximadamente 30 ml en 3-4 minutos (6-7 ml min<sup>-1</sup>).
6. Titular la muestra y los blancos (se preparan de forma similar a las muestras) con ácido sulfúrico 0.005 N. En el punto final el color cambia de verde a rosa tenue.

### CÁLCULOS

Calcular la cantidad de nitrógeno inorgánico con la siguiente ecuación:

$$N \text{ (ppm)} = (M - B) \times N \times 14 \times \frac{V_i}{a} \times \frac{1}{p} \times 1000$$

### Donde:

M y B= Son los mililitros de ácido sulfúrico usados en la titulación de muestra y el blanco, respectivamente.

N= La normalidad del ácido.

V<sub>i</sub>= Es el volumen del extractante.

a= La alícuota destilada.

p= El peso de la muestra en gramos.

### INFORME DE LA PRUEBA

Se reporta la cantidad de N inorgánico (nitratos + amonio + nitritos) en miligramos por kilogramo de suelo (mg/Kg). Se recomienda el uso de una cifra decimal. Adjunto al resultado debe citarse el método empleado.

### SENSIBILIDAD

Con este procedimiento es posible detectar concentraciones de aproximadamente 0.5 mg Kg<sup>-1</sup> de nitrógeno inorgánico en el suelo, suficiente para fines de diagnóstico.



#### COMENTARIOS

No es necesario utilizar cantidades exactas de MgO o de aleación de Devarda en el método descrito, es conveniente el uso de cucharillas de vidrio calibradas a las cantidades referidas.

#### INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE NITRÓGENO INORGÁNICO

Los resultados de los análisis de nitrógeno inorgánico pueden interpretarse conforme al siguiente cuadro. Los datos que se presentan en él son referidos para aplicarse a cereales de grano pequeño.

Clase	N inorgánico en el suelo mg/kg
Muy bajo	0 - 10
Bajo	10 - 20
Medio	20 - 40
Alto	40 - 60
Muy alto	> 60



#### DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA DEL SUELO POR EL PROCEDIMIENTO DE BOUYOUCOS

##### PRINCIPIO Y APLICACIÓN

Método para la determinación de la textura del suelo por el procedimiento de Bouyoucos. La textura del suelo define como la proporción relativa de grupos dimensionales de partículas. Proporciona una idea general de las propiedades físicas del suelo. Su determinación es rápida y aproximada. En general el problema es separar los agregados y analizar sólo las partículas. En el presente método se elimina la agregación debida a materia orgánica y la floculación debida a los cationes calcio y magnesio. No se eliminan otros cementantes como carbonatos. El tiempo de lectura se ha escogido de 40 segundos para la separación de partículas mayores de 0.05 mm (arena) y de 2 horas para partículas de diámetro mayores de 0.002 mm (lilo y arena). Estos límites han sido establecidos por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos y se han usado para construir el triángulo de texturas.

##### REACTIVOS

1. Agua oxigenada al 30%.
2. Oxalato de sodio saturado. Disolver 30 g de oxalato de sodio en 1 litro de agua.
3. Metasilicato de sodio con 36 g L-1 de lectura con el hidrómetro. Disolver 50 g de metasilicato de sodio en 1 litro de agua ajustar la solución hasta que se obtenga una lectura de 36 con el hidrómetro.
4. Hexametáfosfato de sodio (calcón). Disolver 50 g de  $(\text{Na}_3\text{PO}_3)_6$  en agua destilada y aforar a un litro.

##### MATERIAL Y EQUIPO

1. Hidrómetro de Bouyoucos con escala de 0-60.
2. Probetas de 1000 cc.
3. Cilindro de Bouyoucos.
4. Agitador con motor para dispersión.
5. Agitador de mano.
6. Termómetro de -10 a 110°C.

##### PROCEDIMIENTO

1. Pesar 60 g de suelo de textura fino o 120 g de suelo de textura gruesa en un vaso de precipitados de 500 ml agregar 40 ml de agua oxigenada y poner a evaporar hasta sequedad, agregar otros 40 ml y observar la reacción. Evaporar nuevamente a sequedad. Repetir hasta que no haya efervescencia al agua oxigenada.



2. En general dos ataques son suficientes para la mayoría de suelos. Después de eliminar la materia orgánica y llevar a sequedad el suelo, pesar 50 g de suelo de textura arcillosa o 100 g de suelo de textura arenosa y ponerlos en un vaso de precipitados de 250 ml. Adicionar agua hasta cubrir la superficie con una lámina de 2 cm. Agregar 5 ml de oxalato de sodio y 5 ml de metasilicato de sodio y dejar reposar durante 15 minutos. Si el suelo tiene mucha arcilla puede prolongarse el tiempo hasta media hora.

3. Pasar las muestras de los vasos de precipitado a las copas del agitador mecánico, pasando todo el material con la ayuda de una piceta. Activar los agitadores y proceder a dispersar cinco minutos. Al finalizar el tiempo de agitación, bajar la copa del dispersor y pasar el contenido a una probeta de 1000 ml o al cilindro de Bouyoucos enjuagando la copa con ayuda de una piceta.

4. Agregar agua destilada hasta completar un litro con el hidrómetro dentro de la suspensión en el caso de la probeta y si utiliza el cilindro de Bouyoucos llevar a la marca inferior (1113 ml) con el hidrómetro dentro de la suspensión. Sacar el hidrómetro y suspender el suelo con un agitador de mano operando durante un minuto.

5. Tomar las lecturas del hidrómetro a los 40 segundos y después de 2 horas de terminada la dispersión con el agitador de mano.

6. Para hacer una lectura, colocar el hidrómetro dentro de la probeta 20 segundos antes del momento de la determinación, cuidando de alterar lo menos posible la suspensión. Después de hacer la lectura se seca el hidrómetro, se lava, se seca y se toma la temperatura. Si por alguna razón al hacer la lectura se acumula espuma alrededor del hidrómetro, agregar unas gotas de alcohol etílico.

#### CÁLCULOS

Corregir las lecturas del hidrómetro agregando 0.36 por cada grado centígrado arriba de 19.5°C restando la misma cantidad por cada grado abajo de dicha temperatura (tabla de corrección por temperatura). La lectura a los 40 segundos multiplicada por 2 es igual al porcentaje de arcilla más limo. Restando de 100 se obtiene el porcentaje de arena. La lectura obtenida a 2 horas multiplicadas por 2 es igual al porcentaje de arcilla. El porcentaje de limo se obtiene por diferencia.

Cuando se usan 100 g no debe multiplicarse por 2 ya que el hidrómetro está calibrado en porcentajes considerando 100 g de suelo. Con los porcentajes de limo, arena y arcilla se determina la textura correspondiente con el triángulo de texturas.

Tabla de corrección por temperatura

TEMP. °C	CORRECCION	TEMP. °C	CORRECCION	TEMP. °C	CORRECCION
15.0	- 1.62	19.5	0.00	24.0	1.62
15.5	- 1.44	20.0	0.18	24.5	1.80
16.0	- 1.26	20.5	0.36	25.0	1.98
16.5	- 1.08	21.0	0.54	25.5	2.15
17.0	- 0.90	21.5	0.72	26.0	2.34
17.5	- 0.72	22.0	0.90	26.5	2.52
18.0	- 0.54	22.5	1.08	27.0	2.70
18.5	- 0.36	23.0	1.26	27.5	2.86
19.0	- 0.18	23.5	1.44	28.0	3.06



#### INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Clave	Clase de textura
R	Arcillosa
Rl	Arcillo limosa
Ra	Arcillo arenosa
Cr	Franco arcillosa
CrI	Franco arcillo limosa
Cra	Franco arcillo arenosa
C	Franco arena
Cl	Franco limosa
L	Limosa
Ca	Franco arenosa
Ac	Arena francosa
A	Arenosa



### DETERMINACIÓN DEL FÓSFORO APROVECHABLE PARA SUELOS NEUTROS Y ALCALINOS POR EL PROCEDIMIENTO DE OLSEN Y COLABORADORES

#### PRINCIPIO Y APLICACIÓN

Este método, es ampliamente utilizado en estudios de fertilidad de suelos para la determinación de fósforo disponible tanto en suelos neutros como alcalinos. El fósforo determinado con este procedimiento ha mostrado una estrecha relación con la respuesta de los cultivos. El fósforo es extraído del suelo con una solución de  $\text{NaHCO}_3$  0.5 M ajustada a un pH de 8.5. En suelos neutros, calcáreos o alcalinos, conteniendo fosfatos de calcio, este extractante disminuye la concentración de Ca en solución a través de una precipitación del  $\text{CaCO}_3$ , por tanto la concentración de P en solución se incrementa. En suelos ácidos conteniendo fosfatos de Al y Fe tales como la variscita y estregita, la concentración de P en solución, se incrementa conforme el pH se eleva.

Este extractante evita que se presenten reacciones secundarias en suelos ácidos y calcáreos debido a que el nivel de Al, Ca y Fe se mantiene muy bajo en dicha solución.

#### REACTIVOS

1. Hidróxido de sodio 1M. Disolver 4 g de NaOH en 100 ml de agua
2. Bicarbonato de sodio ( $\text{NaHCO}_3$ ) 0.5 M. Disolver 42 g de  $\text{NaHCO}_3$  en aproximadamente 1 litro de agua. Ajustar el pH de esta solución a 8.5 mediante la adición de solución de NaOH 1 M. Llevar a volumen con agua destilada.

Algunos autores recomiendan adicionar aceite mineral para evitar la exposición de la solución al aire. Guardar la solución en un recipiente de polietileno y revisar el pH de la solución antes de usarse, de requerirse, volver a ajustar a 8.5.

3. Solución de tartrato de antimonio y potasio al 0.5%. Pese 0.5 g de  $\text{K}(\text{SbO})\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ , transfíralo a un matraz volumétrico de 100 ml disuélvalo y afore con agua destilada.
4. Solución de molibdato de amonio [ $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ]. Disolver 20 g de molibdato de amonio [ $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ] en 300 ml de agua destilada. Agregue lentamente bajo constante agitación y con cuidado, 450 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (14 N) (194.4ml  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado diluido a 500 ml con agua da una concentración de aproximadamente 14 N). Agregue 100 ml de una solución al 0.5% (p/v) de tartrato de antimonio y potasio. Diluya las mezclas a 1 L con agua destilada. Este frasco se debe tapar y con papel aluminio, proteger de la luz.
5. Solución reductora con ácido ascórbico. Disolver 0.50 g de ácido ascórbico con un poco de solución de molibdato de amonio y aforar a 100 ml con la misma solución. Esta solución es preparada cada vez que se vaya a formar color.
6. Solución patrón de fósforo (200 mg/l). Pesar exactamente 0.8786 g de fosfato de potasio monobásico ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) seco al horno a  $105^\circ\text{C}$ , disolver en agua y aforar a 1 litro. Guardar en envase de plástico o vidrio y conservar en refrigeración. Algunos autores recomiendan adicionar 25 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  7 N antes de aforar para conservar la solución libre de contaminantes biológicos.



7. Solución patrón de 5 mg/l de P. Diluir 5 ml de la solución de 200 mg/l de P a 200ml con agua destilada. Preparar fresca cada 5 días.

#### MATERIAL Y EQUIPO

1. Tubos de polietileno de 100 ml
2. Papel Whatman No. 42 o equivalente
3. Agitador mecánico recíproco, ajustado a 180 oscilaciones por minuto
4. Balanza analítica
5. Matraces volumétricos de 50 ml
6. Bureta de 10 ml
7. Espectrofotómetro para leer a 880 nm y celdas de vidrio

#### PROCEDIMIENTO

1. Pesar 2.5 g de suelo previamente tamizado por malla de 2 mm y colocarlos en los tubos de polietileno.
2. Adicionar 50 ml de la solución extractora tapar y agitar la suspensión en agitador de acción recíproca durante 30 min. a 180 oscilaciones por minuto.
3. Filtrar inmediatamente a través de papel filtro Whatman No. 42 u otro de calidad similar.
4. Preparar blancos a partir de alícuotas de solución extractora y adicionando todos los reactivos como en las muestras.
5. Tomar una alícuota de 5 ml (o 10 ml si la concentración de P es muy baja) del filtrado y colocarla en un matraz aforado de 50 ml.
6. Agregar 5.0 ml de la solución reductora, agitar y aforar. Leer después de 30min pero antes de una hora a una longitud de onda 882 nm (leer previamente la curva de calibración).
7. Preparar una curva de calibración con patrones de 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1.0 mg/l de P.
8. Pipetear 0, 1, 2, 4, 6 y 10 ml de una solución de 5 mg/l de P a matraces aforados de 50 ml.
9. Adicionar un volumen de solución extractante de  $\text{NaHCO}_3$  0.5 M igual a la alícuota empleada para medir en las muestras desconocidas.
10. Llevar a aproximadamente 40 ml con agua y adicionar 5 ml de la solución reductora con ácido ascórbico, aforar.
11. Agitar nuevamente. Leer después de 30 minutos pero antes de una hora a 882nm, leer las muestras y los patrones al mismo tiempo de reacción, contando el



tiempo desde que se agrega el reactivo que genera el complejo hasta el momento de la lectura.

#### CÁLCULOS

$$P\left(\frac{\text{mg}}{\text{kg}} \text{ de suelo}\right) = CC \times \frac{V_i}{p} \times \frac{V_f}{a}$$

Donde:

CC= mg/l de P en la solución. Se obtiene graficando la curva de calibración (absorbancia contra mg/l) e interpolando en la misma los valores de absorbancia de las muestras analizadas a las cuales previamente se les ha estado el valor promedio de los blancos o por medio de una regresión simple.

$V_i$ = volumen de la solución extractora adicionada.

$p$ = peso de la muestra de suelo seca al aire.

$V_f$ = volumen final de la solución colorimétrica a leer.

$a$ = alícuota de la muestra empleada para la cuantificación.

#### INFORME DE LA PRUEBA

Los resultados se expresan en mg/kg. Se deberá expresar mediante el uso de una cifra decimal. Adjunto al resultado debe especificarse el método empleado.

#### COMENTARIOS

Se usarán recipientes de plástico para almacenar la solución extractante. En caso de utilizar vidrio, esta solución deberá prepararse cada mes.

#### INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS FÓSFORO OLSEN

Los resultados de los análisis pueden interpretarse de forma aproximada con el siguiente cuadro.

Clase	Mg/kg de P
Bajo	< 5.5
Medio	5.5 – 11
Alto	> 11

Debe recordarse que para cada condición climática y cultivo se genera un nivel diferente de aprovechamiento del fósforo del suelo. Si se conocen los criterios de interpretación para algún suelo y cultivo determinado, éstos se reportarán junto con el resultado del análisis.



## DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO Y BASES INTERCAMBIABLES DEL SUELO CON ACETATO DE AMONIO

#### PRINCIPIO Y APLICACIÓN

Método para la determinación de la capacidad de intercambio cationico (CIC) y bases intercambiables ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}_+$ ) de los suelos, empleando acetato de amonio 1N, pH 7.0, como solución saturante. El método para la determinación consiste en la saturación de la superficie de intercambio con un catión índice, el ion amonio; lavado del exceso de saturante con alcohol; desplazamiento del catión índice con potasio y determinación del amonio mediante destilación. El amonio se emplea como catión índice debido a su fácil determinación, poca presencia en los suelos y porque no precipita al entrar en contacto con el suelo. La concentración normal que se usa asegura una completa saturación de la superficie de intercambio y como está amortiguada a pH 7.0, se logra mantener un cierto valor de pH. El lavado con alcohol pretende desplazar el exceso de saturante y minimizar la pérdida del amonio adsorbido.

#### REACTIVOS

Los reactivos que a continuación se mencionan deben ser grado analítico a menos que se indique otra cosa, cuando se hable de agua se debe entender agua desionizada o destilada. Las soluciones para este análisis deben almacenarse en recipientes de polietileno.

1. Solución de acetato de amonio 1.0N, pH 7.0. Diluir 57 ml de ácido acético glacial (99.5%) con agua a un volumen de aproximadamente 500 ml. Agregar 60 ml de hidróxido de amonio concentrado, diluir con agua a un volumen de 990 ml, mezclar completamente, ajustar a pH 7.0 y diluir a un volumen final de 1 litro con agua.
2. Una alternativa en el punto anterior consiste en pesar y disolver 77 g de acetato de amonio ( $\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$ ) en 900 ml de agua y de ser necesario ajustar a pH 7.0 y entonces completar a un litro con agua.
3. Alcohol etílico, usar  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  grado industrial.
4. Solución de cloruro de sodio al 10%. Pesar 100 g de cloruro de sodio grado analítico y disolver en 1 L de agua empleando un matraz aforado.
5. Solución de cloruro de amonio 1N. Pesar 53.50 g de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  y disolver en agua. Ajustar a pH 7.0 con hidróxido de amonio y diluir a 1 litro empleando un matraz aforado.
6. Solución de cloruro de amonio 0.25N. Pesar 13.38 g de  $\text{NH}_4\text{Cl}$  y disolver en agua. Ajustar a pH 7.0 con hidróxido de amonio y diluir a 1 litro empleando un matraz aforado.
7. Indicador mixto. Mezclar volúmenes iguales de rojo de metilo al 0.66% y de verde de bromocresol al 0.99%. Ambos disueltos en etanol al 95%.
8. Solución de ácido bórico. Usar  $\text{H}_3\text{BO}_3$  al 2% en agua destilada que contenga 10ml del indicador por litro.



9. Acido clorhídrico diluido valorado. Usar HCl 0.01 N.
10. Hidróxido de sodio al 40%. Disolver 400 g. de NaOH en agua destilada y llevar a 1000 ml.
11. Nitrato de plata 0.1 N. Disolver 16.98 g de AgNO<sub>3</sub> en agua destilada y llevar a 1000 ml.
12. Solución de lantano acidificada. Pesar 7.742 g de La(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·6H<sub>2</sub>O en un matraz volumétrico de 250 ml con agua destilada añadir 17.5 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado y aforar.
13. Solución diluida de lantano acidificada. Tomar 50 ml de la solución de lantano acidificada en un matraz volumétrico de 500 ml y aforar con agua destilada.
14. Solución de cloruro de cesio acidificada. Disolver 11.12 g de CsCl y 250 ml de Al(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·9H<sub>2</sub>O en 500 ml de agua en un matraz volumétrico de 1000 ml, añadir 20 ml de HNO<sub>3</sub> 2 M y aforar con agua.
15. Solución de ácido nítrico 2 M. Diluir 7 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado en agua, aforar a 100 ml en un matraz volumétrico.

#### MATERIAL

1. Tubos de centrífuga de 50 ml con fondo redondo
2. Agitador mecánico
3. Centrífuga con capacidad para 8 o 16 tubos
4. Matraces volumétricos de 100 ml
5. Matraces Erlenmeyer de 125 ml
6. Aparato de destilación

#### PROCEDIMIENTO

1. Pesar 5 g de suelo secado al aire y tamizado por malla de abertura de 2 mm y transferirlo a un tubo de centrífuga de 50 ml. Agregar 33 ml de solución de acetato de amonio. Tapar y agitar en posición horizontal durante 10 minutos. Luego, centrifugar hasta que el líquido sobrenadante esté claro. Esto se logra fácilmente centrifugando a 2500 rpm. Decantar el líquido en un matraz de 100ml y repetir la extracción otras dos veces, aforar con acetato de amonio y guardarlo para la posterior determinación de las bases intercambiables (solución A).
2. Agregar 30 ml de la solución de cloruro de amonio 1N; agitar durante 10 minutos y luego centrifugar hasta que el líquido sobrenadante esté claro y desecharlo. Adicionar 30 ml de la solución de cloruro de amonio 0.25N, agitar durante 10 minutos, centrifugar y desechar el sobrenadante. Lavar la muestra con porciones de alcohol de 30 ml agitando durante 10 minutos, centrifugar y eliminar el sobrenadante cada vez. El lavado termina cuando la prueba de cloruros en el decantado sea mínima.



3. Prueba de cloruros. Pipetear 10 ml del sobrenadante alcohólico en un tubo de ensaye y agregar 4 o 5 gotas de nitrato de plata, si se observa un ligero precipitado blanco, la reacción es positiva y se debe continuar el lavado hasta que la prueba de cloruros sea negativa.

4. Reemplazar el amonio adsorbido con tres porciones de 33 ml de cloruro de sodio al 10%, agitando durante 10 minutos y centrifugando cada vez. Decantar cada reemplazo en un matraz volumétrico de 100 ml y completar al volumen. Determinar el amonio a partir de una alícuota de 10 ml, la cual se transfiere a un matraz Kjeldahl de 300 ml, se le agregan aproximadamente 8 ml de NaOH al 40% y se conecta al aparato de destilación microkjeldahl. Recoger el producto de la destilación en un matraz Erlenmeyer que contenga 10 ml de mezcla de indicador y ácido bórico. Determinar por titulación con HCl 0.01N.

#### CÁLCULOS

Si se pesan 5 g de muestra entonces la capacidad de intercambio catiónico expresado en Cmol/kg de suelo (CIC) se calculará de la forma siguiente:

$$CIC = 200 (V) (N)$$

Donde:

V = volumen (ml) de HCl empleado al titular lo destilado en la solución morada.

N = normalidad del HCl.

$$200 = \frac{100}{\text{alícuota}} \times \frac{100}{\text{peso de suelo}}$$

Alícuota = 10 ml y peso de suelo = 5 g.

#### PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

Expresar el resultado solamente con una cifra decimal, por ejemplo: 14.5 Cmol/kg de suelo secado al aire.

#### DETERMINACIÓN DE Ca Y Mg INTERCAMBIABLES

1. Pipetear 0.5 ml de la solución A en un tubo de ensaye.
2. Añadir 9.5 ml de la solución diluida de lantano y mezclar.
3. Medir la concentración de Ca y Mg en las series estándar, el blanco y la muestra por espectrofotometría de absorción atómica a una longitud de onda de 422.7 y 285.2 nm, respectivamente, usando una flama de aire-acetileno.

#### Cálculos

$$Ca \left( \frac{\text{Cmol}}{\text{kg}} \right) = (a - b) \times \frac{100}{1000} \times 20 \times \frac{1000}{10w} \times \frac{2}{40.08} = 9.98 \times \frac{a - b}{w}$$



$$\text{Mg} \left( \frac{\text{Cmol}}{\text{kg}} \right) = (a - b) \times \frac{100}{1000} \times 20 \times \frac{1000}{10w} \times \frac{2}{24.32} = 16.447 \times \frac{a - b}{w}$$

Donde:

a= Concentración de Ca o Mg medido en la muestra (mg/l).

b= Concentración de Ca o Mg medido en el blanco (mg/l).

w= Peso del suelo seco (g)

#### DETERMINACIÓN DE Na Y K INTERCAMBIABLES

1. Pipetear 1.0 ml de la solución A en un tubo de ensaye.
2. Añadir 1.0 ml de la solución de cloruro de cesio acidificada.
3. Añadir 8 ml de agua y mezclar.
4. Medir la concentración de Na y K en las muestras el blanco y las series estándar por espectrofotometría de emisión de flama.

Cálculos

$$\text{Na} \left( \frac{\text{Cmol}}{\text{kg}} \right) = (a - b) \times \frac{100}{1000} \times 10 \times \frac{1000}{10w} \times \frac{1}{23.00} = 4.347 \times \frac{a - b}{w}$$

$$\text{K} \left( \frac{\text{Cmol}}{\text{kg}} \right) = (a - b) \times \frac{100}{1000} \times 10 \times \frac{1000}{10w} \times \frac{1}{39.10} = 2.557 \times \frac{a - b}{w}$$

Donde:

a= Concentración de Na o K medido en la muestra (mg/l).

b= Concentración de Na o K medido en el blanco (mg/l).

w= Peso del suelo seco (g).

#### COMENTARIOS

La CIC no deberá expresarse como me/100 g, ya que las unidades preferidas por el SI son Cmol(+) kg<sup>-1</sup>, pero para que los valores de la CIC sean familiares se dividirá por 100. Por lo tanto, la CIC es expresada como Cmol / kg. El signo (+) es añadido para indicar que la CIC deberá ser expresada como moles de cationes monovalentes; por lo tanto los iones divalentes cuentan el doble.

#### INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)

La Capacidad de Intercambio Cationico (CIC) es una propiedad química a partir de la cual es posible inferir acerca del tipo de arcilla presente, de la magnitud de la reserva nutrimental y del grado de intemperismo de los suelos. El resultado



numérico de la determinación sirve además como base en el cálculo del porcentaje de saturación de bases que es un dato ampliamente usado en los estudios pedológicos y de fertilidad. Para poder inferir sobre los minerales arcillosos presentes en los suelos hay que considerar la medición hecha por Grim (1953) en los silicatos laminares del tipo 1:1 y 2:1 empleando acetato de amonio 1N, pH 7.0.

Grupo	CIC (Cmol / kg)
Caolinitas	3 - 15
Esmectitas	80 - 150
Micas hidratadas	10 - 40
Vermiculitas	100 - 150
Cloritas	10 - 40

Con respecto al grado de intemperismo se considera que un valor de CIC inferior a 10 Cmol / kg de suelo en un horizonte B con más de 30 a 40% de arcilla indica la ausencia de minerales primarios intemperizables y la acumulación de minerales secundarios del grupo caolinitico y óxidos libres. Por lo que respecta a la reserva nutrimental se considera que ésta es abundante cuando la CIC es mayor de 25 Cmol/kg de suelo. La fertilidad se realizará de conformidad con clasificación elaborada con los resultados analíticos obtenidos con métodos apropiados tanto en suelos ácidos como alcalinos.

Clase	CIC (Cmol / kg)
Muy alta	> 40
Alta	25 - 40
Media	15 - 25
Baja	5 - 15
Muy baja	> 5

Interpretación de resultados de calcio, magnesio y potasio (Ca, Mg y K). Los resultados de los análisis de las bases intercambiables pueden interpretarse en el siguiente cuadro:

CLASE	Ca	Mg	K
		Cmol / kg	
Muy baja	menor - 2	menor - 0.5	menor - 0.2
Baja	2 - 5	0.5 - 1.3	0.2 - 0.3
Media	5 - 10	1.3 - 3.0	0.3 - 0.6
Alta	mayor - 10	mayor - 3.0	mayor - 0.6



## DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNICO EN SUELOS ÁCIDOS Y CALCÁREOS Y BASES INTERCAMBIABLES CONTIUREA DE PLATA.

### PRINCIPIO Y APLICACIÓN

Método para determinar la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) y bases intercambiables (Ca, Mg, Na y K) de los suelos ácidos y calcáreos, empleando tiourea de plata (Ag TU) 0.01 M como solución saturante. El procedimiento consiste en equilibrar una muestra de suelos con una solución de Ag TU 0.01M. La afinidad de este reactivo por las cargas negativas de las partículas del suelo permite una completa saturación, aun cuando el suelo contenga relativamente altas concentraciones de otras sales. Esto requiere de una sola etapa, o sea, la extracción y centrifugación para que el intercambio sea completo. Por lo tanto el sobrenadante contendrá todos los cationes intercambiables.

### REACTIVOS

Los reactivos que a continuación se mencionan deben ser grado analítico cuando se hable de agua se debe entender agua desionizada o destilada. Las soluciones para este análisis deben almacenarse en recipientes de polietileno.

1. Solución de nitrato de plata 0.04M. Disolver 3.4 g de  $\text{AgNO}_3$  en 500 ml de agua.
2. Solución de tiourea de plata 0.01M. Disolver 15.0 g de tiourea en un litro de agua y filtrar a través de papel Whatman 42 o su equivalente recibiendo el filtrado de un frasco volumétrico de 2000 ml. Agregar mientras mezcla la solución de nitrato de plata 0.04 M y aforar con agua. Almacenar en la oscuridad.
3. Solución de tiourea 0.1 M. Disolver 7.5 g de tiourea en un litro de agua y filtrar a través de papel Whatman 42 o su equivalente.
4. Solución estándar de 500 mg/l de Ag. Disolver 0.3937 g de  $\text{AgNO}_3$  en agua en un matraz volumétrico de 500 ml y aforar el volumen con agua. Almacenar en la oscuridad.
5. Solución estándar diluida de 100 mg/l de Ag, Pipetear 20 ml de la solución estándar en un matraz volumétrico de 100 ml y diluir al volumen con agua. Almacenar en condiciones de oscuridad.
6. Solución de ácido nítrico 1 M. Diluir 70 ml de  $\text{HNO}_3$  concentrado en agua aforando a 1000 ml en un matraz volumétrico.
7. Series estándar. Pipetear en matraces volumétricos de 100 ml 0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0 ml, respectivamente, de la solución diluida estándar y agregar 0.5 ml de la solución de tiourea 0.1 M, adicionar 10 ml de la solución de  $\text{HNO}_3$  1 M a cada uno, y aforar el volumen con agua. La concentración de Ag en esta serie estándar es de 0, 2, 4, 6, 8 mg/l.
8. Solución de lantano acidificada. Pesar 7.742 g de  $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  en un matraz volumétrico de 250 ml, añadir algo de agua y 17.5 ml de  $\text{HNO}_3$  concentrado, aforar con agua.



9. Solución estándar de 1000 mg/l de Ca. Pesar 2.5 g de  $\text{CaCO}_3$  en un vaso de precipitado de 250 ml, añadir aproximadamente 100 ml de agua, y 12.5 ml de HCl 4M hervir para eliminar el  $\text{CO}_2$  (si permanecen partículas de  $\text{CaCO}_3$  añadir 2 ml más de HCl 4M). Enfriar y transferir la solución a un matraz volumétrico de un litro y aforar con agua.
10. Solución estándar de 100 mg/l de Mg. Pesar 1.013 g de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  en un matraz volumétrico de un litro y aforar con agua.
11. Solución estándar mezclada, 100 mg/l de Ca y 10 mg/l de Mg tomar 10 ml de la solución estándar de 1000 mg/l de Ca y 10 ml de la solución estándar de 100 mg/l de Mg en un matraz volumétrico de 100 ml y aforar con agua.
12. Solución diluida de lantano acidificada. Tomar 50 ml de la solución de lantano acidificada en un matraz volumétrico de 500 ml y aforar con agua.
13. Series estándar. Pipetear 0, 2.0, 3.0, 4.0 y 5.0 ml, respectivamente, de la solución estándar mezclada en seis matraces volumétricos de 100 ml y agregar 5.0 ml de tiourea 0.1 M y 9.5 ml de la solución diluida de lantano y aforar. La concentración de las series estándar es de: 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 mg/l de Mg y 0, 1, 2, 3, 4 y 5 mg/l de Ca y Mg.
14. Solución de cloruro de cesio acidificada. Disolver 11.12 g de  $\text{CsCl}$  y 250 g de  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  en aproximadamente 500 ml de agua en un matraz volumétrico de 1000 ml, añadir 20 ml de  $\text{HNO}_3$  2M y aforar con agua.
15. Solución de ácido nítrico 2 M. Diluir 7 ml de  $\text{HNO}_3$  concentrado en agua aforando a 100 ml en un matraz volumétrico.
16. Solución estándar de 1000 mg/l de K y 400 mg/l de Na. Disolver 1.9068 g de KCl y 1.0168 g NaCl en agua en un matraz volumétrico de 1000 ml y aforar con agua.
17. Solución estándar diluida de 100 mg/l de K y 40 mg/l de Na. Pipetear 25 ml de la solución estándar en un matraz volumétrico de 250 ml, aforar con agua.
18. Serie estándar de Na y K. Pipetear 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 y 5.0 ml de la solución estándar diluida en seis matraces volumétricos de 100 ml, respectivamente, añadir un poco de agua, 10 ml de tiourea 0.1 M y 9 ml de la solución de  $\text{CsCl}$  aforar con agua y mezclar. Esta serie estándar tiene concentraciones de: 0, 1, 2, 3, 4 y 5 mg/l de K y 0, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 y 2 mg/l de Na.

### MATERIAL Y EQUIPO

1. Material común de laboratorio
2. Tubos de centrifuga de polipropileno de 50 ml de capacidad con tapón de rosca
3. Agitador mecánico de agitación recíproca
4. Centrifuga
5. Espectrofotómetro de absorción atómica



**PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR CIC**

1. Pesar 1 g de muestra pasada por un tamiz de 0.5 mm de abertura.
2. Pasarlo a un tubo de centrifuga de polietileno de 50 ml.
3. Añadir 30 ml de la solución de tiourea de plata 0.01 M.
4. Preparar un blanco, es decir, a un tubo de centrifuga sin suelo, añadir 30 ml de la solución de tiourea de plata 0.01 M.
5. Tapar y agitar en posición horizontal durante cuatro horas.
6. Centrifugar a 2500 rpm durante 10 minutos.
7. Filtrar a través de papel filtro No. 41 o equivalente (solución A).
8. Pipetear 0.5 ml de esta solución a matraces volumétricos de 100 ml, diluir aproximadamente a 50 ml con agua, añadir 10 ml de HNO<sub>3</sub> 1 M mezclar y aforar con agua.
9. Medir la concentración de Ag en las series estándar, la muestra y el blanco por espectrofotometría de absorción atómica a 328.1 nm de longitud de onda, usando una flama de aire-acetileno.

**Cálculos**

$$CIC \left( \frac{C_{mol}}{kg} \right) = (b - a) \times 200 \times \frac{30}{1000} \times \frac{1000}{10w} \times \frac{1}{107.87} = 5.562 \times \frac{b - a}{w}$$

**Donde:**

- a= Concentración de Ag medida en la muestra (mg/l).  
b= Concentración de Ag medida en el blanco (mg/l).  
w= Peso de suelo seco (g).

**DETERMINACIÓN DE Ca Y Mg INTERCAMBIABLES**

1. Pipetear 0.5 ml de la solución A en un tubo de ensaye.
2. Añadir 9.5 ml de la solución diluida de lantano y mezclar.
3. Medir la concentración de Ca y Mg en las series estándar, el blanco y la muestra por espectrofotometría de absorción atómica a una longitud de onda de 422.7 y 285.2 nm, respectivamente, usando una flama de aire-acetileno.



**Cálculos**

$$Ca \left( \frac{C_{mol}}{kg} \right) = (a - b) \times \frac{30}{1000} \times 20 \times \frac{1000}{10w} \times \frac{2}{40.08} = 2.994 \times \frac{a - b}{w}$$

$$Mg \left( \frac{C_{mol}}{kg} \right) = (a - b) \times \frac{30}{1000} \times 20 \times \frac{1000}{10w} \times \frac{2}{24.32} = 4.934 \times \frac{a - b}{w}$$

**Donde:**

- a= Concentración de Ca o Mg medido en la muestra (mg/l)  
b= Concentración de Ca o Mg medido en el blanco (mg/l)  
w= Peso del suelo seco (g)

**DETERMINACIÓN DE Na Y K INTERCAMBIABLES**

1. Pipetear 1.0 ml de la solución A en un tubo de ensaye.
2. Añadir 1.0 ml de la solución de cloruro de cesio acidificada.
3. Añadir 8 ml de agua y mezclar.
4. Medir la concentración de Na y K en las muestras el blanco y las series estándar por espectrofotometría de emisión de flama.

**Cálculos**

$$Na \left( \frac{C_{mol}}{kg} \right) = (a - b) \times \frac{30}{1000} \times 10 \times \frac{1000}{10w} \times \frac{1}{23.00} = 1.304 \times \frac{a - b}{w}$$

$$K \left( \frac{C_{mol}}{kg} \right) = (a - b) \times \frac{30}{1000} \times 10 \times \frac{1000}{10w} \times \frac{1}{39.10} = 0.767 \times \frac{a - b}{w}$$

**Donde:**

- a= Concentración de Na o K medido en la muestra (mg/l)  
b= Concentración de Na o K medido en el blanco (mg/l)  
w= Peso del suelo seco (g)

**COMENTARIOS**

La CIC no deberá expresarse como me/100 g, ya que las unidades preferidas por el SI son mol Kg<sup>-1</sup>, pero para que los valores de la CIC sean familiares se dividirá por 100. Por lo tanto, la CIC es expresada como Cmol Kg<sup>-1</sup>. El signo (+) es añadido para indicar que la CIC deberá ser expresada como moles de cationes monovalentes; por lo tanto los iones divalentes cuentan el doble.



## PROCEDIMIENTOS DE ANÁLISIS DE SUELOS CON PROPÓSITO DE SALINIDAD

### PRINCIPIO Y APLICACIÓN

Método para la obtención del extracto de saturación por filtración con vacío de la pasta saturada de suelo. Este método se aplica para la obtención del extracto de saturación de muestras de suelo. El término "extracto de saturación" se usa en este método para designar al extracto acuoso que se obtiene por filtración al vacío de una pasta de suelo saturado hecha con agua destilada. El término "sales solubles del suelo" se usa en este método para referirnos a los constituyentes inorgánicos del suelo que son apreciablemente solubles en el agua. El extracto de saturación es una solución acuosa importante porque muchas propiedades del suelo como la composición de las sales solubles y la conductividad eléctrica del extracto de saturación están relacionadas con la respuesta de los cultivos a la salinidad.

### REACTIVOS

1. Agua destilada.
2. Solución de hexametáfosfato de sodio ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> al 0.1% (P/V). Disolver 0.1 g de ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> en agua y aforar a 100 ml.

### MATERIAL Y EQUIPO

1. Embudo Buchner
2. Línea de vacío
3. Bomba de succión
4. Tapón de hule monohoradado
5. Papel filtro Whatman No. 42 o su equivalente
6. Matraz kitazato
7. Tubo de plástico
8. Tubos de ensayo

### INTERFERENCIAS

Las muestras de suelo seco al aire no deberán secarse en la estufa antes de la extracción de sales solubles porque el calentamiento a 105°C convierte al menos una parte de yeso ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) en yeso de París ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) el cual tiene mayor solubilidad en agua que el anterior.

### PROCEDIMIENTO

1. Colocar un papel filtro Whatman No. 42 en el fondo de un embudo Buchner.
2. Ajustar un tapón de hule monohoradado al embudo Buchner.
3. Para coleccionar el extracto de saturación colocar un tubo de ensayo en el interior de un matraz kitazato.



4. Instalar el embudo con su tapón sobre el matraz kitazato de forma que el vástago del embudo quede alineado con la boca del tubo de ensayo que se encuentra en el interior del matraz.

5. Mediante un tubo de plástico conectar el matraz kitazato con una línea de vacío.

6. Conectar a la línea de vacío un dispositivo que contenga gel de sílica entre dicha línea y la bomba de succión para prevenir la condensación de humedad en la bomba.

7. Preparar una pasta de suelo saturado y colocarla en el matraz kitazato para la extracción de la solución.

8. Transferir la pasta al embudo Buchner y activar la bomba de vacío.

### PRETRATAMIENTO DEL EXTRACTO DE SATURACIÓN

Antes de guardar el extracto de saturación se debe agregar una gota de solución de ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> por cada 25 ml de extracto. Esto sirve para evitar la precipitación de carbonato de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) en el extracto durante el reposo.

### CONSERVACIÓN DEL EXTRACTO DE SATURACIÓN

Si los extractos no se van a analizar inmediatamente se conservarán a 4°C hasta que sean analizados.



## DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE SATURACIÓN POR GRAVIMETRÍA

### PRINCIPIO Y APLICACIÓN

Método para la determinación del porcentaje de saturación por el método gravimétrico.

1. Una pasta de suelo saturado es una mezcla particular de agua y suelo, por ejemplo la pasta de suelo brilla cuando refleja luz; fluye ligeramente cuando el recipiente se inclina y resbala libremente desde una espátula, excepto para aquellos suelos con alto contenido de arcilla. Esta relación suelo agua se usa porque representa la más baja relación reproducible, de la cual puede obtenerse por vacío bastante extracto para el análisis de cationes y aniones solubles y porque esta relación con frecuencia está implicada de una manera predecible con el contenido de humedad o capacidad de campo.

Después de la preparación de una pasta de saturación se obtiene un extracto acuoso que se usa en una serie de análisis químicos como pH, iones solubles y conductividad eléctrica.

2. El porcentaje de saturación es la cantidad de agua que un suelo retiene a saturación.

3. El porcentaje de saturación indica los gramos de agua que existen en un suelo a saturación, por cada 100 gramos masa de sólidos.

4. La reproducibilidad de la determinación del porcentaje de saturación (PS) es de 5%.

5. La reproducibilidad de los resultados del PS depende que el humedecimiento de la muestra se realice hasta el punto preciso de saturación completa.

6. La información del PS se utiliza también para estimar la textura y la salinidad del suelo a diferentes contenidos de humedad en el campo.

7. Se realiza una determinación de la humedad inicial del suelo seco al aire, para calcular el peso de sólidos del contenido en la pasta de saturación. El porcentaje de saturación se calcula a partir del peso de suelo seco a la estufa y la suma de los pesos de agua agregada y la presente inicialmente en la muestra seca al aire. Se prepara una pasta saturada agregando agua a una muestra de suelo y agitando la mezcla con una espátula hasta que la mezcla reúna el criterio de saturación.

### REACTIVOS

Agua destilada desionizada.

### MATERIAL Y EQUIPO

1. Botes de aluminio para secado.
2. Espátula de acero inoxidable con mangos de madera.
3. Balanza electrónica con sensibilidad de + 0.01 gramo.



4. Estufa controlada termostáticamente, 105 + 5°C.

5. Termómetro, 0 a 200°C.

6. Recipientes de plástico con tapadera hermética.

### INTERFERENCIAS

1. Si el contenido de agua es mayor o menor que el correspondiente al punto de saturación el resultado será afectado.

2. En el caso de los suelos arenosos la presencia de agua libre sobre la superficie de la pasta da una indicación de sobresaturación.

### PRETRATAMIENTO DE LA MUESTRA

1. Para la determinación del porcentaje de saturación utilice suelo secado al aire, tamizado por una malla de 2 mm de diámetro.

2. Determinar humedad.

### PROCEDIMIENTO

Para determinar el contenido inicial de humedad (Pw) de la muestra de suelo seco al aire, se procede de la siguiente manera:

1. Pesarse un bote vacío con su tapadera (A).

2. Pesarse en el mismo bote una muestra de cuando menos 25 g de suelo seco al aire, cribado por un tamiz de 2 mm de diámetro.

3. Registrar el peso del bote más suelo seco al aire (B).

4. Colocar el bote y su contenido en la estufa y secar durante 24 horas a 105°C, hasta peso constante.

5. Registrar el peso del bote más suelo seco a la estufa (C).

### CÁLCULOS

Para calcular el contenido de humedad (%H) de cualquier muestra de suelo al aire registre los siguientes datos:

1. Peso del bote con tapadera (A)

2. Peso del bote con suelo seco al aire (B)

3. Peso del suelo seco al aire (B-A)



4. Peso del bote con suelo seco a la estufa a 105°C (C)
5. Obtener el valor del porcentaje de humedad (%H) con la siguiente fórmula:

$$\%H = \frac{B - C}{C - A} * 100$$

**NOTA:** Todas las pesadas se realizan incluyendo la tapadera del bote.

Determinación del factor de humedad (fH) del suelo.

1. Pesar un bote de aluminio con su tapadera (A).
2. Colocar aproximadamente 5 g de suelo seco al aire en el bote de aluminio con su tapadera y luego pesar con precisión (B).
3. Colocar el bote y su contenido en la estufa a 105°C durante 24 horas hasta peso constante.
4. El bote con suelo seco a la estufa y debidamente tapado se dejan enfriar en un desecador.
5. Pesar el bote con tapadera y suelo seco a la estufa (C).

6. Obtener el valor del fH con la siguiente fórmula:

$$fH = \frac{C - A}{B - A}$$

**Donde:**

- A = Peso del bote con su tapadera  
B = Peso del bote con suelo seco al aire y tapadera  
C = Peso del bote con suelo seco a la estufa y tapadera.



#### PREPARACIÓN DE UNA PASTA DE SATURACIÓN PARA LA CUANTIFICACIÓN DEL PORCENTAJE DE SATURACIÓN.

1. En un recipiente de plástico con tapadera hermética, pesar de 200 a 400 g de suelo seco al aire de contenido de humedad conocido.
2. Registrar el peso de recipiente de plástico más suelo seco al aire.
3. Agregar agua destilada al suelo mezclando lo mejor posible con ayuda de una espátula, hasta alcanzar el punto aproximado de saturación.
4. Tapar el recipiente plástico que contiene la mezcla suelo-agua, dejar reposar durante varias horas para permitir que el suelo embeba agua y agregar más agua destilada hasta obtener una pasta de suelo-agua uniformemente saturada.
5. De vez en cuando la muestra debe consolidarse golpeando el recipiente con cuidado sobre la mesa de trabajo.
6. Al saturarse el suelo la pasta brilla debido a la reflexión de luz, fluye ligeramente si se inclina el recipiente y se desliza fácilmente en la espátula, excepto en el caso de suelos con alto contenido de arcilla.
7. Después de mezclar la muestra dejar reposar preferiblemente durante la noche o al menos durante 4 horas y posteriormente verificar el criterio de saturación. La pasta no debe acumular agua en la superficie, además puede perder su brillo o endurecerse durante el reposo.
8. Si la pasta de saturación ha perdido brillo o endurecido es necesario mezclar nuevamente agregando agua, si la pasta ha acumulado agua en la superficie es necesario agregar suelo seco al aire, registrando la cantidad de suelo agregada.
9. Una vez que se obtiene el punto de saturación pesar de nuevo el recipiente con su contenido y tapadera. Registre el aumento de peso que es la cantidad de agua agregada al suelo seco al aire.
10. Calcular el porcentaje de saturación (%S) del suelo de acuerdo al contenido de humedad inicial (%H), al peso de suelo seco a la estufa utilizada y a la cantidad de agua agregada al preparar la pasta de suelo.

#### CÁLCULOS

1. Peso de recipiente plástico con su tapadera (D)
2. Peso de recipiente plástico con su tapadera más suelo seco al aire (E)
3. Peso de suelo seco al aire (F) = E - D
4. Peso de suelo seco a estufa (G) = (E - D) fH
5. Contenido inicial de agua en el suelo seco al aire (H) = G (%H)
6. Peso de recipiente plástico con su tapadera más pasta de saturación (I)



7. Peso de agua agregada al suelo seco al aire para preparar la pasta de saturación (J) = I - E

8. Peso de agua agregada más agua presente desde el inicio (K) = J + H

9. Calcular el porcentaje de saturación del suelo (%S) con la fórmula siguiente:

$$\%S = \frac{J+H}{G} * 100$$

#### INFORME DE LA PRUEBA

1. El resultado de la prueba de humedad (%H) se reporta como gramos de agua que existen por cada 100 gramos de suelo seco a la estufa.

2. El factor de humedad (fH) se reporta como gramos sólidos de suelo que existen por cada gramo de suelo seco al aire.

3. El resultado de la prueba de porcentaje de saturación (PS) se reporta como gramos de agua por cada 100 gramos de suelo seco a la estufa.



## DETERMINACIÓN DEL PH DEL SUELO MEDIDO EN EL EXTRACTO DE SATURACIÓN CON UN POTENCIÓMETRO

### PRINCIPIO Y APLICACIÓN

Método para la determinación de la conductividad eléctrica del extracto de saturación de un suelo por medición electrolítica y una celda de conductividad como sensor.

1. El término extracto de saturación se usa en este método para designar al extracto acuoso que se obtiene por filtración al vacío de una pasta de suelo saturado hecha con agua destilada.

2. El término sales solubles del suelo se usa en este método para referirnos a los constituyentes inorgánicos del suelo que son apreciablemente solubles en el agua.

3. La conductividad eléctrica o conductancia específica de una solución es el recíproco de la resistencia específica de una corriente alterna medida entre las caras opuestas de un centímetro cúbico de una solución acuosa a una temperatura específica.

4. La conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEe) es uno de los índices más difundidos para evaluar la concentración salina del suelo a nivel de laboratorio.

5. El método es aplicable a suelos con un amplio rango de valores de conductividad eléctrica del extracto de saturación.

6. El extracto se puede diluir si el valor de la conductividad está fuera del rango de medición del conductímetro usado.

7. La conductividad eléctrica es una medida de la capacidad de un material para transportar la corriente eléctrica. Una solución acuosa que contiene iones tiene esa habilidad. La conductividad de una solución electrolítica depende de la concentración total de iones presentes en agua, de la movilidad de cada uno de los iones disueltos, su valencia y de la temperatura a la que se hace la determinación.

8. El principio por el cual los instrumentos miden conductividad es simple: dos placas de conductividad o electrodos se sumergen en la muestra, se aplica un potencial o voltaje a través de las placas y se mide la corriente que fluye entre las placas.

La conductancia eléctrica (C) se determina a partir de los valores del voltaje (V) y la corriente (I).

C I

$$C = \frac{I}{V}$$

La conductividad eléctrica (CE) se calcula multiplicando la conductancia medida por la constante de celda (L/A)

$$CE = C * \frac{L}{A}$$

Donde:



L = Longitud de la columna de líquido entre los electrodos (cm).  
A = Área de los electrodos (cm<sup>2</sup>).

La celda de conductividad es la parte del circuito que entra en contacto con la muestra.

La conductividad eléctrica del extracto de saturación (CE) se reporta en decisiemens por metro (dS/m).

#### REACTIVOS

1. Agua destilada.
  2. Solución estándar de KCl 0.010 N. disolver 0.7455 g de KCl en agua destilada y aforar a un litro. La conductividad eléctrica de esta solución a 25°C es 1.412 dS/m.
  3. Solución estándar de KCl 0.100 N. Disolver 7.4555 g de KCl en agua destilada y aforar a 1 L. La conductividad eléctrica de esta solución a 25°C es 12,900 dS/m. Antes de usar los medidores de conductividad éstos se deben calibrar a una conductividad estándar con una de las soluciones patrones indicados más arriba.
- Escoja la solución que se aproxima a la conductividad para calibrar el medidor escoja la solución de K que más se aproxime a la conductividad de la muestra.
4. Solución para el mantenimiento de la celda de conductividad. Un electrodo sucio polarizado se debe limpiar o replatinizar para renovar la superficie activa de la celda. Consulte el manual instructivo para el mantenimiento de la celda específica.

#### MATERIAL Y EQUIPO

1. Actualmente existe en el mercado una diversidad de instrumentos para medir conductividad eléctrica de soluciones. Estos medidores difieren en su rango de operación, exactitud, forma de corregir las lecturas de conductividad a una temperatura específica y precisión, por lo que se recomienda seguir las instrucciones del fabricante para la manipulación del instrumento.
2. Medidor de conductividad de lectura directa.
3. Celda de conductividad del tipo flujo con compensación automática de temperatura.

#### INTERFERENCIAS

1. La conductividad eléctrica del extracto de saturación aumenta cuando incrementa la temperatura razón por la cual los valores de la conductividad eléctrica deben ser corregidos a 25°C cuando son reportados.
2. Si el contenido de agua de la pasta saturada es mayor o menor que el correspondiente al punto de saturación las conductividades serán afectadas.
3. Para obtener resultados reproducibles los electrodos de la celda deben estar limpios y bien platinados.



#### PRECISIÓN Y EXACTITUD

Los valores de conductividad menores de uno son reportados con dos cifras decimales y los valores mayores de uno con tres cifras significativas en dS/m a 25°C.

#### CONSTANTE DE CELDA

1. Si la conductividad eléctrica de la solución de referencia de KCl está incorporada dentro del medidor para lecturas directas de conductividad, siga las recomendaciones del fabricante para la calibración.
2. Si el medidor seleccionado requiere que la constante de celda sea calculada, siga las instrucciones del instructivo del instrumento.

#### PROCEDIMIENTO

1. Lavar y llenar la celda de conductividad con solución de KCl.
2. Ajustar el medidor de conductividad para leer la conductividad estándar de la solución de KCl.
3. Lavar y llenar la celda con el extracto de saturación del suelo y leer la conductividad eléctrica del extracto corregido a 25°C.

#### CONTROL DE CALIDAD

Todo laboratorio que use este método deberá desarrollar protocolos de control de calidad que permitan monitorear continuamente el sesgo y la precisión de todas las determinaciones.

#### INFORME DE LA PRUEBA

Debe incluir lo siguiente:

- Identificación completa de la muestra.
- Conductividad eléctrica es decisiemens por metro (dS/m) a 25°C.
- Referencia a este método de prueba.
- Fecha de la prueba.

#### INTERPRETACIÓN DE CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

##### CE dS/m a 25°C Efectos

- < 1.0 Efectos despreciables de la salinidad
- 1.1 - 2.0 Muy ligeramente salino
- 2.1 - 4.0 Moderadamente salino
- 4.1 - 8.0 Suelo salino
- 8.1 - 16.0 Fuertemente salino
- > 16.0 Muy fuertemente salino



## DETERMINACIÓN DE CATIONES SOLUBLES EN EL EXTRACTO DE SATURACIÓN

### PRINCIPIO Y APLICACIÓN

Método para determinar los cationes solubles (Ca, Mg, Na y K) en el extracto de saturación por medición en un aparato de absorción atómica (Ca y Mg) y en un espectrofotómetro de flama (Na y K). El calcio y el magnesio solubles son medidos por espectrofotometría de absorción atómica y el potasio y el sodio por espectrofotometría de emisión atómica en los extractos diluidos. Las interferencias en las mediciones son eliminadas con lantano (La) y cesio (Cs) respectivamente.

### REACTIVOS

Los reactivos que a continuación se mencionan deben ser grado analítico cuando se hable de agua se debe entender agua desionizada o destilada. Las soluciones para este análisis deben almacenarse en recipientes de polietileno.

1. Solución de lantano acidificada. Pesar 7.742 g de  $\text{La}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$  en un matraz volumétrico de 250 ml, añadir algo de agua y 17.5 ml de  $\text{HNO}_3$  concentrado, aforar con agua.
2. Solución estándar de 1 g/l de Ca. Pesar 2.497 g de  $\text{CaCO}_3$  en un vaso de precipitado de 250 ml, añadir aproximadamente 100 ml de agua, y 12.5 ml de HCl 4M hervir para eliminar el  $\text{CO}_2$  (si permanecen partículas de  $\text{CaCO}_3$  añadir 2 ml más de HCl 4M). Enfriar y transferir la solución a un matraz volumétrico de un litro y aforar con agua.
3. Solución estándar de 100 mg/l de Mg. Pesar 1.013 g de  $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$  en un matraz volumétrico de un litro y aforar con agua.
4. Solución estándar mezclada, 100 mg/l de Ca y 10 mg/l de Mg tomar 10 ml de la solución estándar de 1000 mg/l de Ca y 10 ml de la solución estándar de 100 mg/l de Mg en un matraz volumétrico de 100 ml y aforar con agua.
5. Solución diluida de lantano acidificada. Tomar 50 ml de la solución de lantano acidificada en un matraz volumétrico de 500 ml y aforar con agua.
6. Solución de cloruro de cesio acidificada. Disolver 11.12 g de  $\text{CsCl}$  y 250 g de  $\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$  en aproximadamente 500 ml de agua en un matraz volumétrico de 1000 ml, añadir 20 ml de  $\text{HNO}_3$  2 M y aforar con agua.
7. Solución estándar de 1000 mg/l de K y 400 mg/l de Na. Disolver 1.9065 g de KCl y 1.0168 g NaCl en agua en un matraz volumétrico de 1000 ml y aforar con agua.
8. Solución estándar diluida de 100 mg/l de K y 40 mg/l de Na. Pipetear 25 ml de la solución estándar en un matraz volumétrico de 250 ml, aforar con agua.



### MATERIAL Y EQUIPO

1. Material común de laboratorio.
2. Espectrofotómetro de absorción atómica.
3. Espectrofotómetro de emisión atómica (flamómetro).

### DETERMINACIÓN DE Ca Y Mg

1. Series estándar. Pipetear 0, 2.0, 3.0, 4.0 y 5.0 ml, respectivamente, de la solución estándar mezclada en seis matraces volumétricos de 100 ml y agregar 5.0ml de tiourea 0.1 M y 9.5 ml de la solución diluida de lantano y aforar con agua. La concentración de las series estándar es de: 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 y 0.5 mg/l de Mg y 0, 1, 2, 3, 4 y 5 mg /L de Ca.
2. Pipetear 2 ml del extracto de saturación en un tubo de ensaye, añadir 2 ml de la solución de lantano y homogeneizar.
3. Medir el Ca y Mg en el aparato de absorción atómica a una longitud de onda de 422.7 y 285.2 nm, respectivamente.

### Cálculos

$$\text{Ca soluble mmol / l} = \frac{d(a - b)}{\text{PE}}$$

$$\text{Mg soluble mmol/l} = d(a - b)$$

Donde:

a = mg/l de Ca o Mg en el extracto diluido

b = mg/l en el blanco

d = Factor de dilución

PE = Peso equivalente (Ca = 20 y Mg = 12.15).

### DETERMINACIÓN DE Na Y K

1. Serie estándar de Na y K. Pipetear 0, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0 y 5.0 ml de la solución estándar diluida en seis matraces volumétricos de 100 ml, respectivamente, añadir un poco de agua, 10 ml de tiourea 0.1 M y 9 ml de la solución de CsCl aforar con agua y mezclar. Esta serie estándar tiene concentraciones de: 0, 1, 2, 3, 4 y 5 mg/l de K y 0, 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 y 2 mg/l de Na.
2. Pipetear 2 ml del extracto de saturación en un tubo de ensaye, añadir 2 ml de la solución de Cs y homogeneizar.



3. Medir Na y K en el espectrofotómetro de emisión atómica a una longitud de onda de 589 y 766.5 nm, respectivamente.

#### Cálculos

$$\text{Na soluble mmol/l} = \frac{d(a-b)}{\text{PE}}$$

$$\text{K soluble mmol/l} = \frac{d(a-b)}{\text{PE}}$$

#### Donde:

a = mg/l de Na o K en el extracto diluido

b = mg/l en el blanco

d = Factor de dilución

PE = Peso equivalente (Na = 23.0 y K = 39.1)



## LA DETERMINACIÓN DE ANIONES SOLUBLES EN EL EXTRACTO DE SATURACIÓN

### PRINCIPIO Y APLICACIÓN

Método para determinar los aniones solubles (cloruros, carbonatos, bicarbonatos y sulfatos) en el extracto de saturación, por titulación volumétrica, los tres primeros y por turbidimetría, el último. Los aniones que se encuentran principalmente en extractos acuosos de suelos (aniones solubles) son los carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros y en menor cantidad nitratos, silicatos y fosfatos. Para la determinación de  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{Cl}^-$  se pueden utilizar métodos volumétricos con una cierta exactitud. Pueden ser determinados por gravimetría o turbidimetría.

### REACTIVOS

1. Ácido sulfúrico 0.05 N. Diluir 3 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado en 100 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  destilada y aforar a 2000 ml valorado.
2. Disolución de carbonato de sodio 0.05 N. Séquese entre 3-5 g de carbonato de sodio material de referencia certificado a 250°C durante 4 h y enfríese en desecador. Pese 2.5 g y transfírase a un matraz volumétrico de 1000 ml, diluya con agua y llévese hasta la marca con agua destilada. No debe conservarse más de una semana.
3. Valoración del ácido sulfúrico 0.05 N con material de referencia certificado de carbonato de sodio. Tome 50 ml de agua, adicione 2-3 gotas de fenolftaleína hasta el vire de rosa a incoloro.
4. Fenolftaleína al 1% con etanol al 85%. Preparar 100 ml.
5. Anaranjado de metilo al 0.1% en agua destilada. Preparar 100 ml.
6. Agua destilada.
7. Cromato de potasio al 5%. Preparar 100 ml.
8. Nitrato de plata 0.025 N. Pese 4.2468 g de  $\text{AgNO}_3$  en un matraz volumétrico de 1 L y lleve al volumen con agua.
9. Cloruro de Bario Dihidratado. ( $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ).
10. Solución acondicionadora. Disolver 75 g de NaCl en 275 ml. de agua destilada en un matraz de 500 ml con un agitador magnético, añadir 30 ml de HCl concentrado, 50 ml de glicerol, 100 ml etanol al 96%; afore a 500 ml.
11. Solución estándar de sulfato de potasio (a partir de materiales de referencia certificados). Disolver 0.0871 g de sulfato de potasio ( $\text{K}_2\text{SO}_4$ ) en 1000 ml de agua destilada.

### MATERIAL Y EQUIPO

1. Material común de laboratorio.



2. Agitador electromagnético.
3. Fotocolorímetro.

#### DETERMINACIÓN DE CARBONATOS $\text{CO}_3^{2-}$

1. Tomar 5 ml del extracto de saturación en un matraz Erlenmeyer de 125 ml.
2. Agregar 15 ml de agua destilada.
3. Añadir 2 a 3 gotas de fenoltaleína.
4. Si presenta un color rosado, titular con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.05 N hasta la desaparición del color ( $T1_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ ).

#### DETERMINACIÓN DE BICARBONATOS $\text{HCO}_3^-$

1. Al matraz procedente de la titulación con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  añadirle 3 gotas de anaranjado de metilo.
2. Seguir la titulación con el  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0.05 N. hasta un cambio de coloración de naranja a canela ( $T2_{\text{H}_2\text{SO}_4}$ ).

#### Cálculos

$$\text{mmol/l de CO}_3^{2-} = \frac{2 T1_{\text{H}_2\text{SO}_4} \times (\text{N del H}_2\text{SO}_4) \times 1000}{\text{ml Alicuota}}$$

$$\text{mmol/l de HCO}_3^- = \frac{(T2_{\text{H}_2\text{SO}_4} - 2T1_{\text{H}_2\text{SO}_4}) \times (\text{N del H}_2\text{SO}_4) \times 1000}{\text{ml Alicuota}}$$

#### DETERMINACIÓN DE CLORUROS $\text{Cl}^-$

1. Tomar 5 ml del extracto de saturación en un matraz Erlenmeyer de 125 ml
2. Agregar 15 ml de agua destilada
3. Adicionar 4 gotas de indicador cromato de potasio
4. Titular con  $\text{AgNO}_3$  0.025 N. hasta un cambio de color de amarillo a rojo ladrillo

#### Cálculos

$$\text{mmol/l de Cl}^- = \frac{(\text{ml de AgNO}_3) \times (\text{N de AgNO}_3) \times 1000}{\text{ml Alicuota}}$$



#### DETERMINACIÓN DE SULFATOS $\text{SO}_4$

Preparación de la curva de calibración de la solución estándar de  $\text{SO}_4^{2-}$  de 1 Cmol/l, se tomarán alícuotas que serán llevadas a un volumen de 100 ml en matraces aforados con agua destilada, de acuerdo a la siguiente tabla:

me/l de $\text{SO}_4$	ml de solución estándar de 1 me
0.0	0
0.1	10
0.2	20
0.3	30
0.4	40
0.5	50
Afore a 100 ml (con agua destilada)	

1. En un matraz volumétrico de 100 ml, agregar una alícuota de 10 ml del extracto con una pipeta volumétrica y afore a 100 ml con agua destilada.
2. Vacíelo a un matraz Erlenmeyer de 125 ml y adicione 5 ml de solución acondicionadora y aproximadamente 0.2 g de  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .
3. Agite en un agitador electromagnético durante 60 segundos.
4. Lea inmediatamente en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 340 nm.
5. Previamente lea la curva de calibración agregando el contenido de los matraces de 100 ml a matraces Erlenmeyer de 125 ml y adicione 5 ml de solución acondicionadora y aproximadamente 0.2 g de  $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .
6. Agite y lea en el espectrofotómetro como se indicó para las muestras.
7. Si la lectura de las muestras se sale del rango de la curva de calibración haga una dilución.

#### Cálculos

Graficar la curva de calibración en papel milimétrico, y determine la concentración de  $\text{SO}_4^{2-}$  por interpolación. Si efectuaron diluciones multiplicar por el factor correspondiente.

$$\text{mmol/l de SO}_4^{2-} = a \times 10 \times d$$

#### Donde:

- a = Cmol/l calculados en la curva de calibración.  
10 = Factor de dilución de la curva (100/10).  
d = Factor de dilución de la muestra (si la hubo).



**MEDICIÓN DEL PORCENTAJE DE SATURACIÓN DE BASES (PSB), RELACIÓN DE ADSORCIÓN DE SODIO (RAS) Y PORCENTAJE DE SODIO INTERCAMBIABLE (PSI).**

**PRINCIPIO Y APLICACIÓN**

Método para determinar el porcentaje de saturación de bases, relación de adsorción de sodio (RAS) y porcentaje de sodio intercambiables (PSI), por medio de un cálculo matemático. En taxonomía de suelos se utiliza como uno de los criterios para definir algunos horizontes (mólico y úmbrico y las subdivisiones eutrico y dístrico). Para esta determinación se utiliza una fórmula matemática en la cual se sustituyen los valores de las bases extraídas con acetato de amonio 1 N pH 7, así como la CIC obtenida con el mismo reactivo.

**CÁLCULOS**

$$PSB = \frac{\text{Suma de bases extraíbles con acetato de amonio } \text{Cmol/kg}}{CIC \text{ Cmol/kg}} \times 100$$

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca + Mg}{2}}}$$

**Nota:** Para obtener el RAS los iones se cuantifican en el extracto de la pasta de saturación y se expresan en mmoles/l.

$$PSI = \frac{Nai}{100} \times 100$$

**Donde:**

Nai = sodio intercambiable (C mol/kg)



**BIBLIOGRAFIA**

NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-021-SEMARNAT-2000 QUE ESTABLECE LAS ESPECIFICACIONES DE FERTILIDAD, SALINIDAD Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS, ESTUDIO, MUESTREO Y ANÁLISIS.