

Departamento de
Agricultura

Servicio de
Investigación
Agrícola

Servicio de
Conservación de
Recursos Naturales

Instituto de Calidad
de Suelos

Agosto, 1999

Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo



El uso de nombres de marcas y firmas es solamente para información del lector, y no constituye apoyo o recomendación por parte del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, ni implica endorso por el Departamento o el Servicio de Conservación de Recursos Naturales de algún producto comercial o servicio en particular.

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de Norteamérica (USDA) prohíbe la discriminación, en sus programas, que se fundamente en raza, color, nacionalidad, sexo, edad, „incapacidad, creencias políticas, orientación sexual y estado civil. (No todos estos conceptos se aplican a todos los programas). Personas con incapacidades que requieran formas alternativas de comunicación para pedir información sobre los programas (Braille, letras tamaño grande, cintas de grabador, etc.) deberán contactarse con el Centro de Objetivos del Departamento de Agricultura de los EE.UU. (USDA's TARGET Center), al teléfono (202) 720-2600 (voz y TDD).

Para enviar una queja por discriminación, escribir a USDA, Director de Derechos Civiles (Office of Civil Rights, Room 326 W, Whitten Building, 14th and Independence Avenue, SW, Washington, DC 20250-9410, o llamar al (202) 720-5964 (voz o TDD). El USDA es un empleador y proveedor que brinda iguales oportunidades a todos.

Indice

	Página
Prefacio	iii
Sección 1- Procedimientos para las Mediciones:	
1. Mediciones de la calidad del suelo: se discuten el muestreo y la caracterización del sitio	1
2. Ensayo de Respiración del Suelo: es índice de la actividad biológica del suelo.	4
3. Ensayo de infiltración: mide la capacidad del suelo de absorber agua a través de la superficie del suelo.	7
4. Ensayo de densidad aparente: mide la compactación del suelo o espacio de poros.	9
5. Ensayo de conductividad eléctrica (CE): mide la concentración salina en el suelo.	14
6. Ensayo de pH: mide la acidez o alcalinidad del suelo.	15
7. Ensayo de nitratos del suelo: mide el nivel de nitratos del suelo.	16
8. Ensayo de estabilidad de Agregados: mide la cantidad de agregados estables en agua.	18
9. Ensayo de desleimiento: estima la estabilidad de los fragmentos del suelo en agua.	20
10. Ensayo de lombrices: mide la cantidad de lombrices en el suelo.	22
11. Estimaciones y observaciones de física del suelo: muestran cómo observar la estructura del suelo y los patrones radiculares y cómo se estima el espesor del horizonte superior, resistencia a la penetración y textura del suelo en el perfil.	23
12. Ensayo de la calidad del agua: estima salinidad y niveles de nitrato/nitrito en el agua.	28

Apéndice:	Página
A. Referencias.	30
B. Respiración del suelo (método alternativo)	31
C. Mantenimiento y Calibración del Medidor de CE y del pH	33
D. Construcción de un Equipo de Medición de Calidad del Suelo.	35
E. Hoja de datos para la Descripción del Sitio.	41
F. Hojas de trabajo para datos sobre calidad del Suelo.	43

Sección II – Guía de Antecedentes e Interpretativas para Ensayos Individuales:

Introducción	51
1. Respiración del Suelo	52
2. Infiltración	55
3. Densidad Aparente	57
4. Conductividad Eléctrica (CE)	59
5. PH del suelo	63
6. Nitratos del Suelo	67
7. Estabilidad de Agregados	69
8. Desleimiento del Suelo	72
9. Lombrices.	73
10. Observaciones y estimaciones de Física de Suelos	75
11. Calidad del Agua	79
Salinidad del Agua	
Niveles de nitratos/nitritos en el agua	

Prefacio

El Instituto de Calidad de Suelos reconoce, con sincero aprecio, la ayuda de Manuel Rosales, Agronomo Conservacionista del Servicio de Conservacion de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, por revisar e editar la traduccion al Espanol del " Soil Quality Test Kit Guide".

Calidad del suelo es definida, simplemente, como la "capacidad de funcionar de un específico tipo de suelo". En general es evaluada midiendo un grupo mínimo de datos de propiedades del suelo para estimar la capacidad del suelo de realizar funciones básicas (por ej. mantener la productividad, regular y separar agua y flujo de solutos, filtrar y tamponar contra contaminantes, y almacenar y reciclar nutrientes). Esta guía describe un equipo para realizar ensayos seleccionados de campo para evaluar, o indicar el nivel, de una o más funciones del suelo.

Al medir la calidad del suelo es importante evaluar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Las propiedades físicas analizadas por este equipo incluyen densidad aparente, contenido de agua, velocidad de drenaje, desleimiento y estimaciones morfológicas. Entre las propiedades biológicas estudiadas se encuentran respiración del suelo y lombrices. Las propiedades químicas incluyen pH, conductividad eléctrica (CE) y niveles de nitratos.

Los ensayos químicos también son útiles para evaluar la calidad del agua en los pozos, en drenes y en otros cuerpos de agua relacionados con la actividad agropecuaria.

La Sección I de esta guía provee una lista de instrumentos e instrucciones que permite llevar a cabo una serie de chequeos in situ para evaluar la calidad del Suelo. La Sección II provee antecedentes e información interpretativa para cada uno de los ensayos en la sección I.

Estos chequeos, o indicadores, fueron diseñados como instrumento de control para proveer resultados inmediatos para comparar sistemas de manejo, monitorear la calidad del suelo a lo largo del tiempo, y para diagnosticar posibles problemas de la calidad del suelo debidos al uso y manejo de las tierras. Estos ensayos pueden ser fácilmente llevados a cabo in situ por personal de campo del NRCS (Servicio de Conservación de los Recursos Naturales) o por los mismos dueños de las fincas, para evaluar la calidad de sus suelos. El uso del equipo permite a los integrantes del NRCS constituirse en activos participantes, junto con los dueños de los campos, en la evaluación de la calidad del suelo. La evaluación brindará la oportunidad de discutir opciones de manejo cuando surja esta necesidad.

El equipo fue desarrollado por John Doran y colegas (Servicio de Investigación Agrícola, Lincoln, Nebraska). El Instituto de Calidad de Suelos (con colegas del personal del NRCS), han continuado el desarrollo, mejoramiento, y chequeo del equipo, agregando ensayos, modificando el manual, y redactando una guía de interpretaciones. El Equipo de Calidad de Suelos del NRCS en Colorado (Manuel Rosales, Josh Saunders, and Mike Sucik) aportaron su apoyo haciendo ensayos de campo y proveyendo sugerencias para mejorar la guía e interpretaciones. La guía del equipo de control de Calidad de Suelo es un documento dinámico. El Instituto le da la bienvenida a las sugerencias sobre ensayos adicionales e información interpretativa, para se incorporadas en versiones futuras de la guía.

El Instituto agradece las contribuciones de las siguientes personas: John Doran, USDA-ARS, Lincoln, NE, por el desarrollo del equipo original de chequeo de la calidad del suelo, sobre el que esta guía está basada. Bob Grossman, USDA-NRCS, NSSC, Lincoln, NE, por el desarrollo del índice de la estructura del suelo y los ensayos de resistencia a la penetración. Jeff Herrick, USDA-ARS, Las Cruces, NM, por el desarrollo del texto de desleimiento del suelo y el diseño del ensayo de estabilidad de agregados. Dennis Linden, USDA-ARS, St Paul, MN, por el desarrollo del método para las lombrices. Bob Hanafin, Universidad de Auburn, por el desarrollo del diseño y presentación de esta guía. Cathy Seybold y Lee Norfleet, USDA-NRCS, Instituto de Calidad de Suelos, por el desarrollo de esta guía y el chequeo de los procedimientos del equipo.

La misión del Instituto de calidad de Suelos es colaborar con colegas para el desarrollo, adquisición y disseminación de informaciones y tecnología de calidad del suelo, para ayudar a las personas conservar y mantener nuestros recursos naturales y el medio ambiente.

Por mayor información acerca del Instituto de la Calidad de Suelos y de sus productos y servicios, visite nuestro sitio en la red, en <http://soils.usda.gov/sqi>.

Personal del Instituto de Calidad de Suelos.

Traducción al Español del:

“Soil Quality Test Kit Guide”

Realizada por los investigadores:

Alberto Luters

Juan Carlos Salazar Lea Plaza del:

**“Area de Cartografía de Suelos y
Evaluación de Tierras”**

**Instituto de Suelos
CRN – CNIA – INTA**

ARGENTINA

Julio, 2000

Agradecimientos

La diagramación de esta guía ha sido realizado por la sra. Lucia Escudero, la caratula del CD ha sido confeccionada por el Arq. Juan Carlos de la Fuente a quienes agradecemos el encomiable esfuerzo realizado.

1. Medición de la Calidad del Suelo.

La calidad del suelo abarca los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo y sus interacciones. Por esto, para captar la naturaleza holística de la calidad, o salud, del suelo, deberán ser medidos todos los parámetros. Sin embargo, no todos los parámetros tienen la misma relevancia para todos los suelos, o situaciones. Por ejemplo, el test de CE para salinidad puede no ser útil en el sector oriental de los EEUU, donde la salinidad no es problema. Un grupo mínimo de propiedades del suelo, o indicadores, de cada uno de los tres componentes del suelo son seleccionados sobre la base de su aptitud para indicar la capacidad del suelo para funcionar en usos y climas determinados. Los indicadores del equipo de calidad del suelo son seleccionados primariamente para evaluar la calidad agrícola del suelo. El equipo debería ser usado como un instrumento de análisis para detectar la tendencia o dirección general de la calidad del suelo: si los actuales sistemas de manejo están conservando, mejorando o degradando el suelo. El adecuado uso del equipo y la correcta interpretación de los resultados dependen de lo bien que sean interpretados los indicadores con relación a uso de las tierras y objetivos ecológicos.

Existen dos formas básicas para evaluar la calidad del suelo:

- hacer mediciones periódicamente, a lo largo del tiempo, para monitorear cambios o tendencias en la calidad del suelo;
- comparar valores medidos con los de una condición del suelo estándar o de referencia.

Empleando las dos formas de evaluar la calidad del suelo, el equipo puede ser usado para:

- realizar comparaciones entre distintos sistemas de manejo para determinar sus respectivos efectos sobre la calidad del suelo;
- realizar mediciones en un mismo lote a lo largo del tiempo para monitorear las tendencias de la calidad del suelo, determinadas por el uso y manejo del suelo;
- comparar áreas problema dentro de un predio, con áreas sin problemas;
- comparar valores medidos con condiciones edáficas de referencia o con el ecosistema natural.

Caracterización del Lote o Sitio

Es importante obtener tanta información sobre el sitio y los suelos como sea posible. Los indicadores de la calidad del suelo deben ser evaluados dentro del contexto de las características del sitio, y climáticas. Una hoja, para registrar una “Descripción de sitio para calidad del suelo”, debe ser llenada durante la evaluación de calidad edáfica. Se la encuentra en el apéndice. Los siguientes son detalles que deberían ser considerados cuando se realiza una estimación de calidad del suelo a campo:

Serie de Suelos: El nombre de la serie puede encontrarse en el relevamiento edáfico del condado.

Signos de erosión: Signos de erosión incluyen cárcavas, surcos, desarrollo de pedestales, áreas expuestas de subsuelo, daño a plantas por materiales transportados por el viento, etc.

Historia de manejo: este ítem incluye una descripción del manejo pasado y presente de tierras y cultivos; tipo, volumen y método de fertilización; uso previo; y nivelado de tierras.

Pendiente y aspectos topográficos del predio: Registre porcentaje de la pendiente en los sitios de muestreo dentro del lote, y mencione lomas, elevaciones, depresiones, pozos etc.

Locación del lote y de las áreas de muestreo: Incluya Longitud y Latitud (si hay una unidad GPS disponible), una indicación sobre la ubicación (metros de distancia desde un sitio de referencia), y un dibujo del predio mostrando las áreas de muestreo.

Información climática: Este ítem incluye precipitaciones y temperaturas promedio altas y bajas para cada mes (datos de un condado son suficientes).

Ubicación de áreas ecológicamente sensibles: Este ítem incluye la locación de lagunas, cauces, zonas muy húmedas y otros sitios ecológicamente frágiles adyacentes al predio en cuestión.

Lineamientos para el Muestreo

Importante: Cuándo, dónde y cuán profundo debe ser el muestreo, y qué cantidad de muestras hay que tomar, depende primariamente de las preguntas y problemas que plantea el administrador de la finca o de los campos.

¿Cuándo debe muestrearse?

El momento del muestreo es importante, pues las propiedades del suelo varían con las estaciones y con las operaciones de manejo, como la labranza. Usualmente, para la evaluación general de la calidad del suelo, se recomienda un muestreo por año de un predio. El muestreo anual permite la detección de cambios a largo plazo en la calidad edáfica. Un buen momento para muestrear es aquel en el que el clima está más estable, y durante el cual el suelo no fue disturbado, tal como después de la cosecha o hacia el final del período de crecimiento.

¿Dónde Muestrear?

Una consideración importante al determinar dónde muestrear en un lote es la variabilidad del área. Las propiedades del suelo naturalmente varían a lo largo de un lote y hasta a lo largo de un mismo tipo de suelo. La variabilidad edáfica también es afectada por las operaciones de manejo. Las características generales a considerar dentro del predio son:

- áreas de surcos y de intersurcos,
- diferencias en el tipo de suelo,
- diferencias de manejo
- áreas con y sin paso de maquinarias,
- diferencias en el crecimiento de cultivos,
- áreas afectadas por salinidad versus áreas no afectadas,
- diferencias en la pendiente, y
- áreas húmedas versus áreas no húmedas (drenaje).

Algunos lineamientos generales para la elección de sitios de muestreo son los siguientes:

- (1) Para una estimación general de la calidad del suelo seleccione sitios de muestreo dentro de un lote que sean representativos del lote. Recorra a mapas de suelo del área, para identificar diferencias y variaciones entre tipos de suelos, dentro de la unidad de mapeo

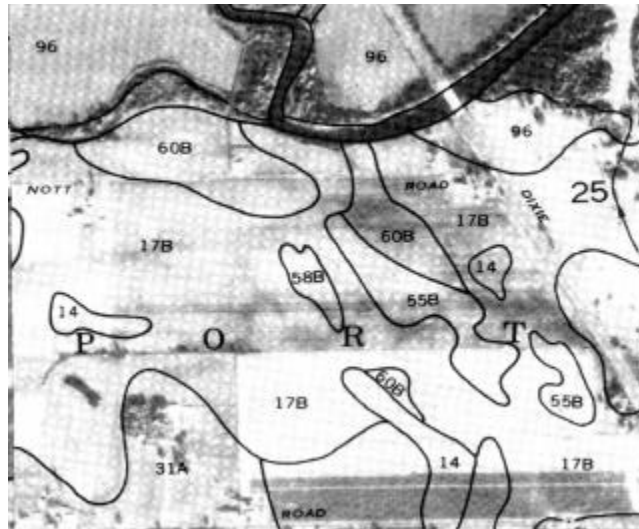


Figura 1.1.

(Figura 1.1). Un barreno de mano puede ser usado para hacer una serie de perforaciones con el fin de establecer las ubicaciones de las áreas más representativas del lote.

- (2) Para la evaluación de los sitios problemáticos dentro de un lote, muestree áreas que sean representativas de estos sitios problema (Figura 1.2)
- (3) Al comparar sistemas de manejo, asegúrese que los sitios elegidos para la comparación estén localizados en el mismo tipo de suelo y en los mismos rasgos topográficos. Por ejemplo, si los sitios en un lote se miden sobre huellas de maquinarias, en el otro lote los sitios de muestreo deberán corresponder, también, a huellas de maquinarias.
- (4) Al monitorear cambios, con el paso del tiempo, en la calidad del suelo, asegúrese que cada vez se midan los mismos sitios dentro del lote. Asimismo, trate de realizar las medidas en iguales condiciones de humedad para reducir la variabilidad

En algunos casos puede ser conveniente comparar sitios de muestreo a lo largo de un gradiente de tipos de suelo, de humedad, pendiente, u otros rasgos, en lugar de hacer la observación en un solo punto (Figura 1.3).

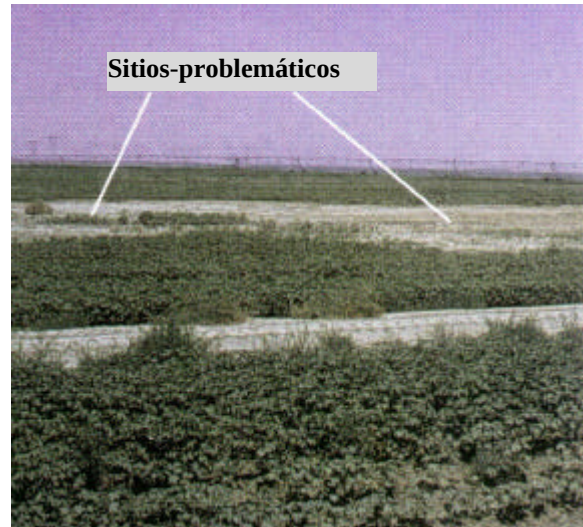


Figura 1.2

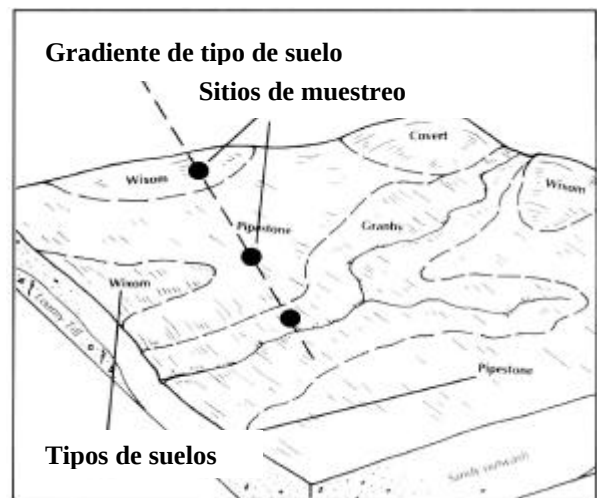


Figura 1.3

¿Cuántas Muestras?

El número de muestras o medidas a tomar dependerá de la variabilidad en el campo. Se recomienda la recolección de **un mínimo de tres muestras o mediciones** de cada una de las combinaciones de tipo de suelo y manejo. En general, cuanto mayor sea la variabilidad mayor será el número de medidas necesarias para conseguir un valor representativo a la escala de lote. Al medir CE, pH, y nitratos del suelo a escala de lote, ocho o nueve muestras de barreno, tomadas a través del lote, podrán ser agrupadas y mezcladas, y dos submuestras, de este material mezclado, analizadas. Al tomar muestras a través de un lote, manténgase apartado de áreas manifiestamente diferentes y que no sean representativas del lote, tales como caminos de tierra y bordes del lote, bandas de fertilización, sectores ubicados a menos de 150 pies (45 metros con 72 cm.) de un camino mejorado, baches, sectores erosionados, etc.

2. Ensayo de la Respiración del Suelo.

Para un muestreo eficiente, el ensayo de respiración se realiza primero, seguido por el ensayo de infiltración (capítulo 3), sin sacar el anillo de 6 pulgadas. El mejor momento para realizar el ensayo de respiración del suelo es cuando el suelo se halla a capacidad de campo (cantidad de agua que el suelo puede retener después de ser drenado). Alternativamente la respiración del suelo puede ser medida antes y después de medir la infiltración o de la humectación del suelo (6 a 24 horas luego de la humectación).

Materiales Necesarios para Medir la Respiración:

- Anillo de 6 pulgadas de diámetro
- Tapa con tapones de goma
- Maza, y bloque de madera
- Termómetro de suelo
- 2 secciones de tubería plástica
- tubos Draeger
- jeringa de 140 cm³
- cronómetro, o programador de horario

¿Lo Sabía?

¡El suelo respira! La respiración del suelo es un indicador de la actividad biológica (por ej. de microbios y raíces). Esta actividad es tan importante para el ecosistema edáfico como lo son pulmones sanos para nosotros. Sin embargo, mayor actividad no es siempre mejor; puede indicar inestabilidad del sistema (por ej. después de la labranza).

Consideraciones: La actividad microbiana es mayor cuando el suelo está húmedo (a, o cerca de, la capacidad de campo). Si el suelo está seco se deberá realizar una segunda medida de respiración luego de un mínimo de seis horas (preferentemente 16 a 24 horas) después del ensayo de infiltración, o de la humectación del suelo. Si el suelo está saturado se inhibe la respiración y el ensayo no puede ser efectuado.

① Clavar el anillo en el suelo.

- Limpie el área del muestreo de residuos superficiales. Si el sitio está cubierto con vegetación, corte ésta tan cerca de la superficie como sea posible.
- Usando la maza y el bloque de madera, clave el anillo de 6 pulgadas, con el borde biselado hacia abajo, hasta una profundidad de tres pulgadas (línea marcada en el exterior del anillo) (Figura 2.1).



Figura 2.1

- Si el suelo contiene fragmentos de roca, y el anillo no puede clavarse hasta la profundidad mencionada, empuje cuidadosamente el anillo dentro del suelo hasta tocar un fragmento rocoso. Mida la altura de la superficie del suelo hasta el tope del anillo, en centímetros (cm). (Lea la nota que sigue.)

Nota: Para una medida más precisa de la respiración del suelo se debe medir el espacio vacío en la parte superior del anillo. Dentro del anillo, haga cuatro mediciones (a intervalos similares) de la distancia del borde superior del anillo hasta la superficie del suelo y calcule el promedio. Registre el promedio en la hoja de trabajo sobre Datos del Suelo.

② Cubra el Anillo con la Tapa y Espere.

- Cubra el anillo con la tapa, tal como se ilustra en la **Figura 2.2**, y anote la hora.
- Espere exactamente 30 minutos * (para permitir que el CO₂ se acumule dentro del anillo).

[Si ésta es la **segunda** medida de respiración, remueva por unos momentos la tapa, para permitir el escape de los gases que se acumularon a lo largo del período de espera de 6-24 horas. Proceda con la etapa 3].

- **NOTA:** Durante la espera de 30 minutos, se pueden realizar otros ensayos, tales como el de Densidad Aparente.

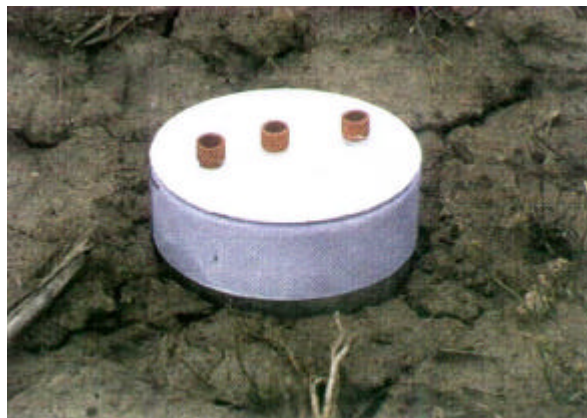


Figura 2.2

③ Insertar Termómetro de Suelos

- Inserte el termómetro de suelos dentro del suelo adyacente al anillo con tapa (a una distancia de aproximadamente una pulgada (2.54 cm) del anillo, y hasta una profundidad de 2.54 cm). Si el termómetro puede ser fácilmente insertado en los tapones de goma, insértelo en uno de ellos hasta una profundidad de 2.54 cm dentro del suelo.

④ Conectando el tubo Draeger

- Realice la conexión con el tubo Draeger justo antes de finalizar la espera de 30 minutos.
- Conecte una aguja a un tubo de goma.
- Rompa ambos extremos del tubo de Draeger, ya sea usando el agujero en el mango de la jeringa tal como se indica en la **Figura 2-3**, o empleando un alicate para uñas.
- Conecte el tubo Draeger al otro extremo del tubo de goma. La flecha en el costado del tubo Draeger debe apuntar en dirección contraria a la de la conexión con la aguja. Conecte el tubo Draeger al otro extremo del tubo de goma. La flecha en el costado del tubo Draeger debe apuntar en dirección contraria a la de la conexión con la aguja
- Con un segundo tubo de goma conecte el tubo Draeger con la jeringa, tal como se muestra en la **Figura 2-4**.



Figura 2.3



Figura 2.4

⑤ Inserte la Aguja en el Tapón.

Luego de 30 minutos inserte la aguja del aparato con tubo Draeger en un tapón, tal como se indica en la **Figura 2.5**, Inserte una segunda aguja en uno de los otros tapones de la tapa, para permitir el flujo del aire hacia el espacio debajo de la tapa, durante el tiempo en que se realiza el muestreo del gas. La segunda aguja deberá ser insertada justo antes de que se muestree el gas.



Figura 2.5

⑥ Toma de Muestra de Aire

Por un lapso de 15 segundos, jale el mango de la jeringa hasta la lectura 100 cm^3 ($1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ mL}$), como se muestra en la **Figura 2.5** (Si la lectura es menos de 0,5%, tome, a través del mismo tubo Draeger, cuatro muestras adicionales de 100 cm^3 del espacio bajo la tapa. Para hacer esto, desconecte el tubo de la jeringa para sacar el aire y conecte nuevamente el tubo a la jeringa.

Tome otra muestra de 100 cm^3 . (Repita el procedimiento).

⑦ Registre la Temperatura del Suelo y el Porcentaje de CO_2 .

En la hoja de trabajo Datos de Suelos registre la temperatura en Celsius al momento del muestreo. En el tubo de Draeger lea la columna "1" si se muestrearon 100 cm^3 , o la columna "n=5" si se muestrearon 500 cm^3 . El porcentaje de CO_2 está indicado por el máximo avance del color púrpura en el tubo Draeger. Asiente esa lectura en la hoja de trabajo Datos de Suelos. En el ejemplo de la Figura 2.6 la lectura sería aproximadamente 0.75%.



Figura 2.6

⑧ Sacar la tapa.

Saque el termómetro, la aguja del aparato con tubo Draeger, la aguja para flujo de aire, y la tapa del anillo.

Si se trata de la **primera** medición de respiración deje el anillo dentro del suelo para la **medida de infiltración** (Capítulo 3).

Consejos para el mantenimiento: Selle cualquier agujero en la tapa, que pueda causar pérdidas. También, para prevenir pérdidas, reemplace los tapones en la tapa si están muy usados o flojos.

CÁLCULOS:

Respiración del Suelo ($1b \text{ CO}_2 - \text{C/acre/día}$) = $\text{PF} \times \text{TF} \times (\% \text{ CO}_2 - 0.035) \times 22.91 \times \text{H}$

PF = factor de presión = 1

TF = factor de temperatura = $\frac{(\text{temperatura del suelo en Celsius}) + 273}{273}$

H = altura en parte interna del anillo = 5.08 cm (2 pulgadas)

3. Ensayo de Infiltración:

El ensayo de infiltración es realizado generalmente después de la **primera** medida de respiración. El mismo anillo de 6 pulgadas de diámetro, dejado en su sitio luego del ensayo de respiración del suelo, puede ser usado para el ensayo de infiltración. Si no se determinó respiración del suelo, siga las instrucciones del punto 1 del procedimiento para respiración del suelo (capítulo 2), para insertar el anillo de 6 pulgadas de diámetro.

Materiales necesarios para la medida de infiltración

- anillo de 6 pulgadas de diámetro (dejado en el suelo después del test de respiración).
- envoltura plástica
- botella plástica o cilindro graduado de 500 mL.
- agua destilada
- cronómetro o programador de horario

¿Lo Sabía?

La velocidad de infiltración es una medida de cuán rápidamente el agua penetra en el suelo. El agua que penetra demasiado lentamente puede provocar anegamiento en terrenos planos o erosión por escurrimiento en campos en pendiente.

Consideraciones: Si el suelo está saturado, no se produce infiltración. Espere uno o dos días para permitir que se seque un poco. Asimismo, cuando no se realiza el ensayo de respiración, asegúrese antes de insertar el anillo, de que el área de muestreo esté libre de residuos y malezas, o que la vegetación esté cortada hasta la superficie del suelo.

① Afirme el Suelo.

Con el anillo de 6 cm de diámetro emplazado en su sitio, use sus dedos con cuidado, para suavemente afirmar el suelo **solamente** alrededor de los **bordes internos** del anillo para prevenir filtraciones adicionales. Evite disturbar el resto de la superficie del suelo dentro del anillo.

② Cubra el anillo con una envoltura de plástico.

Cubra con una lámina de plástico, el anillo y la superficie del suelo dentro del anillo, tal como se muestra en la **Figura 3.1**. Este procedimiento evita disturbar la superficie del suelo al agregar agua.



Figura 3.1

③ Agregar Agua.

- Llene la botella plástica, o el cilindro marcado, hasta la marca de 444 mL, con agua destilada.
- Vierta los 444 mL de agua (1 pulgada (2.54 cm) de agua) en el anillo recubierto con un envoltura de plástico, tal como se indica en la **Figura 3.1**.

④ Remover la Envoltura y Registrar el Tiempo.



- Sacar la cobertura de plástico tirando con cuidado hacia fuera, dejando el agua dentro del anillo (**Figura 3.2**). **Anote el tiempo.**
- Registre el tiempo (en minutos) que requiere 1 pulgada (2.54 cm) de agua para penetrar en el suelo.
- Pare el reloj justo cuando la superficie se ponga brillante (**Figura 3.3**).
- Anote este tiempo (en minutos) en la hoja de trabajo de los Datos de Suelo.



Figura 3.2



Figura 3.3

⑤ Repetición del ensayo de Infiltración.

En el mismo anillo, efectué los pasos 2,3 y 4 con una segunda pulgada de agua. En la hoja de trabajo Datos de Suelo, registre el número de minutos transcurridos para la segunda medida de infiltración. Si la humedad del suelo está a, o cerca de, la capacidad de campo, el segundo ensayo no es necesario.

[El contenido de humedad del suelo va a afectar la velocidad de infiltración; por esto, esencialmente se efectúan dos ensayos de infiltración (sí el suelo está seco). La primera pulgada moja el suelo, y la segunda pulgada da una mejor estimación de la velocidad de infiltración del suelo.]

⑥ Reponer la tapa.

Si se ha de efectuar un segundo ensayo de respiración apoye la tapa sobre el anillo y deje éste cubierto por, preferentemente 16 a 24 horas (mínimo de 6 horas) antes de comenzar el segundo ensayo (Capítulo 2). (Remueva la tapa y repóngala en su sitio, antes de comenzar la segunda medición de respiración).



Recuerde! Si necesita realizar una segunda medida de respiración recuerde apoyar la tapa sobre el anillo antes de abandonar el predio.

4. Ensayo de Densidad Aparente

La medida de la densidad aparente debe ser realizada en la superficie del suelo y/o en una zona compactada (piso de arado, etc.), si es que está presente. Mida la densidad aparente cerca (entre 3,28 y 6,56 cm) del sitio de los ensayos de respiración e infiltración. Para obtener una medida más representativa de la densidad aparente del área, se pueden tomar muestras adicionales.

Materiales necesarios para medir densidad aparente

- Anillo de 3 pulgadas (7.62 cm) de diámetro.
- Maza
- Bloque de madera
- Palita de jardinero
- Cuchillo de hoja ancha
- Bolsas sellables y marcador
- Balanza (precisión 0,1 g)
- Cucharón para medir de 1/8 de taza (30 mL)
- Taza de papel
- Vara metálica de 18 pulgadas
- Acceso a un horno de microondas

¿Lo Sabía?

Densidad aparente es el peso del suelo para un volumen determinado. Se la utiliza para medir compactación. En general, cuanto mayor la densidad, menor el espacio poroso para el movimiento del agua, crecimiento y penetración de raíces, y el desarrollo de las plántulas.

Consideraciones: Para suelos rocosos o gravillosos use el procedimiento alternativo, de página 11.

① Clave el anillo en el suelo.

- Usando la maza y el bloque de madera, clave un anillo de 3 pulgadas (7.62 cm) de diámetro, con el borde biselado hacia abajo, hasta una profundidad de 7.62 cm (**Figura 4.1**).
- Para la precisa medición del volumen del suelo, debe determinarse la exacta profundidad del anillo. Para hacer esto la altura del anillo sobre el suelo debe ser medida. Haga cuatro mediciones (a espacios similares) de la altura del borde superior del anillo desde la superficie del suelo y calcule el promedio. Anote el promedio en la hoja de trabajo de Datos de Suelo



Figura 4.1

Nota: Use la vara de metal para sondear la profundidad de una zona compactada. Si se encuentra una, excave hasta el techo de ese sector y deje una superficie pareja. Proceda como en el punto 1.

② Remueva el anillo de 7.62 cm

Cave alrededor del anillo, **con una palita de jardinero debajo de éste**, y levántelo con cuidado previendo pérdidas de suelo.

③ Remueva exceso de suelo

Remueva el exceso de suelo de la muestra con un cuchillo de hoja ancha. La base de la muestra deberá ser plana, cortada y nivelada siguiendo los bordes del anillo (vea Figura 4.2).



Figura 4.2

④ Poner la Muestra en una Bolsa y Etiquetar.

Toque la muestra lo menos posible. Usando el cuchillo de hoja ancha empuje la muestra dentro de una bolsa de plástico con cierre. Asegúrese que toda la muestra ha sido introducida en la bolsa. Cierre y etiquete la bolsa.

Nota: Los pasos 5-7 pueden ser realizados en un laboratorio u oficina si no hay una balanza disponible en el campo. El paso 8 requiere acceso a un horno microondas.

⑤ Pese y Registre la Muestra

- Pese la muestra del suelo en su bolsa (si la bolsa es demasiado pesada para la balanza, transfiera aproximadamente la mitad hacia otra bolsa de plástico; el peso de las dos bolsas deberá ser sumado). Registre el peso (suma de las dos bolsas, si correspondiere) en la hoja de trabajo de Datos de Suelos.
- Pese una bolsa de plástico vacía para calcular el peso exacto de la muestra. Anote el peso (suma de dos bolsas de plástico vacías, si correspondiere) en la hoja de trabajo Datos de Suelos.

⑥ Tome una Submuestra para Determinar Contenido de Agua y Peso del Suelo Seco.

- Mezcle bien la muestra, “amasándola” con los dedos.
- Tome una submuestra (no compactada), en un cucharón de 1/8 de taza, de la bolsa de plástico, y póngala en un vaso de papel (puede usarse un tazón de cerámica)

⑦ Pese y Registre la Submuestra

- Pese la submuestra de suelo en su vaso de papel. Registre el peso en la hoja de trabajo de Datos de Suelo.
- Pese un vaso de papel vacío. Ingrese el peso en la hoja de trabajo de datos de Suelo.

⑧ Seque la Submuestra

Ponga el vaso de papel que contiene la submuestra en un microondas y seque con dos ó más ciclos de cuatro minutos a intensidad máxima. Abra el microondas por un minuto para permitir la ventilación. Pese la submuestra seca en su vaso de papel y registre el peso en la hoja de trabajo de Datos de Suelo.

Nota: Para determinar si el suelo está seco pese la muestra y anote su peso luego de cada ciclo de 4 minutos. Cuando el peso no cambie luego de un ciclo de secado, el suelo está seco.

CÁLCULOS (fijarse al final de este capítulo)

Prueba de la Densidad Aparente en Suelos Gravillosos y Rocosos

Este método debe aplicarse cuando rocas o gravas impiden tomar una muestra con el método del anillo, descrito en la primera parte de este capítulo. El método de excavación requiere que el usuario separe con tamiz el material grueso, de tamaño mayor que 2 mm.

Materiales Necesarios para Medir Densidad Aparente:

- Lamina de plástico
- Jeringa de 140 cm³
- Agua
- Palita de jardinero
- Bolsa sellable y marcador
- Tamiz de 2 mm
- Balanza (precisión 0,1 g)
- Cucharón de muestreo, de 1/8 de taza (30 mL)
- Vaso o tazón de papel
- Acceso a un horno de microondas

Consideraciones: Elija un sitio tan plano como sea posible para lograr que el agua llene el pozo de manera uniforme. Si el suelo está demasiado mojado para tamizar, no tome en cuenta el paso 2 referido al reemplazamiento de las rocas y prosiga al paso 3. El suelo deberá ser secado y tamizado más tarde. El volumen de la grava deberá ser medido, y restado del volumen total de la muestra de suelo tomada en el campo.

① Cavar el pozo

- Cave, con la palita de jardinero, un pozo con forma de olla, de 7,62 cm (tres pulgadas) de profundidad y aproximadamente 12,7 cm (cinco pulgadas) de diámetro (**Figura 4.3**). Evite compactar el suelo del pozo durante la excavación. Ponga **todo** el suelo y la grava del pozo en una bolsa de plástico.
- Usando el tamiz de 2 mm, tamice el suelo de la bolsa de plástico para separar la grava. Ponga el suelo en una bolsa de plástico con cierre. Ponga la grava aparte, para ser usada en el paso 2. Cierre y etiquete la bolsa de plástico.

[Nota: Lea las consideraciones indicadas, más arriba. Si el suelo está mojado.]



Figura 4.3

② Recubra el Pozo

Recubra el pozo con una lámina de plástico, tal como se indica en la **Figura 4.4**. Deje algo de sobrante de plástico alrededor del borde del pozo. Ponga las rocas y gravas tamizadas, cuidadosamente en el centro del pozo, sobre la envoltura de plástico. Asegúrese que la pila de rocas no sobresalga del nivel de la superficie del suelo.



Figura 4.4

③ Agregue Agua al Pozo

- Use la jeringa de 140 cm³ para saber cuánta agua es necesaria para llenar el pozo recubierto. El nivel del agua deberá coincidir con el de la superficie del suelo.
- La cantidad de agua representa el volumen del suelo removido. Ingrese el monto total de agua, en centímetros cúbicos en la hoja de trabajo de Datos de Suelo.

Nota: Los pasos 4-6 pueden realizarse en el laboratorio u oficina si no hay disponible una balanza, en el campo. El paso 7 requiere el acceso a un horno microondas.

④ Pese y Registre la Muestra

- Pese la muestra del suelo en su bolsa. [Si la bolsa es demasiado pesada para la balanza, transfiera aproximadamente la mitad hacia otra bolsa de plástico. El peso de las dos bolsas deberá ser sumado.] Registre el peso (suma de las dos bolsas, si correspondiera) en la hoja de trabajo de Datos de Suelo.
- Pese una bolsa de plástico vacía para calcular el peso exacto de la muestra. Anote el peso (suma de dos bolsas de plástico vacías, si correspondiere) en la hoja de trabajo Datos de Suelo.

⑤ Tome una Submuestra para Determinar Contenido de Agua y Peso del Suelo Seco.

- Mezcle bien la muestra, “amasándola” con los dedos.
- Tome una submuestra (no compactada), en un cucharón de 1/8 de taza, de la bolsa de plástico, y póngala en un vaso de papel (puede usarse un tazón de cerámica)

⑥ Pese y Registre la Submuestra

- Pese la submuestra de suelo en su vaso de papel. Registre el peso en la hoja de trabajo de Datos de Suelo.
- Pese un vaso de papel vacío. Ingrese el peso en la hoja de trabajo de datos de Suelo.

⑦ Seque la Submuestra

Ponga el vaso de papel que contiene la submuestra en un microondas y seque con dos ó más ciclos de cuatro minutos a intensidad máxima. Abra el microondas por un minuto para permitir la ventilación. Pese la submuestra seca en su vaso de papel y registre el peso en la hoja de trabajo de Datos de Suelo.

NOTA: Para determinar si el suelo está seco pese la muestra y anote su peso luego de cada ciclo de 4 minutos. Cuando el peso no cambie luego de un ciclo de secado, el suelo está seco.

CÁLCULO (para los dos métodos) de densidad aparente):

Contenido de agua del suelo (g/g) = $\frac{\text{peso del suelo húmedo} - \text{peso del suelo secado en el horno}}{\text{peso del suelo secado en el horno}}$

Densidad aparente del suelo $\frac{(\text{g})}{\text{cm}^3} = \frac{\text{peso del suelo secado en el horno}}{\text{volumen del suelo}}$

Espacio de poros ocupado por agua (%) = $\frac{\text{contenido de agua en volumen} \times 100}{\text{Porosidad del suelo}}$

Contenido de agua en volumen $\left(\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}\right) = \text{Contenido de agua en el suelo g/g} \times \text{densidad aparente (g/cm}^3\text{)}$

Porosidad del suelos (%) = $1 - \left(\frac{\text{densidad aparente del suelos}}{2.65}\right)$

Volumen de rocas (cm³) = Llene 1/3 de un cilindro graduado, con agua, y registre el monto. Agregue las rocas al cilindro y registre el cambio en el nivel de agua. La diferencia corresponde al volumen de rocas (1 mL = 1 cm³).

Volumen del suelo (cm³) = volumen total del suelo - volumen de rocas

5. Ensayo de Conductividad Eléctrica

Las muestras de suelo para conductividad eléctrica (CE) son tomadas a una profundidad de 0 a 3 pulgadas (7.62 cm). Muestras compuestas pueden ser recogidas, a lo largo del lote, y se pueden tomar dos submuestras para análisis (ver capítulo 1, Líneamientos para el Muestreo). **Conductividad eléctrica, pH y nitratos son medidos en la misma submuestra.**

Materiales que se requieren para medir conductividad eléctrica (CE)

- Cucharón de muestreo, de 1/8 de taza (30 mL)
- Recipientes plásticos de 120 mL, con tapa
- Medidor de bolsillo para CE (azul, con tapa negra)
- Piseta
- Solución de calibración (0.01 M Cl K)
- Agua destilada.

¿Lo Sabía?

Un exceso de sales puede ser perjudicial para la salud de las plantas. Las sales pueden, también, dificultar la penetración de agua en el suelo y aumentar la aparición de compactación superficial

① Extraiga una submuestra

La muestra de suelos debe ser minuciosamente mezclada antes de tomar una submuestra. Tome una submuestra de 1/8 de taza, con el cucharón de muestreo lleno al ras, y póngala en un recipiente plástico. Si en esta submuestra se habrán de medir los nitratos (capítulo 7), pese la submuestra para una más precisa estimación de los nitratos del suelo. Ingrese el peso de la submuestra en la hoja de trabajo de Datos de Suelo.

② Agregue agua a la submuestra y mezcle

- Agregue 1/8 de taza (30 mL) de agua destilada al recipiente con la submuestra. La resultante de la mezcla suelo/agua, corresponde a una relación 1:1 de suelo a agua, en base a volúmenes.
- Ponga la tapa sobre el recipiente y agite vigorosamente alrededor de 25 veces.



Consejo para calibración:

Asegúrese que el medidor de CE esté calibrado antes de efectuar una medición. Vea Apéndice C, para instrucciones de calibración

③ Mida y Registre CE (Vea Consejo para Calibración)

- Abra el recipiente e inserte el medidor de bolsillo de CE en la mezcla de suelo – agua. Realice la lectura mientras las partículas del suelo estén todavía suspendidas en la solución. Para evitar que las partículas se depositen, mueva suavemente la solución con el medidor de CE. No sumerja el medidor por encima del nivel de inmersión (vea Apéndice C, Figura 1c). Permita que la lectura se estabilice, (que es cuando permanece igual por 10 segundos).
- Ingrese la lectura de CE en la hoja de trabajo de Datos de Suelo, en decisiemens por metro (dS/m) El medidor DiST WP 4 da las lecturas directamente en dS/m Para el medidor Microsensor 4, divida la lectura por 10, y para el medidor Microsensor 3 divida la lectura por 100 para obtener las lecturas en dS/m.
- Guarde la mezcla de suelo- agua para la medición de pH (capítulo 6).

④ Apague el medidor – Enjuague prolijamente el medidor con agua destilada y ponga la tapa.

6. Ensayo de pH del suelo

Use la misma mezcla suelo – agua, preparada para el ensayo de CE, para llevar a cabo el ensayo de pH. **Si comienza con una muestra nueva, lea la introducción y siga los pasos 1-3 del capítulo de Ensayo de CE, a cerca de cómo preparar la muestra.**

Materiales necesarios para medir pH:

- Cucharón de muestreo, de 1/8 de taza (30ml)
- Botella plástica
- Soluciones tampón(buffer) para calibración
- Piseta
- Medidor de bolsillo para pH (rojo con tapa negra)
- Agua destilada

¿Lo Sabía?

La acidificación del suelo puede también ser un indicador de un exceso de aplicaciones de fertilizante de N, y pérdida de N por lixiviación.

Consideraciones: Si la muestra de suelo está saturada o muy mojada, una razón 1:1, en base a volúmenes, de suelo a agua, no va a obtenerse en la mezcla suelo-agua (vea paso 2, Capítulo 5). Deje secar el suelo antes de proceder con el Paso 1 en el Capítulo 5. Asimismo, una pequeña cantidad de sales difunden desde el pHímetro de bolsillo; por esto, **las mediciones de CE deben siempre ser tomadas primero cuando se miden CE y pH en una misma muestra.**

① Mida y Registre el pH.

- Es necesario periódicamente calibrar su medidor de pH (vea Apéndice C, por instrucciones). Si el medidor no ha sido usado durante un tiempo, ponga el medidor en agua potable por alrededor de 5 minutos, antes de calibrar o hacer lecturas.
- Espere alrededor de 10 a 15 minutos, después de la medida de CE, para medir el pH. Esto le da tiempo a las partículas del suelo de asentarse. Inserte el medidor de pH en el sector superior de la solución y prenda el medidor. Espere hasta que se estabilice (0-30 segundos) , y registre la lectura digital en la hoja de trabajo de datos de Suelo.

② Enjuague el Medidor de Bolsillo

- Enjuague completamente el electrodo con agua destilada.
- Guarde el electrodo con algunas gotas de la solución tampón de pH = 7 y ponga la tapa. (Vea Apéndice C sobre cómo se guarda el pHímetro.)

Consejos para el mantenimiento: Chequee las pilas y calibre los medidores de CE y pH periódicamente. Asegúrese de dejarlos limpios para que continúen funcionando correctamente.

7. Ensayos de Nitratos (NO_3^-) del Suelo

Use la misma muestra, preparada para los ensayos de CE y pH, para medir los nitratos del suelo. **Si está comenzando con una muestra nueva, lea la instrucción y siga los Pasos 1-3 del capítulo del Ensayo de CE, acerca de cómo preparar la muestra.**

Materiales Necesarios para Medir los Nitratos del Suelo:

- Papel de filtro
- Recipiente plástico de 120 ml, con tapa
- Cuentagotas
- Cinta de ensayo nitrato/nitrito
- Cronómetro o programador de horario
- Agua destilada

¿Lo sabía?

Los nitratos son una buena medida del nitrógeno disponible para las plantas, pero pueden desaparecer rápidamente por lixiviado y volatilización

① Plegar Filtro

Pliegue el papel de filtro por la mitad (haciendo un semicírculo). Deje los bordes algo desparejos como en la **Figura 7.1** (Se le ha dibujado una línea negra con fines ilustrativos).

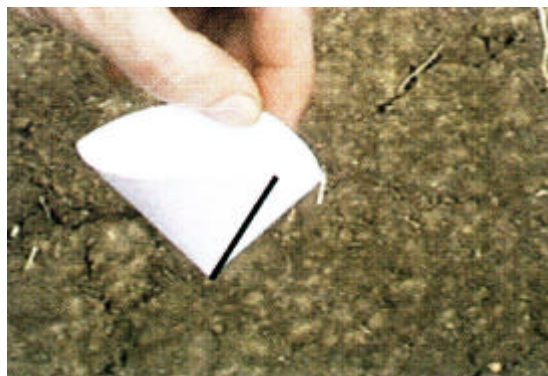


Figura 7.1

② Inserte el Papel de Filtro en la Submuestra

Abra el papel filtro, dándole forma de cono, y empújelo (parte punteada primero) dentro del vaso con la mezcla de suelo-agua hasta que toque el fondo del vaso (**Figura 7.2**). Espere hasta que alrededor de un volumen de cuentagotas haya filtrado hacia el interior del papel de filtro. Espere hasta que haya filtrado hacia el interior del papel un volumen equivalente al de un cuentagotas. (**Nota: Empujar el papel de filtro rápidamente previene que se moje y se corte al insertarlo.**)

Para los pasos 3 y 4, sería útil familiarizarse con las instrucciones que aparecen sobre la botella con las cintas para nitratos).



Figura 7.2

③ Vierta Algunas Gotas sobre las Cintas para Nitratos.

Usando el cuentagotas y una cinta de chequeo de nitratos/nitritos deje caer 1 ó 2 gotas de la solución filtrada sobre cada una de las dos almohadillas sensibles de la cinta. **Anote la hora.**

Nota: Una almohadilla sensible mide la cantidad de nitratos, y la otra mide la cantidad de nitritos y nitratos combinados. Los nitritos raramente aparecen en cantidades medibles en los suelos, de manera que las lecturas de nitritos en la cinta de ensayos no se ingresan.

4. Mida y registre Nitratos



- Alinee la cinta de ensayos con el diagrama sobre la botella.
- **Luego de 60 segundos**, compare el extremo de la banda sensible con la escala de nitratos, tal como se muestra en la **Figura 7.3**. Estime la cantidad de nitratos de acuerdo con el cambio de color. Ingrese el valor de la escala de nitratos a la hoja de trabajo de Datos de Suelos, en ppm. Este valor es una estimación de la concentración de N en nitratos en el extracto



Figura 7.3

CÁLCULOS:

Estimación (lb N en NO_3 /acre) =

$$\frac{(\text{ppm N en NO}_3) \times (\text{profundidad del suelo muestreado, cm}) \times \text{densidad aparente} \times 0.89}{10}$$

Cálculo Exacto (lb N en NO_3 /acre) =

$$\frac{(\text{ppm N en NO}_3) \times (\text{vol. agua empleada}) \times (\text{prof. suelo muestreado}) \times \text{densidad aparente} \times 0.89}{(\text{peso del suelo seco}) \times 10}$$

$$\text{Volumen de agua empleado} = 30.0 \text{ mL} + [\text{peso del suelo seco} \times \text{contenido de agua del suelo (g/g)}]$$

Nota: La máxima lectura para N en nitratos en la cinta de chequeo de nitratos/nitritos es de 50 ppm. Si la lectura para la muestra cae en la categoría de 50 ppm, la muestra puede ser diluida con el fin de obtener una mejor evaluación de la cantidad presente por encima de los 50 ppm. Para diluir la muestra llene el cuentagotas con solución filtrada y ponga cinco gotas en un recipiente plástico. Agregue cinco gotas de agua destilada, mezcle suavemente haciendo girar el recipiente. Haga una lectura con una nueva cinta de chequeo, como se indica en el Paso 4. Multiplique el N en nitratos estimado, en ppm, por 2, antes de usar los cálculos. Si la lectura de nitratos cae nuevamente en la categoría de los 50 ppm repita los pasos para la disolución, y multiplique el N en nitratos estimado, en ppm, por 4.

¿Lo Sabía?

Muestras de agua pueden ser tomadas de agua de las cañerías (potable), de agua de pozo, de tuberías de drenaje, zanjas de drenaje, y charcas. Introduzca una cinta de chequeo en el agua y estime la concentración de los nitratos o nitritos comparando colores con la carta de colores en la botella para cintas. Este ensayo puede dar una idea de cuánto fertilizante se pierde del suelo. **(Vea capítulo 12).**

8. Estabilidad de Agregados

La estabilidad de agregados mide la cantidad de agregados que se mantienen estables en agua que fluye. Es recomendable que la estabilidad de los agregados sea determinada en las primeras tres pulgadas del horizonte superficial. La muestra debe ser secada al aire antes de determinar estabilidad de agregados.

Materiales requeridos para medir estabilidad de agregados:

- Tamiz de 2 mm [diámetro de 3 pulgadas (7.62 mm)]
- Tamices de 0.25 mm [diámetro de 2.5 pulgadas (5.08 mm)]
- Retazos de tela absorbente
- Secador de pelo de 400 W y cámara de secado
- Solución de calgón (alrededor de 2 cucharas soperas, de calgón, cada ½ galón de agua corriente)
- Balde u olla
- Balanza (precisión de 0.1 g)
- Agua destilada

¿Lo Sabía?

Los agregados del suelo protegen dentro de su estructura, a la materia orgánica dentro de su estructura contra el ataque microbial. La formación y la preservación de agregados contribuyen a la preservación de la materia orgánica en el suelo.

Consideraciones: Si el suelo está húmedo, secar una muestra al aire antes de determinar la estabilidad de agregados. Cuando se toma una muestra hay que poner atención en no trastocar los agregados edáficos.

① Tamice la Muestra de Suelo

Transfiera aproximadamente ¼ de taza de suelo secado al aire al tamiz de 2 mm. Agite suavemente el tamiz y recoja el suelo que pasa por el tamiz. Trate de hacer pasar todo el suelo a través del tamiz, empujando suavemente el suelo con el pulgar (**Figura 8.1**).



Figura 8.1

② Pese la Muestra de Suelo Tamizada

Pese el tamiz de 0.25 mm, y registre el peso en la hoja de trabajo. Tome una submuestra de alrededor de 10 g del suelo tamizado del Paso 1 (asegúrese que el suelo haya estado bien mezclado antes de tomar la submuestra). Ingrese el peso exacto en la hoja de trabajo de Datos de Suelo.

③ Lentamente Humedezca la Muestra de Suelo, en el Tamiz

Sature uno de los retazos de tela con agua destilada y apóyelo sobre una superficie plana. Ubique el tamiz de 0.25 mm, conteniendo el suelo, sobre la tela mojada, permitiendo que el suelo se humedezca lentamente (**Figura 8.2**). Humedezca el suelo durante cinco minutos.

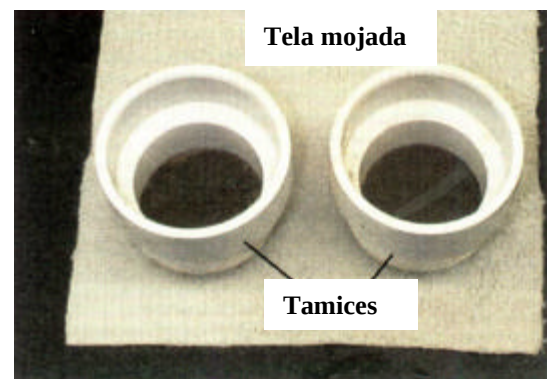


Figura 8.2

NOTA: Se requiere un recipiente (balde u olla) con agua destilada para el Paso 4. La temperatura del agua debería estar a, ó cerca de, la temperatura del suelo.

④ Tamice el Suelo, en Húmedo.

- Ponga el tamiz de 0.25 mm, con suelo, en el recipiente llenado con agua destilada, de forma que la superficie del agua esté justo por encima de la muestra del suelo.

Mueva el tamiz hacia arriba y hacia abajo en el agua a lo largo de una distancia vertical de 1.5 cm, a razón de 30 oscilaciones por minuto (una oscilación es un movimiento de arriba abajo de 1.5 cm de largo), durante tres minutos. **Importante: Ponga atención en que los agregados permanezcan inmersos en agua durante el movimiento hacia arriba.**

⑤ Secar los Agregados

Luego de tamizar en húmedo coloque el tamiz con los agregados sobre una tela seca, la que va a absorber el excedente de agua en el tamiz. Luego coloque el tamiz con los agregados en el aparato secador (**Figura 8.3**). Seque la muestra empleando la intensidad mínima.

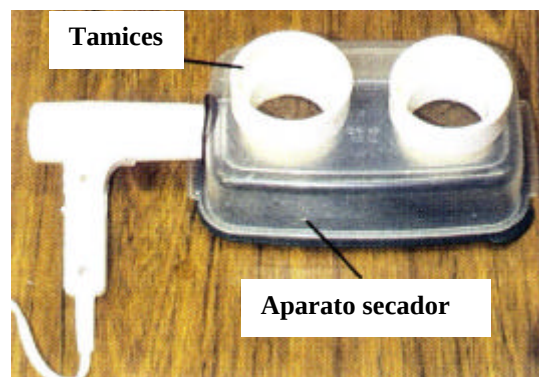


Figura 8.3

NOTA: Ponga cuidado, durante el secado, de que no vuelen partículas hacia fuera de los tamices. Puede ser necesario cubrir los tamices para mantener los agregados en su lugar.

⑥ Pese los Agregados

Luego del secado, deje a los agregados y al tamiz bajar de temperatura, por cinco minutos. Pese el tamiz que contiene los agregados. Ingrese el peso del tamiz con los agregados en la hoja de trabajo de Datos de Suelo.

⑦ Disperse los Agregados en Solución de Calgón

- Prepare la solución de calgón, sumerja el tamiz con los agregados secados en la solución de calgón (**no sumerja totalmente el tamiz**). Permita remojarse a los agregados durante cinco minutos, moviendo periódicamente el tamiz hacia arriba y abajo. Sólo las partículas de arena deberán permanecer en el tamiz.
- Enjuague la arena en el tamiz con agua limpia sumergiendo el tamiz en el balde de agua o dejando pasar agua de la canilla por el tamiz.

⑧ Seque y pese la arena

- Separe el exceso de agua poniendo, primero, el tamiz con la arena sobre una tela seca, y luego, en el aparato secador. Permita que se seque la arena.
- Después del secado, deje que la arena y el tamiz se enfríen, por cinco minutos.
- Pese el tamiz con la arena. Ingrese el peso del tamiz más la arena en la hoja de trabajo de Datos de Suelo.

Cálculos:

$$\text{Agregados estables en agua (\% de suelo >25 mm)} = \frac{(\text{peso de agregados secos} - \text{arena}) \times 100}{(\text{peso de suelo seco} - \text{arena})}$$

9. Ensayo de Desleimiento

El ensayo de desleimiento mide la estabilidad del suelo cuando es expuesto a una humectación rápida. Este ensayo es cualitativo y debe ser medido en fragmentos o agregados secados al aire.

Materiales necesarios para medir desleimiento:

- **Equipo completo para estabilidad**
- **Cucharón de muestreo**
- **Agua destilada (1 L.)**

¿Lo Sabía?

La estabilidad del suelo sirve como indicador cualitativo de la actividad biológica, flujo de energía, y desarrollo del ciclo de nutrientes. La agregación de las partículas del suelo debe ser constantemente renovada por los procesos biológicos.

Consideraciones: El suelo debería estar **seco al aire** al realizarse este ensayo. Si el suelo no está seco, recoja fragmentos superficiales, tal como se describe en el paso 2, y permita que se sequen. Tenga cuidado de no destruir los fragmentos durante el muestreo.

①. Recoger Fragmentos Superficiales

- Recoja con cuidado fragmentos o agregados de la superficie del suelo. Si hay una costra, muestre cuidadosamente partes de ésta. Use el extremo chato (mango) del cucharón de muestreo para recoger fragmentos superficiales y subsuperficiales. Si el suelo ha sido arado, recoja algunos agregados (de aproximadamente 1 cm de tamaño). Tenga cuidado de no destruir los fragmentos o agregados durante el muestreo.
- Recoja 16 fragmentos separados. Si hay una costra superficial, recoja ocho fragmentos de la costra y ocho fragmentos desde debajo de la costra.



Figura 9.1

② Llene la caja con Agua

- Seque todos los cestos de tamizado del equipo de estabilidad.
- Llene los compartimentos del equipo con agua. El agua debe tener 2 cm de profundidad y estar a una temperatura aproximadamente igual a la del suelo.

③ Prueba de los fragmentos de suelo

- Ponga los fragmentos de suelo en los cestos de tamizado (Figura 9.1)
- Baje los tamices en una caja con compartimentos, llena de agua (Figura 9.2).



Figura 9.2

④ Observación de Fragmentos.

- Observe el fragmento de suelo por **cinco minutos** (Vea la tabla adjunta para determinar las clases del 1 al 3. S
- Después de los **cinco minutos**, suba el cesto fuera del agua y luego sumérjalo de nuevo. Debería demorar un segundo despejar la superficie de la cesta y un segundo sumergirla nuevamente.
- Repita las inmersiones cuatro veces (en total son cinco inmersiones). Vea la tabla adjunta para determinar las clases del 3 al 6

⑤ Registrar las Evaluaciones

- La estabilidad del suelo es evaluada según el tiempo requerido por el fragmento para desintegrarse durante una inmersión de cinco minutos (clase 1-3) y la proporción de fragmentos remanentes sobre el tamiz después de cinco ciclos de extracción-inmersión (clase 4-6). **[Vea la tabla adjunta.]**
- Registre las evaluaciones para todos los 16 fragmentos o agregados en la hoja de trabajo de Datos de Suelos.

Clase de Estabilidad	Criterios para asignación en clases de estabilidad (para “Caracterización Estándar”)
0	El suelo es demasiado inestable para ser muestreado (pasa a través del tamiz)
1	50% de la integridad estructural se pierde al cabo de 5 segundos de inserción en agua.
2	50% de la integridad estructural se pierde al cabo de 5-30 segundos de inmersión.
3	50% de la integridad estructural se pierde al cabo 30 – 300 segundos de inmersión.
4	10-25% de suelo permanece en el tamiz después de 5 ciclos de inmersión.
5	25-75% de suelo permanece en el tamiz después de 5 ciclos de inmersión.
6	75 –100 % de suelo permanece en el tamiz después de 5 ciclos de inmersión

10. Lombrices

Las lombrices están más activas durante la primavera y el otoño, las cuales son la mejor época para observar su actividad.

Materiales necesarios para medir la cantidad de lombrices:

- Agua potable (2L)
- Palita de jardinero o pala
- Un tarro o recipiente para la colección de las lombrices y su limpieza
- Solución de mostaza (2cucharas de sopa de polvo de mostaza en 2 litros de agua potable)

¿LoSabía?

Las excavaciones de lombrices mejoran la infiltración, y sus deyecciones mejoran la agregación. Las lombrices también empequeñecen pedazos mayores de residuos, que así pueden ser usados por otros organismos del suelo,

Consideraciones: Al examinar el suelo por lombrices, evite sitios que pudieron haber afectado sus poblaciones, tales como lugares próximos a pilas de mulch o compost. La presencia de lombrices en un lote es desigual y varía durante una estación. Por eso, cuente las lombrices varias veces durante una estación y use el promedio para evaluar cambios de año a año.

① Cave el Pozo

Mida una porción de terreno de 900 cm^2 (un pie cuadrado), y cave hasta una profundidad de 30.48 cm (12 pulgadas) con una cuchara para jardinero o pala (**Figura 10.1**). Trate de minimizar el número de cortes con la pala para evitar daño a las lombrices. **Cave el pozo primero, luego estudie las lombrices.**



Figura 10.1

② Cuente el Número de Lombrices.

Estudie las muestras de suelo contra un fondo de color pálido para facilitar el reconocimiento de las lombrices. Separe y cuente el número de lombrices.

③ Agregar Solución de Mostaza (opcional)

Para facilitar la extracción de lombrices de penetración más profunda agregue dos litros de solución de mostaza al pozo. **Primero**, asegúrese de que el piso del pozo esté parejo. Las lombrices profundas deberán aparecer dentro de los cinco minutos (**Figura 10.2**). Cuente el número de lombrices



Figura 10.2

④ Ingrese el Número Total de Lombrices

Registre el número total de lombrices (aquellas halladas en el pozo y aquellas que aparecen luego de la aplicación de la solución de mostaza) en la hoja de trabajo de Datos de Suelo. [La solución de mostaza no debería dañar a las lombrices. Enjuáguelas con agua]

11. Observaciones y Estimaciones Físicas del suelo.

Materiales necesarios para observar las características físicas del suelo:

- Cinta métrica
- Pala ancha
- Vara metálica de 18 pulgadas (45.72 cm)
- Agua potable

① Cavar el pozo

Cave un pozo hasta una profundidad de 1 pie (30.48 cm). Hágalo suficientemente ancho como para poder cortar una tajada de suelo.

② Cortar una Tajada de Suelo Superficial

Usando la pala ancha corte una tajada de suelo de la pared del pozo y deposítela en el piso.

③ Mida la Profundidad del Horizonte Superficial.

- Mida la profundidad del horizonte superficial
- Fíjese en cambios de color, descendiendo desde la superficie, a lo largo del perfil. El horizonte superficial se distingue usualmente por un color más oscuro que el material infrayacente (**vea la Figura 11.1**)

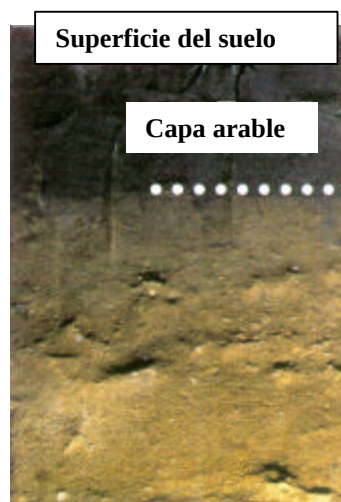


Figura 11.1

④ Observe Raíces de Plantas

- Observe las raíces de las plantas en el pozo y en la muestra de suelo. Para lograr una buena vista sobre las raíces, cave desde el tallo de una planta. Las raíces deberán estar bien ramificadas, con numerosos pelos radiculares.
- Las características en las que hay que fijarse son apilamiento de las raíces, o raíces que crecen hacia los costados. La falta de pelos radiculares indica escasez de oxígeno en la zona radicular. Crecimiento lateral indica la presencia de una capa dura o una capa compactada.

⑤ Determine la Resistencia

- Use la varilla metálica para chequear una de las paredes laterales, desde la superficie hasta el fondo. Determine cambios o diferencias en resistencia a la penetración mientras chequea la pared (**ver Figura 11.2**).
- Fíjese si hay capas compactadas que puedan restringir el crecimiento radicular o el movimiento del agua.



Figura 11.2

⑥ Examine la estructura del suelo

Observe la estructura del suelo en la muestra de suelo, hasta una profundidad de aproximadamente 12 pulgadas (30.48 cm). Mida y marque, de arriba hacia abajo, incrementos de 0 a 4 pulgadas (10,16 cm), 4 a 8 pulgadas 10, 16 a 20, 32 cm y 8 a 12 pulgadas. 20, 32 a 30, 48 cm. Reconozca y anote el tipo, tamaño, y grado de las unidades estructurales del suelo o agregados, para cada incremento de profundidad.

Nota: La estructura del suelo está dada por la manera en que las partículas del suelo se agrupan en configuraciones estables, o agregados.

⑥ a Reconozca el tipo estructura edáfica en cada uno de los incrementos de profundidad.

- Los tres grandes tipos de estructura edáfica son granular (Figura 11.3), en bloques (Figura 11.4) y laminar (Figura 11.5).

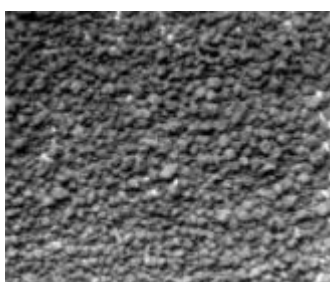


Figura 11.3 Granular:
esferas imperfectas,
usualmente de tamaño
arena

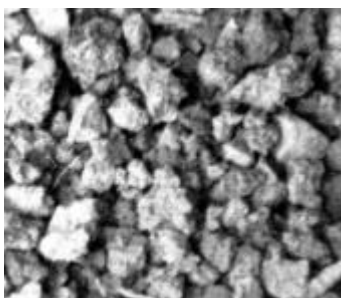


Figura 11.4 En Bloques:
Cubos imperfectos con
bordes angulares o
redondeados.

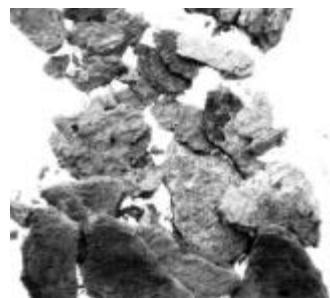


Figura 11.5 Laminar:
De apariencia achatada o
comprimida.

- Si no hay agregados o “peds,” el suelo no tiene estructura. El aspecto es, o bien de grano suelto (Figura 11.6), o bien masivo (Figura 11.7).

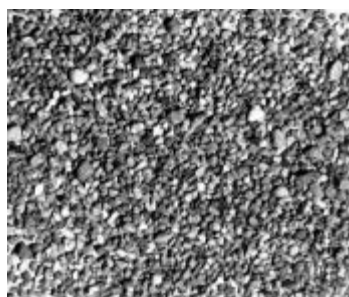


Figura 11.6 grano suelto:
Una masa incoherente, tal
como arena suelta



Figura 11.7 Masivo:
Masa coherente.

- Ingrese en la hoja de trabajo de Datos de Suelo el tipo de estructura observada para cada incremento de profundidad.

⑥b. Observe el tamaño de los agregados o “peds”. A diferentes profundidades.

- Estime el tamaño general de los agregados o “peds”. Si la estructura es granular, elija entre los tamaños de gránulos fino (Figura 11.8), medio (Figura 11.9) y grueso (Figura 11.10)

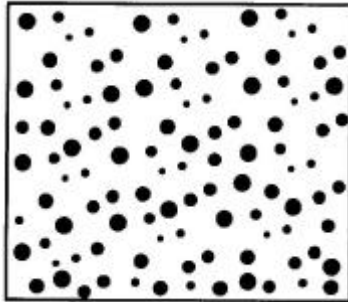


Figura 11.8
Fino: < 2 mm

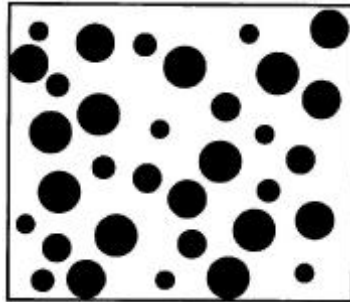


Figura 11.9:
Medio: 2 ó 5 mm.

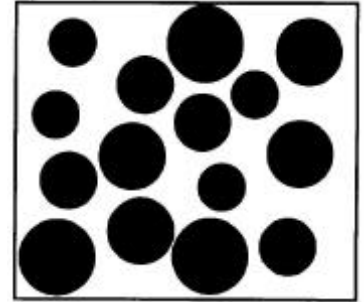


Figura 11.10
Grueso: 5 a 10 mm

- Si la estructura es en bloques, elija entre tamaños de bloques muy fino (Figura 11.11), fino (Figura 11.12), y medio (Figura 11.13).

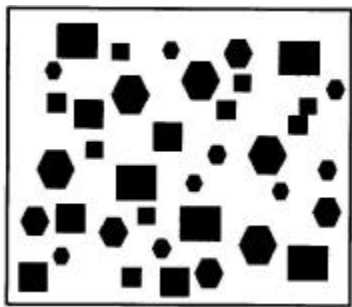


Figura 11.11
muy fino: < 5 mm

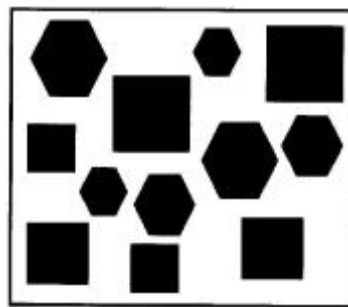


Figura 11.12
fino: 5 a 10 mm

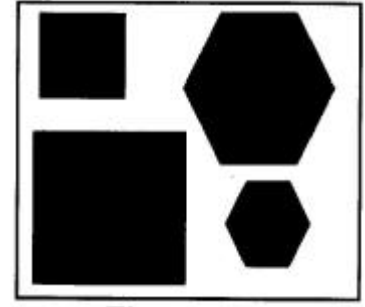


Figura 11.13
medio: 5 a 10 mm

- Si la estructura es laminar, elija entre los tamaños de láminas fino (Figura 11.14), medio (Figura 11.15), y grueso (Figura 11.16).



Figura 11.14
Fino: < 2 mm



Figura 11.15
Medio: 2 a 5 mm



Figura 11.16
Grueso: 5 a 10 mm

- Registre en la hoja de trabajo Datos de Suelo el tamaño de los agregados o “peds” observados para cada incremento de profundidad.

⑥C. Observe la definición (grado) de los agregados in situ y cuando se los retira de la muestra.

La definición de los agregados puede ser débil, moderada o fuerte.

Estructura débil:

- Agregados o “peds” son apenas reconocibles al observarlos in situ en suelo húmedo.
- Cuando es removida, la estructura se quiebra en pocos agregados o “peds” observables (Figura 11.17).

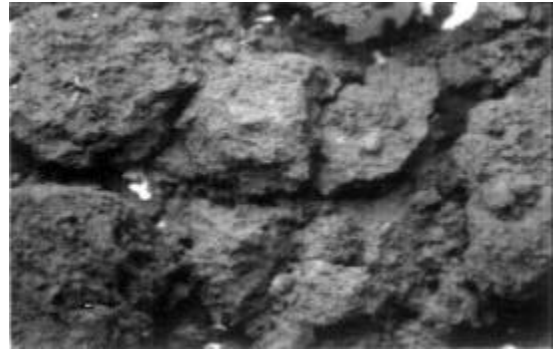


Figura 11.17

Estructura moderada:

- Los agregados o peds están moderadamente bien formados y bien definidos in situ.
- Cuando son removidos, son observables numerosos agregados bien formados. (Figura 11.18).

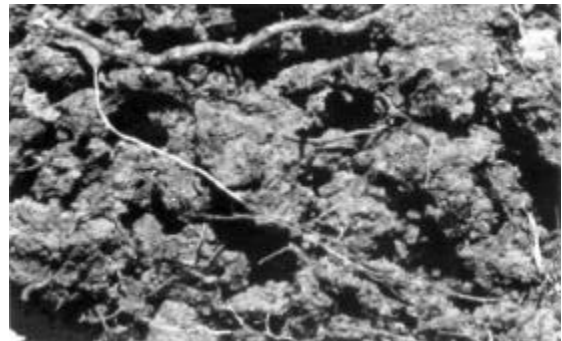


Figura 11.18

Estructura fuerte:

- Los agregados o “peds” están bien formados y son muy evidentes, in situ.
- Cuando se la disturba, la estructura se quiebra en agregados o “peds” muy evidentes (Figura 11.19).

Ingresa en la hoja de trabajo de Datos de Suelo el grado de los agregados o “peds” para cada incremento de profundidad.



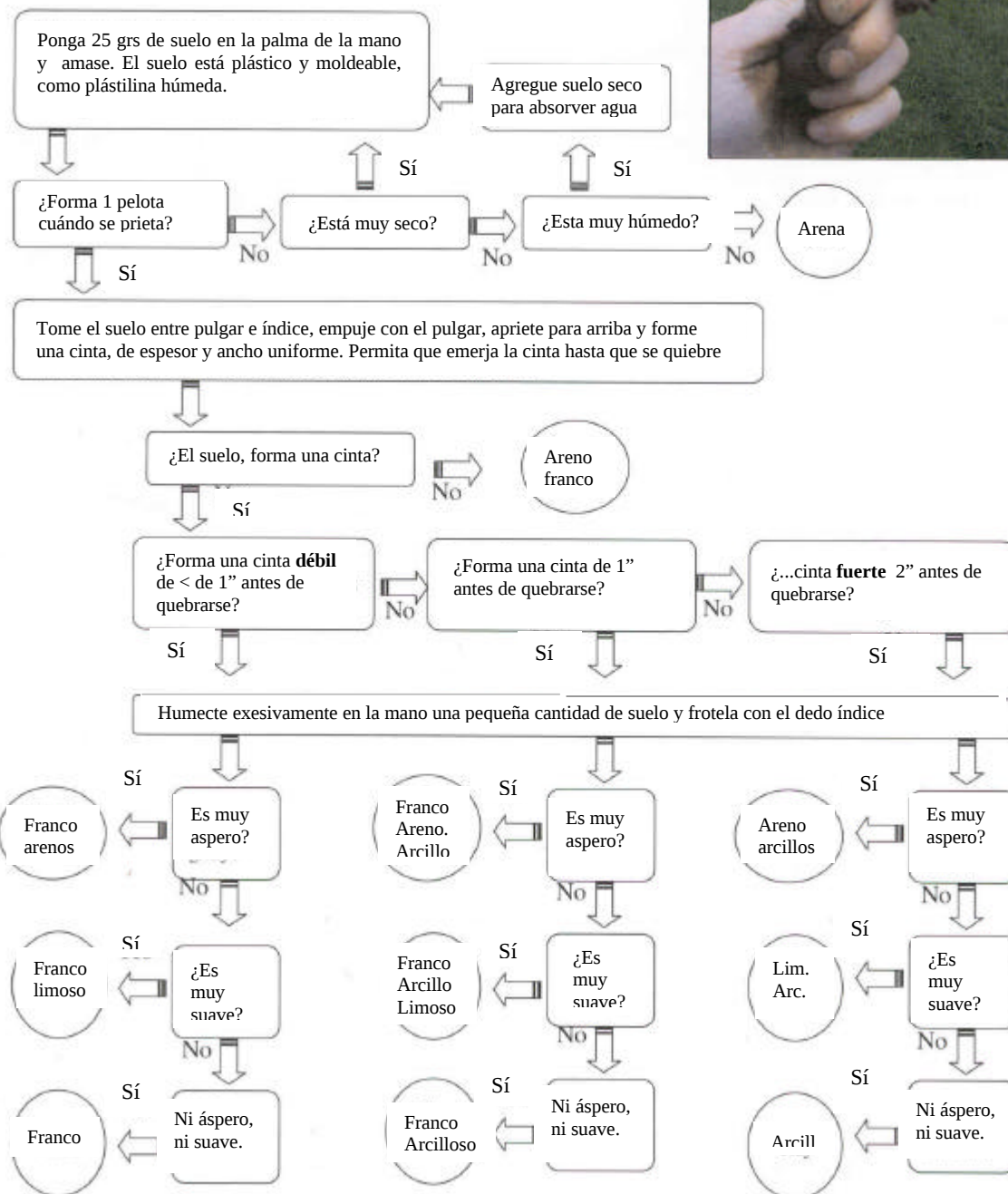
Figura 11.19

⑦ Determine la clase textural del suelo

- Realice el procedimiento Textural por Tacto (vea página.27) para las tres pulgadas (7.62 cm) superiores del suelo.
- Ingresa a la hoja de trabajo de Datos de Suelo la clase textural del suelo.

Procedimiento de Textura por Tacto

Haciendo una cinta



12. Ensayos de calidad de Agua

A. Estimaciones de Niveles de Nitratos y Nitritos de Agua.

Materiales necesarios para determinar niveles de nitratos (NO_3^-) y nitritos (NO_2^-) en el agua:

- Papel de filtro
- Recipientes plásticos de 120 ml, con tapas
- Cuentagotas
- Cinta de chequeo de nitratos/nitritos
- Cronómetro o programador de horario

Consideraciones: Muestras de agua pueden ser tomadas de agua de la canilla, agua de pozo, de tuberías de drenaje, zanjas de drenaje, y charcas. Muestree agua que escurre sobre el campo, pues puede contribuir como fuente de contaminantes.

①. Filtrar el Agua de Muestreo (si está turbia).

- Recoja una muestra de agua en el recipiente plástico. Llénelo hasta aproximadamente 1/3 de su volumen.
- Pliegue un trozo de papel de filtro, tal como se describe en el capítulo 7 Ensayo de Nitratos del Suelo. Inserte el papel de filtro dentro del recipiente y deje que filtre agua hacia el interior del recipiente. **[Si la muestra de agua es límpida (sin turbidez o partículas suspendidas) la muestra no necesita ser filtrada.]**

② Ponga gotas en las cintas para Nitratos y Nitritos.

Usando un cuentagotas, junte una muestra de agua filtrada. Ponga 1 ó 2 gotas de la solución filtrada en cada una de las dos partes sensibles de la cinta. Anote la hora.

[Una de las almohadillas sensibles mide la cantidad de nitritos y la otra la cantidad de nitritos y nitratos combinados.]

③ Mida y Registre Nitratos y Nitritos



- **Después de 30 segundos**, mida y registre nitritos. Estime la cantidad de nitritos de acuerdo con el grado de cambio de color. Ingrese el valor de nitritos, en ppm, en la hoja de trabajo de Datos de Suelo, tomado de la escala de la botella.
- **Después de 60 segundos**, mida y registre nitratos. Estime la cantidad de nitratos de acuerdo con el grado de cambio de color. Ingrese el valor de nitratos, en ppm, en la hoja de trabajo de los Datos de Suelo, tomado de la escala de la botella.

[Nota: estime los resultados pertinentes si los colores en las cintas sensibles caen entre dos valores de la escala de la botella.]

B. Niveles Estimados de Salinidad del Agua.

Materiales requeridos para estimar niveles de Salinidad del Agua.

- **Medidor de bolsillo de CE.**
- **Recipiente plástico de 120 ml y tapas**
- **Agua destilada**

Consideraciones: Muestras de agua pueden ser tomadas del agua de la canilla (potable), agua de pozo, tuberías de drenaje, zanjas de drenaje, y charcas.

① Recoger la Muestra

Recoja una muestra de agua en un recipiente de plástico. Llene hasta aproximadamente 1/3 del volumen.

② Mida Conductividad Eléctrica.

- Inserte el medidor de bolsillo de CE dentro de la muestra de agua. Permita que la lectura se estabilice (permanezca igual por alrededor de 10 segundos). Anote la lectura digital.
- Ingrese la lectura de CE, en la hoja de trabajo de Datos de Suelo, en decisiemens por metro (dS/m). El medidor Dist WP 4 exhibe las lecturas directamente en dS/m. Para el Microsensor 4 divida la lectura por 10, y para el Microsensor 3, divida la lectura por 100, para obtener las lecturas en dS/m. Inserte el medidor de bolsillo de CE en la muestra de agua hasta que la lectura se estabilice (permanezca igual por 10 segundos). Anote la lectura digital.

③ Enjuague el Medidor de Bolsillo.

Apague el medidor. Enjuague minuciosamente el medidor con agua destilada, y ponga nuevamente la tapa.

¿Lo Sabía?

El suelo saludable no sólo incrementa los rendimientos de las cosechas: también limpia y almacena agua; previene escurrimiento y erosión; y aprovecha los nutrientes con más eficiencia, reduciendo la necesidad de pesticidas.

A. Referencias.

- Arshad, M.A., B Lowery, and B. Grossman. 1996. Physical test for monitoring soil quality. P. 123-142. In: J.W. Doran and A.J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. SSSA Spec. Publ. 49. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Dick, R.p., D.R. Thomas, and J.J. Halvorson. 1996. Standardized methods, sampling, and sample pretreatment. P. 107-122. In: J.W. Doran and A.J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. SSSA Spec. Publ. 49. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Gershuny, G. And J. Smillie. 1995. The soul of soil: A guide to ecological soil management. 3rd ed. AgAccess, Davis, California, USA.
- Parkin, T.B. and J.W. Doran. 1996. Field and laboratory tests of soil respiration. P.231-246. In: J.W. Doran and A.J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. SSSA Spec. Publ. 49. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Powell, D. And J. Preatley. 1991. Sustainability kit manual. Centre for Conservation Farming. Charles Sturt University-Riverina, PO Box 588, Wagga 2650, Australia.
- Rowell, D. L. 1994. Soil science: methods and applications. Longman Scientific & Technical, Singapore.
- Sarantonio, M., J.W. Doran, M.A. Liebig, and J.J. Halvorson. 1996. On-farm assessment of soil quality and health. P. 83-106. In: J.W. Doran and A.J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. SSSA Spec. Publ. 49. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA.
- Smith, J.L. and J.W. Doran. 1996. Measurement and use of pH and electrical conductivity. P. 169-186. In: J.W. Doran and A.J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. SSSA Spec. Publ. 49. Soil Science Society of America, Inc., Madison, Wisconsin, USA.

B. Respiración del Suelo (Método Alternativo)

El método alternativo emplea un equipo producido por la compañía Woods End¹ conocido como el Equipo Vida del suelo Solvita¹. En lugar del aparato Draeger, el método citado usa “paletas” insertadas en un recipiente plástico con la muestra de suelo (vea el procedimientos algo más adelante). El uso de este método elimina la necesidad de un tubo Draeger (tubo de adsorción de dióxido de carbono), aguja y jeringa. Con el equipo Solvita los resultados se obtienen en 24 horas, en lugar de los 30 minutos del método Draeger. Distinguir el cambio de color en las paletas suele ser más fácil que la lectura del cambio de color en los tubos Draeger. El equipo Solvita requiere la disturbación del suelo y falsamente estimula la actividad microbiana de forma similar a la producida por la acción de la labranza. Sin embargo, cuando se lo emplea para comparar sitios, los dos suelos son disturbados, y se reconocen las diferencias relativas. Este procedimiento también reduce los efectos de la respiración radicular. Extrayendo de la muestra la máxima cantidad de raíces que fuere posible, se reducirá aún más su contribución en CO₂. El equipo Solvita es preferible si no son necesarios resultados inmediatos y se desean hallar diferencias en la actividad microbiana sin la influencia de las raíces de las plantas.

El equipo Solvita es entregado con instrucciones e interpretaciones bien escritas, y fáciles de comprender, para el usuario. Hay también una guía para resolver problemas. El equipo consiste de cuatro partes: el tarro para la muestra, que contiene el volumen correcto del suelo para el ensayo (**Figura 1 b**); un paquete metálico conteniendo una paleta de gel de color especial (**Figura 2 b**); un manual de instrucciones; y una clave de colores para la lectura de los resultados (**Figura 2b**).

La información acerca de cómo obtener estos equipos está indicada en el Apéndice D.

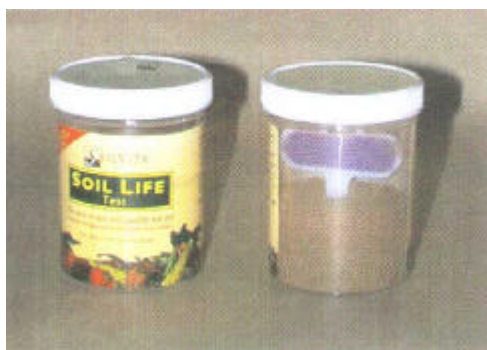


Figura 1b

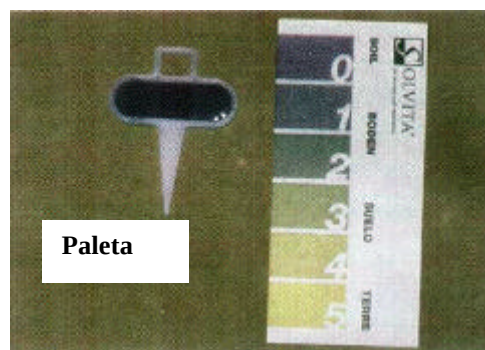
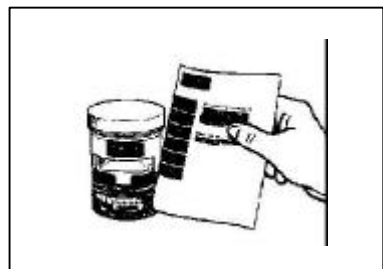
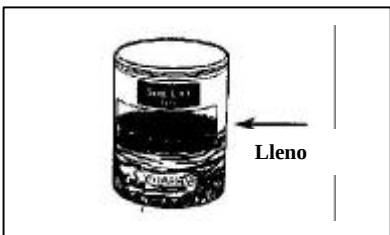
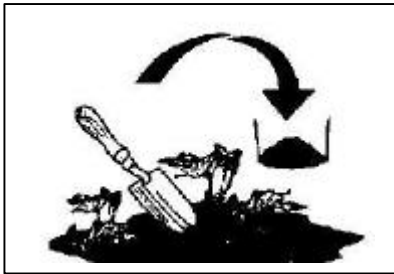


Figura 2 b

¹ Los nombres de marcas son usados exclusivamente para proveer información específica. La mención de una marca no significa que el producto esté garantizado por el Departamento de Agricultura de los EEUU y tampoco implica preferencia por el Departamento del Servicio de Conservación de Recursos naturales respecto de productos comparables que no sean nombrados.

Lo que sigue son algunas de las instrucciones del EQUIPO SOLVITA DE VIDA DEL SUELO:



Realizar el Ensayo Solvita

1. Muestreo del Suelo: El suelo debería ser muestreado en cualquier jardín o predio, en condiciones fresca, húmeda, justo antes de que se lleve a cabo el ensayo. Tome muchas muestras (pequeñas) de varios sitios y mezcle suficientemente bien como para lograr homogeneidad y extraiga piedras grandes y residuos orgánicos.

2. Humedad Ideal del Suelo: El suelo debería estar a humedad ideal, con respecto a las condiciones de crecimiento, antes del muestreo. Si la muestra está muy seca o muy mojada, lo mejor es esperar hasta que retornen condiciones favorables. Esto podría significar regar un suelo seco y esperar 1-2 días antes de muestrear. Si está demasiado mojado, haga un pequeño montón para que pueda drenar, o esparza para secar hasta un nivel de humedad moderada. La idea es disturbar lo menos posible la condición natural.

3. Ponga la Muestra en el Recipiente: Ponga la muestra suelta, de suelo dentro del tarro justamente hasta la línea que marca el estado de llenura. Mientras llena el recipiente golpee enérgicamente contra una mesa; esto ayuda a alcanzar la densidad correcta. Llène sólo hasta la línea marcada. Registre la hora en la tapa.

4. Comience el Ensayo: Cuando esté listo para iniciar el ensayo abra el paquete metálico tirando de la faja superior y saque las paletas con cuidado. No toque la superficie del gel y no permita que el suelo estre en contacto con ella. Al comienzo del ensayo las paletas tendrán el color # 0 (azul brillante). Una vez abierto el paquete metálico, el ensayo deberá ser iniciado dentro de los 30 minutos.

5. Inserte las Paletas: Introduzca la punta inferior del adminículo con las paletas en el suelo del tarro, de manera que el lado con gel pueda verse desde la visual posterior. Ponga cuidado en no golpear o inclinar el tarro. Ajuste la tapa muy fuertemente y mantenga el recipiente a temperatura ambiente (20 – 25°C), apartado de la luz solar, durante 24 horas.

6. Encuentre el Color del Gel: Después de 20 –28 horas compare el color de las paletas con la clave de color provista. Para esto, las paletas deben dejarse en el tarro, con la tapa cerrada, o sacadas y puestas con la parte frontal para arriba, sobre una superficie blanca.

¹ Los nombres de marcas son usados exclusivamente para proveer información específica. La mención de una marca no significa que el producto esté garantizado por el Departamento de Agricultura de los EEUU y tampoco implica preferencia por el Departamento del Servicio de Conservación de Recursos naturales respecto de productos comparables que no sean nombrados.

C. Mantenimiento y Calibración del Medidor de CE y del pH.

Mantenimiento del medidor de CE:

- No sumerja el medidor de CE por sobre el nivel de inmersión (**Figura 1c**). Bajo ninguna circunstancia debe sumergirse el medidor por encima del sector de visualización.
- Si no está en uso apague el medidor y póngale la tapa protectora.
- Para mejorar el rendimiento limpie periódicamente los electrodos de acero enjuagándolos con alcohol durante algunos minutos.
- Reponga todas las cuatro pilas si la iluminación del sector de visualización se torna débil o desaparece, o si las lecturas se tornan inestables o constantes.
- Para cambiar las pilas en los modelos DIST WP destornille el tapón posterior con una moneda y reemplace las pilas (**Figura 2c**).

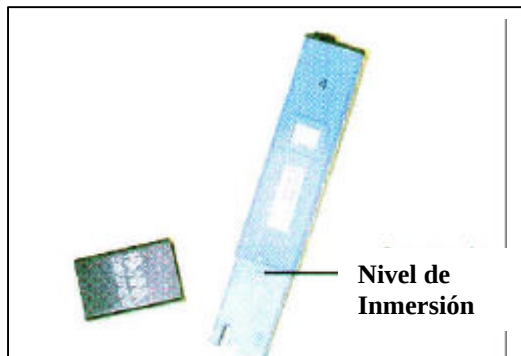


Figura 1c

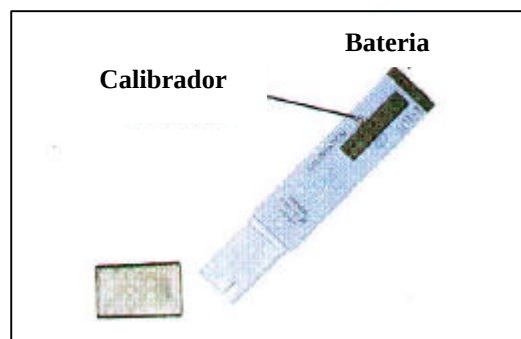


Figura 2c

Calibración del medidor de CE:

- Sumerja el medidor en la solución de calibración (1.41 dS/m).
- Permite que se estabilice la lectura. Usando un pequeño destornillador, gire el Ajustador de Calibración hasta igualar al valor de la solución, 1.41 dS/m (normalmente a 25°C).

Mantenimiento del medidor de pH:

- Alrededor del tope pueden aparecer cristales (**Figura 3C**). Esta condición es normal. Los cristales se disuelven cuando se enjuaga con agua. Después del uso, enjuague el electrodo con agua, para minimizar la contaminación

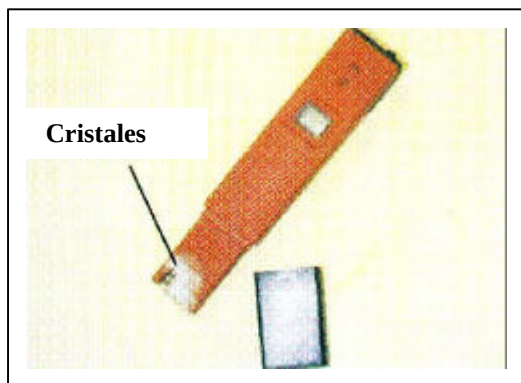


Figura 3c

- Guarde el electrodo con algunas gotas de solución de almacenamiento (HI 703001) ó con solución pH= 7 en la tapa protectora. **NO ALMACENE CON AGUA DESTILADA O DESIONIZADA.**
- Reponga siempre la tapa protectora después del uso.

- Grandes diferencias en lecturas de pH ($\pm 0,5$ pH) podrían deberse a falta de calibración, electrodo seco, o pilas gastadas.
- Si el pHímetro no puede ser prendido o si la iluminación del sector de visualización se desvanece, desenrosque el compartimiento de las pilas, y reemplace las cuatro pilas, poniendo atención en orientar bien sus polaridades (**Figura 4 c**).

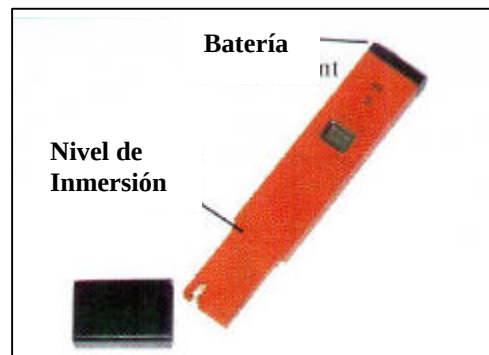


Figura 4c

Calibración del pH (pHep 3¹):

- Prepare soluciones tampón. Sólo se necesitan 2 tampones, pH 7, y 4 ó 10, dependiendo del rango de pH de los suelos en cuestión (**ver Figura 5 c**)
- Prenda la unidad presionando el botón ON/OFF.
- Con el medidor de pH prendido, presione y mantenga el botón de ON/OFF durante unos tres segundos. El sector de visualización comenzará a titilar "7.0₀" confirmando que usted ha iniciado el mecanismo de calibración
- Sumerja el pHímetro en la solución tampón(buffer) pH 7. Agite suavemente y espere aproximadamente 20 segundos.
- Si en el sector de visualización aparece "Ec" la solución de pH 7 no es fresca, o el electrodo no está acondicionado.
- El medidor pHep3 confirma automáticamente la calibración pH 7 luego que el medidor está ajustado. El sector de calibración oscilará en "4.0o". Después de algunos segundos mostrará "Ec" para instar a usar una segunda solución tampón.
- Enjuague el electrodo con agua y sumerja en pH 4 para muestras ácidas o en pH10 para muestras alcalinas. Deje aproximadamente 20 segundos para que el medidor auto-confirme la lectura. Una vez que el sector de visualización deje de oscilar, el medidor está calibrado y listo para usar. **Siempre use Tampones(buffers) Frescos para la Calibración.**



Figura 5c

D. Construyendo un Equipo de Muestreo de Calidad de Suelo

Inventario del equipo

- Dos anillos de infiltración de 6" (15.24 cm) de diámetro y 5" (12.70 cm) de altura; cortados a partir de tubos de irrigación de aluminio de 3.17 mm de espesor; con borde biselado en un extremo (**Figura 1d**). Marque una línea alrededor del tubo, a 5,08 cm del borde superior.
- Rollo de plástico para empaque, de 30,48 cm de ancho.
- Dos cilindros graduados, de 500 mL. Como sustituto pueden usarse botellas plásticas de 500 mL de bebidas sin alcohol (**Figura 2d**). Marque una línea alrededor del nivel de 444mL.
- Martillo o maza de goma de 908 g (2lb).
- Bloque de madera de 19.70 cm de largo, por 5.08 cm por 10.16 cm (**Figura 3d**).
- Dos tapas con tapones para la cámara de respiración. (**Figura 4d**). Puede usarse la base de una lata de comestibles (**Figura 5d**), cortada a 2.54 cm de altura. Las tapas deberían ser blancas o plateadas para reducir la absorción de calor. Para permitir el muestreo de gas, se taladran tres agujeros en la parte superior de la tapa, y se los cierra con tapones de goma tomados de botellas de suero o de vitaminas.
- Dos tubos de látex de 15.24 cm de longitud (0.48 cm x 0.16 cm).
- Tres agujas hipodérmicas de 3.81 cm. Jeringa plástica de 140 cm³ (mL) (**Figura 6d**). Un agujero de 2 mm puede taladrarse en el extremo del mango de la jeringa.
- Paquete de 10 tubos Draeger (Tubos de detección de 0.1% CO₂) (**Figura 6d**).
- Termómetro para suelo (Celsius).
- Dos tubos de muestreo de 7.62 cm de diámetro, y 12.70 cm de altura; cortados a partir de un tubo de irrigación, de aluminio, de 0,31 cm de espesor; biselado en un extremo (**Figura 1d**). Marque una línea alrededor del tubo, a 5.08 cm del borde superior.
- Cuchillo de hoja ancha.
- Desplantador de jardín (resistente) (**Figura 7d**).
- Bolsas plásticas de muestreo, con cierre, de 1,1 L.
- Alambre de 45.72 cm de largo, y 0.31 cm de diámetro. Como sustituto puede emplearse una percha estirada.
- Cucharón calibrado, 30 mL (**Figura 7d**).
- Piseta
- Cuatro recipientes plásticos de 120 mL con tapas (**Figura 7d**). Como alternativa puede usarse cualquier otro recipiente con tapa, de dimensiones similares; por ejemplo, jarros para alimentos de

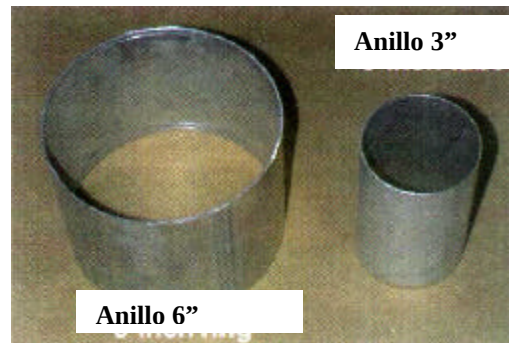


Figura 1d



Figura 2d



Figura 3d

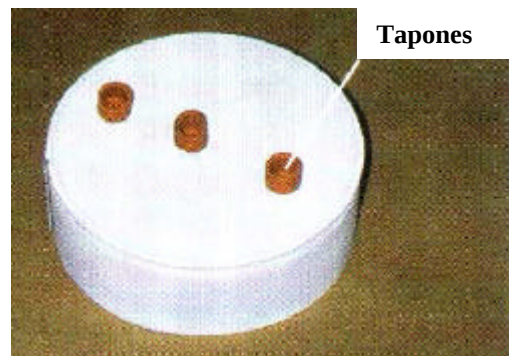


Figura 4d

bebés. Medidor de conductividad eléctrica (rango: 0.01 – 9.99 mS) (**Figura 8d**).

- Colores estándar comparativo para CE, 1.41 dS/m (0.01 M KCl).
- Pequeño destornillador (para el medidor de CE).
- medidor de pH (**Figura 8d**).
- Paquetes tampón(buffer) de pH4; 7; y 10 (**Figura 9d**).
- Botella con bandas de chequeo de nitratos/nitritos (**Figura 10d**).
- Caja con papeles de filtro, de 12.5 cm de diámetro; grado 5 (**Figura 11d**).
- Tres goteros comunes, para ojos.
- Cinta métrica; 183 cm (6 pies).
- Pequeña calculadora.
- Marcador (permanente).
- Secador de pelo de 400 watt (**Figura 12d**).
- Tamiz de 2 mm, de 7.62 cm de diámetro (**Figura 13 d**).
- Dos tamices de 0.25 mm, de 5.08 cm de diámetro (**Figura 14d**).
- Cámara de secado, contiene dos tamices de 5.08 cm (**Figura 15 d**).
- Dos retazos de tejido de 15.24 cm x 15.24 cm,
- Calgón (forma cirsitalina).
- Equipo para determinar la estabilidad de agregados (caja con 18 secciones con 18 tamices de 1.5 mm) (**Figura 16d**).
- Cronómetro
- Alicata para uñas.
- Vasos de papel.

Otros ítems necesarios:

- Balde u olla.
- Polvo “mostaza” (opcional).
- Pala angosta.
- Agua destilada.

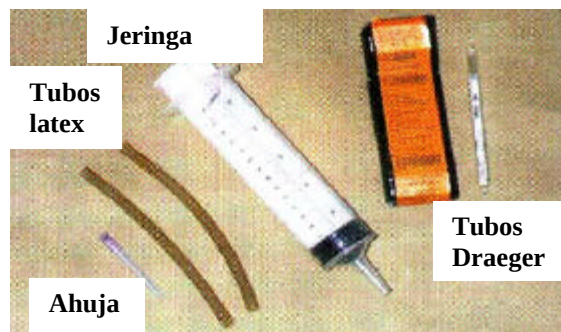


Figura 6d

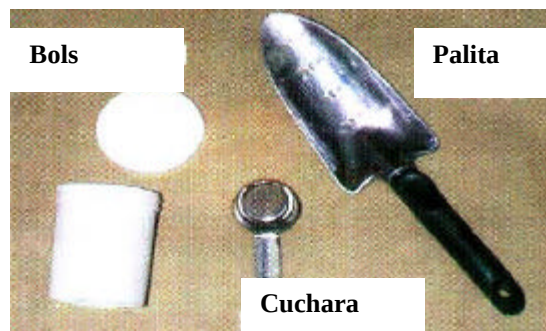


Figura 7d

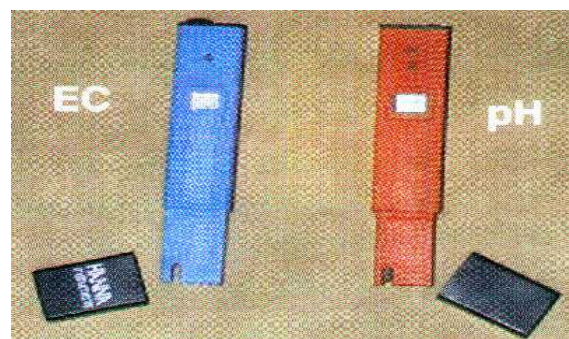


Figura 8d

El equipo requiere el empleo de una balanza, con una precisión de 0.1 g.



Figura 5d



Figura 9d

¹ Los nombres de marcas son usados exclusivamente para proveer información específica. La mención de una marca no significa que el producto esté garantizado por el Departamento de Agricultura de los EEUU y tampoco implica preferencia por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales respecto de productos comparables que no sean nombrados.

La lista de las páginas anteriores describe todos los artículos necesarios para armar un equipo. Las indicaciones siguientes se refieren a artículos que pueden ser contruidos fácilmente.

Construcción de tamices de 2mm

1. El tamiz de 2mm de abertura puede hacerse cortando discos de aproximadamente 75 mm de diámetro de una malla N° 10 (abertura = 2 mm).
2. La periferia de un disco se suelda sobre el borde de un tubo de 3 pulgadas de diámetro (76.20 mm).
3. Sección de un tubo de 75 mm de diámetro por 38 mm de altura.
4. Se pone cemento plástico en la pared externa del tubo de 75.00 mm de diámetro y en la pared interna del tubo de 76.20 mm. El tubo de 75 mm es empujado firmemente hacia adentro del tubo de 76.2 mm, y así los dos tubos quedan cementados (**Figura 13d**).

Construcción de tamices de 0.25 mm

Los tamices de 0.24 mm de abertura pueden construirse a partir de mallas N° 60 (adquiribles en ferreterías), cortadas, y montadas en la base de Juntas de 5.08 cm de diámetro (ferreterías) mediante cemento Epoxi, u otros cementos espesos (**Figura 14d**).

Construcción de una cámara de secado

1. Puede ser usado cualquier recipiente plástico. El recipiente usado aquí es un recipiente plástico de 10.16 cm x 15.24 cm, con tapa (**Figura 15d**).
2. Taladre dos agujeros de 5.71 cm en el fondo del recipiente (para la inserción de tamices de 5.08 cm).
3. Taladre cuatro agujeros de 0.25 cm en cada lado del recipiente, y un agujero de 2.45 cm en un lado para la inserción del secador de cabello. Puede usarse un anillo de goma de 2.54 cm para “tapizar” el agujero de 2.45 cm para producir un buen sellamiento cuando se inserta el secador (**vea figura 15d**).

Para posibilitar el secado de más tamices (para un gran número de muestras) se puede usar un recipiente mayor, con más agujeros de 5.71 cm (**Figura 18d**). El recipiente mostrado en la figura 18d es una caja para elementos de pesca (34.29 x 20.32 x 15.24 cm).



Figura 10d



Figura 11d



Figura 12d

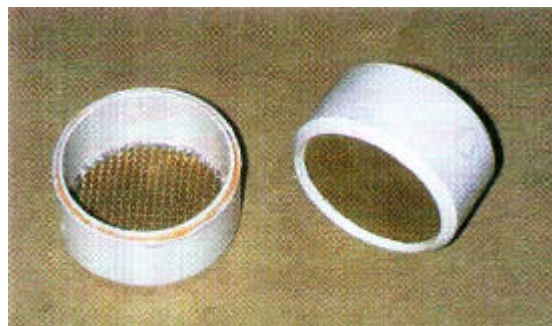


Figura 13d

Construcción de un Equipo para Estabilidad del Suelo.

Construcción de la Caja

1. Adquiera una caja con pequeños compartimentos, con tapa; 18 compartimentos o celdas, cada uno de por lo menos 3.17 x 3.17 x 3.81 cm de alto (figura 16d). (Casa de deportes o ferretería).
2. Selle las celdas individuales de la caja con una pequeña cantidad de cemento de siliconas o material similar.

Construcción de Pequeños Tamices (figura 17d).

Materiales:

- Tubo plástico de 2.54 cm de diámetro, de pared fina, de alrededor de 6.35 de longitud..
- Tela metálica para ventanas (aperturas de 1,5 mm); una pieza de 10.16 x 20.32 (ferretería).
- Adhesivo (epoxi o cemento pesado) (almacén o ferretería).

Instrucciones

1. Comenzando con el extremo izquierdo del tubo plástico, haga marcas a intervalos de 3.81 cm; se necesitan 20 marcas. Haga una marca menor, a una distancia de 0.63 a 0.95 cm a la izquierda de todas las primeras marcas.
2. Comenzando en el extremo izquierdo, corte a través de $\frac{3}{4}$ partes del tubo en la primera marca, con una sierra para metal.
3. Comenzando en el extremo izquierdo use tijeras para metal y corte longitudinalmente cuidando de dejar una "lengüeta" de 0.63 cm de diámetro (ver Figura 17d).
4. Empleando tijeras de metal o sierra para metal corte a través del tubo en la primera marca grande (3.81)
5. Repita los pasos 6-8 para cada uno de los 20 tamices.
6. Corte 20 cuadrados de 3.81 x 3.81 de una malla de aluminio para ventanas.
7. Pegue un cuadrado de malla de aluminio sobre la base de cada tamiz.
8. Luego de dejar secar el cemento, recorte con cuidado los rebordes de la malla de aluminio alrededor del borde de los tamices.



Figura 14d



Figura 15d



Figura 16d

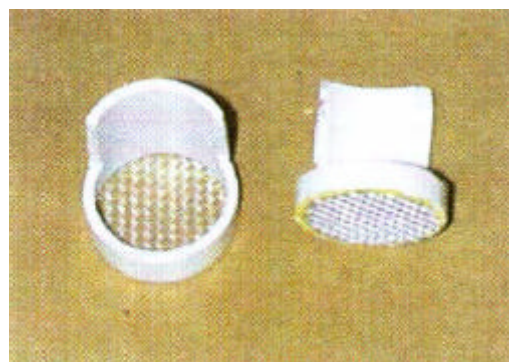


Figura 17d



Figura 18d

Venta de los artículos del equipo

<u>Proveedor</u> ⁽¹⁾	<u>Artículos</u> ⁽¹⁾
Gempler's Inc 100 Contryside Dr. P.O. Box 270 Belleville, WI 53508 (608) 424-1544 http://www.gemplers.com	Un equipo de control de calidad tal como está descrito en este manual Todos los ítems individualmente.
Fisher scientific Pittsburgh, PA Ph. (800) 760-7000	Tubos Draeger Papel de filtro, medidor de pH, conductímetro(CE), balanzas, cilindros graduados, botellas de 500 mL, recipientes plásticos, tubos de látex, agujas hipodérmicas.
Scientific Industries 227 Blue Bell Ave. Boulder, CO 80302 Ph. (303) 443-7087	Tubos Draeger
Spectrum technologies 23839 W. Andrew Rd Plainfield, IL 60544 PH (800) 248-8873	Cinta AguaChek para prueba de nitratos/nitritos pHímetro y conductímetro Balanzas
Whatman Labsales P.O. Box 1359 Hillsboro, OR 97123 Ph. (800) 942-8626	Solución estándar para CE (botella de 500 mL, 1413 microsiemens) Cápsulas de tampón(buffer) de pH (pH 4.7 y 10) papel de filtro, pHímetro y conductímetro, balanzas, cilindros graduados, botellas de 500 mL, recipientes plásticos.
Walgreens	Secador de cabello de 400 watt
Forestry Suppliers, Inc. PO Box 8397 Jackson, MS 39284 Ph. (800) 647-5368	Tamices, balanzas
Woods End Research Mt. Vernon, ME Solvita@woodsend.org Provisión de equipo de Veterinaria y Medicina	Items del Vida del Suelo Solvita.
Ferretería	Jeringa de 140 cm ³
Almacenes, o proveedores mayoristas	Martillos de 2 libras, cintas métricas, cuchara de jardín, pequeños destornilladores. Material plástico para envolver, bolsas sellables, cucharón calibrado de 30 mL.

⁽¹⁾ Estos nombres de marcas son usados sólo para brindar información específica. La mención de una marca no constituye una garantía del producto por el Departamento de Agricultura de los EEUU y no significa preferencia por parte del Servicio de Conservación de Recursos Naturales respecto de otros productos no mencionados.

Descripción del Sitio de Evaluación de la Calidad del Suelo

1. DESCRPCIÓN EL SITIO		FECHA
Ubicación del Mapa Ubicación Geográfica Localización del Sitio Propietarios	Longitud: Latitud:	Provincia: Departamento:
INFORMACIÓN DEL SUELO		
Serie de Suelo Pendiente % Erosión Temp. Media Anual Precip. Media Anual		
MANEJO ACTUAL		
Sistema de Cultivos (Rotaciones, Cultivos de Cobertura, etc.)		
Fertilizantes/Pesticidas (Insumos de N, uso de pesticidas, etc)		
Labranzas/Cubierta de residuos		
Tipo, profundidad, frecuencia, Fechas, % de cobertura, etc)		
Riego (pivote, gravedad, frecuencia, fecha, % de cobertura, etc.)		
Otros		
HISTORIA DE MANEJO EN EL PASADO		
Sistema de Cultivos (Rotaciones, cultivos de cobertura, etc. Fertilizantes/Pesticidas (Insumos de N, uso de pesticidas, etc) Labranzas/Cubierta de residuos (Labranzas pasadas, frecuencia y tipo) Riego (riego anteriores, ¿durante qué lapso?		
Eventos Inusuales		
(Inundaciones, fuego, nivelaciones de terrenos)		

Vista aérea del lote mostrando sitios de muestreo y ubicación de áreas ecológicamente sensibles, tales como charcas, arroyos, áreas húmedas, y otros sitios frágiles.

2. Escala 1 pulgada=pies, (NA indica que el esquema no es a escala).

Especificaciones Adicionales y Notas

10. Infiltración (para 1 pulgada de agua)								Fecha	
	Sitio de Muestreo	1ra pulgada de agua		(w) 1er. Tiempo de Infiltración (minutos)	* 1ra. Infiltración (in/hr)	2da. Pulgada de agua		(W) 2do. Tiempo de infiltración (minutos)	* 2da. Infiltración (pulgada/hora)
		Hora de comienzo	Hora de finalización			Hora de comienzo	Hora de finalización		
1									
2									
3									
4									
* Conversión de tiempo de infiltración a pulgadas por hora (in/hr); $\text{in/hr} = (1/W) \times 60$									
Notas: 									

3. Densidad Aparente y Estado del Agua del Suelo (método del sacabocado).									Fecha	
	Sitio de la Muestra	(h) Altura del anillo sobre el suelo (cm)	(E) Peso del suelo, con la humedad al muestreo + bolsa (gramos)	(F) Peso de la bolsa (gramos)	Submuestra para determinar contenido de agua				**(M) Contenido de Agua del suelo (g/g)	*** Densidad aparente del suelo (g/cm ³)
					(G) peso del vaso de papel (gramos)	(I) Peso del vaso de papel + Suelo (g)	(K) Peso del suelo seco + vaso	* (L) Peso del suelo seco (gramos)		
1										
2										
3										
4										
Peso seco de la submuestra del suelo = (K – G)				** Contenido de H ₂ O del suelo = (I - K) /L						
*** Densidad aparente del Suelo = [(E – F) / (1+ M)] /[(12,7 –h) x 42.52] h:8.08 cm (2 pulgadas) si no está medido; volumen del suelo= 324 cm ³										
Densidad Aparente y estado del Agua para Suelos Gravillosos (método de la excavación)										
	Sitio del Muestreo	(n) Volumen de agua (cm ³)	(E) Peso del suelo, con la humedad al muestreo + bolsa (gramos)	(F) Peso de la Bolsa (gramos)	Submuestra para determinar contenido de agua del suelo				** (M) Contenido de H ₂ O del suelo (g/g)	*** Densidad aparente del suelo (g/cm ³)
					(G) peso del vaso de papel (g)	(I) Peso del vaso de papel + suelo (g)	(K) Peso seco de suelo + vaso	* (L) Peso seco del suelo (gramos)		
1										
2										
3										
4										
*Peso seco de la submuestra del suelo = (K – G)				** Contenido de H ₂ O del suelo = (I - K) /L						
*** Densidad aparente del suelo = [(E-F) / (1+M)]/(n) n= volumen del suelo en cm ³										

4. Conductividad Eléctrica de los suelos, pH y Nitratos (NO ₃ ⁻)							Fecha
	Sitio de muestreo	(X) Peso del suelo, con la humedad al muestreo (gramos)	Lecturas para una mezcla de suelo:agua 1:1			*N (enNO ₃ ⁻ -N) Estimado (1bN(enNO ₃ ⁻)/acre) (1b NO ₃ ⁻ -N/acre)	** N(enNO ₃ ⁻), exacto (1b NO ₃ ⁻ -N / acre)
			CE (ds/m)	PH	(Y) N (enNO ₃ ⁻ -N) del suelo ppm(est)		
1							
2							
3							
4							
* ** } Cálculos (ver primera versión) 1b= libra, tiene valores variables * Estimado = (1bN (enNO₃⁻) = Yx [profundidad del suelo en cm/10] x densidad aparente x0.89..... Profundidad del suelo=profundidad del suelo mapeado en cm; para la caja es 0 a 3 pulgadas = 7.6 cm ** Exacto : 1bNO₃⁻ - N/acre = Y x C>F. X [profundidad del suelo en cm/10] x densidad aparente x 0.89 C.F. = [130 mL + ((X/(1 + M)) x M)] / [X/(1 + M)] M= contenido decimal del agua en el suelo (g/g) * Estimado = (1bN (enNO₃⁻) = Yx [profundidad del suelo en cm/10] x densidad aparente x0.89..... Profundidad del suelo=profundidad del suelo mapeado en cm; para la caja es 0 a 3 pulgadas = 7.6 cm							

5. Mediciones de Calidad del Agua			Fecha	
Sitio de muestreo		Salinidad (ds/m)	Nitritos en el agua (ppm)	Nitratos en el agua (ppm)
1				
2				
3				
4				
Notas:				

6. Estabilidad de Agregados						Fecha
	Sitio de muestreo	(A) Peso del tamiz (gramos)	(B) Peso del tamiz + agregados (gramos)	(C) Peso del tamiz + agregados secos (gramos)	(D) Peso del tamiz + arena seca (gramos)	*Porcentaje de agregados estables al agua (% de suelo>0.25mm)
1						
2						
3						
4						
* % de agregados Estables en agua = (C – D) / (B – D) X 100.						

7. Ensayo de Desleimiento										Fecha
	Sitio de Muestreo	Evaluaciones Individuales de Desleimiento del Suelo								* Evaluación Promedio de Desleimiento del Suelo
1										
2										
3										
4										
* Evaluación de Desleimiento de Suelos = (añadir todos los promedios individuales y % por el número total)										

8. Lombrices				Fecha:	Notas:
	Sitio de muestreo	Lombrices que viven en la superficie	Lombrices que viven en la profundidad	Total de lombrices (nº Por pie cuadrado)	
1					
2					
3					
4					

9. Observaciones de Suelo y Estimaciones			Fecha		Clase para Indices de Estructura			
	Descripción		Estructura			Clase a		
			Tipo	Tamaño	Grado			
Profundidad del horizonte superior (pulgadas)			Granular	Fino, Medio, Grueso	Débil	2		
			Granular	Fino, Medio, Grueso	Moderado	4		
Raíces			Granular	Fino, Medio, Grueso	Fuerte	5		
			En bloques	Muy fino, Fino, Medio	Débil	1		
			En bloques	Muy fino, Fino	Moderado	4		
Capa compactada			En bloques	Muy fino, Fino, Medio	Fuerte	5		
			En bloques	Medio	Moderado	3		
Textura del Suelo			Laminar	Delgado, Medio, Grueso	Muy friable b	3		
			Laminar	Delgado, Medio, Grueso	Friable b	2		
Otros			Laminar	Delgado Medio, Grueso	Firme o Muy Firme b	1		
			Masivo			1		
			Grano suelto			1		
Nota: a) La Clase 5 es la mejor. b) Sustituya la resistencia horizontal a ruptura en húmedo.								
Estructura del Suelo							Fecha	
Profundidad (pulgadas)	Tipo	Tamaño	Grado	(A) Clase	(B)	(A) x (B)	*Indice de Estructura	
0 -4					3			
4 -8					2			
8 -12					1			
* Indice de estructura: ((Total-6)/24) x 100					Total			
							NOTAS:	

EQUIPO DE ENSAYOS DE CALIDAD DE SUELOS

Sección II

ANTECEDENTES Y GUIA INTERPRETATIVA DE ENSAYOS INDIVIDUALES



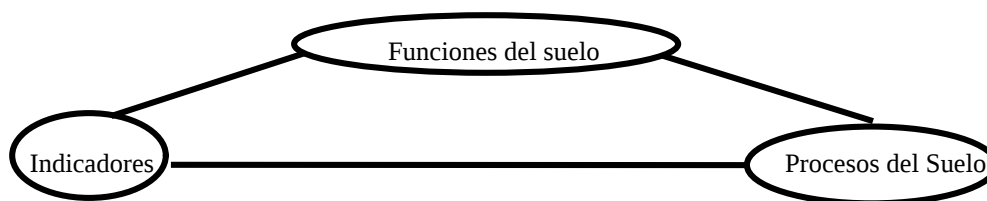
Sección II

	Página
Introducción	51
Antecedentes y guías interpretativas:	
<u>1.</u> Respiración del suelo	52
2. Infiltración	55
3. Densidad aparente	57
4. Conductividad eléctrica (CE)	59
5. pH del suelo	63
6. Nitratos del suelo	67
7. Estabilidad de agregados	69
8. Desleimiento del suelo	72
9. Lombrices	73
10. Observaciones y Estimaciones de Física de suelos	75
11. Calidad del agua	79
Salinidad del agua	
Niveles de nitratos/nitritos en el agua	

Introducción

La evaluación de la calidad del suelo, o su interpretación, deberían ser consideradas como un proceso a través del cual los recursos edáficos son evaluados sobre la base de las funciones del suelo (aquello que el suelo realiza) y de los cambios en las funciones del suelo que surjan en respuesta a un estrés natural o introducido, o de una práctica de manejo. Se han propuesto cinco funciones edáficas vitales. Ellas son: (1) Sostener la actividad, diversidad y productividad biológica, (2) Regular y particionar el agua y flujo de solutos; (3) Filtrar, tamponar (buffering), drenar, inmovilizar y desintoxicar materiales orgánicos e inorgánicos, incluyendo desechos municipales y de la industria; (4) Almacenar y posibilitar el ciclo de nutrientes y otros elementos dentro de la biósfera de la tierra; (5) Brindar apoyo a estructuras socio-económicas y protección de tesoros arqueológicos asociados a la vivienda humana (Karlen et al. 1997).

También es importante enfatizar que las evaluaciones de la calidad del suelo deben tener en cuenta propiedades y procesos biológicos, químicos y físicos. Para la interpretación, las mediciones deben ser evaluadas con respecto a tendencias a largo plazo o a señales de sustentabilidad. Una secuencia general de cómo evaluar la calidad del suelo es: (1) definir las funciones del suelo en cuestión, (2) identificar procesos edáficos específicos asociados a esas funciones, y (3) identificar propiedades del suelo e indicadores que sean suficientemente sensibles como para detectar cambios en las funciones o procesos del suelo de interés (Carter et al. 1997)



La Sección II provee los antecedentes y la información interpretativa para cada ensayo descrito en la Sección I. Cada ensayo es considerado como una identificación del nivel de funcionamiento. Sin embargo, los datos de los indicadores no tienen valor si no se tiene una línea de base o una condición referencial disponibles para comparar o si no se hacen comparaciones relativas entre sistemas de manejo.

Referencias

- Carter, M.R., E.G. Gregorich, D.W. Anderson, J.W. Doran, H.H. Janzen, and F.J. Pierce. 1997. Concepts of soil quality and their significance. P. 1-20. In: E.G. Gregorich and M.R. Carter. (eds.) Soil quality for crop production and ecosystem health. Elsevier Science, Amsterdam.
- Karlen, D.L., M.J. Mausbach, J.W. Doran, R.G. Cline, R.F. Harris, and G.E. Schuman. 1997. Soil quality: A concept, definition, and framework for evaluation. Soil Sci. Soc. Amer. J. 61:4-10.

1- Respiración del suelo

Introducción

La respiración es la producción de dióxido de carbono (CO₂) como resultado de la actividad biológica en el suelo, realizada por microorganismos, raíces vivas, y macroorganismos tales como lombrices, nemátodos o insectos (Parkin et al, 1996). El dióxido de carbono emitido desde el suelo es un gas incoloro e inodoro que entra en la atmósfera y anualmente supera la cantidad emitida por todas las actividades humanas (Volk, 1994). La actividad de organismos en el suelo es considerada como un atributo positivo para la calidad del suelo.

La respiración del suelo es altamente variable, tanto espacialmente como estacionalmente, y está fuertemente afectada por condiciones de humedad y temperatura. Dado que esta variable puede complicar las interpretaciones, deben tomarse ciertas precauciones durante el muestreo.

Conocer la historia del sitio de muestreo y las características de los suelos cercanos se torna muy importante al evaluar la respiración. El color del suelo puede proveer alguna ayuda al interpretar índices de respiración. Un suelo de color claro, con un elevado índice de respiración puede ser indicativo de un suelo que está perdiendo su materia orgánica. Un suelo relativamente más oscuro con el mismo índice de respiración podría ser considerado sano. El color oscuro indica la presencia de materia orgánica. Las labranzas y la cultivación pueden ocasionar la pérdida de carbono del suelo y un aumento del CO₂ liberado. El suelo es aflojado, lo cual crea mejor accesibilidad para el oxígeno necesario para la respiración y descomposición de la materia orgánica, produciendo una liberación de CO₂ (Reicosky y Lindstrom, 1995).

Interpretaciones

Cuando se comparan índices de respiración edáfica de diferentes sitios, o del mismo sitio en épocas diferentes, deben ser tomados en consideración las diferencias en temperatura del suelo y el contenido de agua del suelo.

Las correcciones para la temperatura del suelo pueden ser realizadas usando la regla general de que la actividad biológica se incrementa por un factor de dos cada 10° C de aumento de temperatura (Parkin et al, 1996). La siguiente ecuación puede ser usada para estandarizar, para los 25° C, diferencias de temperaturas del suelo que se hallan entre 15 y 35° C:

Índice estandarizado de respiración del suelo = índice de respiración del suelo $\times 2^{[(25-T)/10]}$

Para temperaturas del suelo de entre 0 y 15° C se usa la siguiente ecuación:

Índice estandarizado de respiración del suelo = índice de respiración del suelo $\times 4^{[(25-T)/10]}$

Por ejemplo, si se tiene un índice de respiración del suelo de 15 C(en CO₂ –C) libras/acre/día y una temperatura del suelo de 22° C, se debe emplear la primera de las ecuaciones indicadas más arriba, y el índice estandarizado de respiración del suelo será calculado de la siguiente forma:

1. $[(25-22)/10] = 0.3$
2. $2^{0.3} = 1.2$
3. $(15\text{CO}_2 - \text{C lbs/a/d}) \times 1.2 = 18 \text{CO}_2 - \text{C lbs/a/d}$ (promedio de respiración estandarizada a 25°C)

La estandarización para diversos contenidos de agua en el suelo también debe ser tomada en consideración.

La actividad biológica máxima generalmente ocurre cuando el 60% de los poros del suelo están ocupados por agua (Parkin et al. 1996). La cantidad de agua en el espacio de poros es denominada **espacio poroso ocupado por agua** (EPOA) y es indicativa del grado de aireación del suelo al momento del muestreo.

$$\text{Espacio poroso ocupado por agua (\%)} = (\text{contenido volumétrico de agua} \times 100) \% [1 - (\text{densidad aparente} \% 2.65)]$$

La respiración del suelo puede ser ajustada a valores equivalentes al 60% de EPOA por medio de la siguiente ecuación, para valores EPOA de entre 30 y 60% (Parkin et al, 1996):

$$\text{Respiración del suelo} = \text{Índice de respiración del suelo} \times (60 \% \text{ EPOA medido})$$

Para valores de EPOA de entre 60 y 80%, se emplea la siguiente ecuación:

$$\text{Respiración del suelo } 60 = \text{Índice de respiración del suelo} \% [(80 - \% \text{EPOA}) \times 0.03] + 0.4.$$

Cuando el contenido del agua en el suelo, o EPOA, excede el 80% la respiración puede estar restringida por condiciones de humedad y no debería ser medidas. La relación entre EPOA y la respiración del suelo ha sido evaluada primordialmente en el laboratorio y faltan aún los ensayos a campo (Parkin et al., 1996).

Tabla 1- Índices generales para clases de respiración del suelo, y estado del suelo, en condiciones óptimas de temperatura y humedad, primordialmente para uso agrícola (Woods End Research, 1997)		
Respiración del suelo kg C (en CO ₂)/ha/d	Clase	Estado del Suelo
0	Sin actividad del suelo	El suelo no presenta actividad biológica y es virtualmente estéril.
< 10.64	Actividad del suelo muy baja.	El suelo ha perdido mucha materia orgánica disponible y presenta poca actividad biológica.
10.64 – 17.92	Actividad del suelo moderadamente baja.	El suelo ha perdido parte de materia orgánica disponible y la actividad biológica es baja.
17.92 – 35.84	Actividad del suelo mediana.	El suelo se está aproximando, o alejando, de un estado ideal de actividad biológica.
35.84 – 71.68	Actividad del suelo ideal	El suelo se encuentra en un estado ideal de actividad biológica y posee adecuada materia orgánica y activas poblaciones de microorganismos.
> 71.68	Actividad del suelo inusualmente alta.	El suelo tiene un muy elevado nivel de actividad microbiana y tiene elevados niveles de materia orgánica disponible, posiblemente a través del agregado de grandes cantidades de materia orgánica fresca o abonos.

Un índice elevado de respiración del suelo es indicativo de una elevada actividad biológica y puede ser buen signo, indicativo de una rápida descomposición de residuos orgánicos hacia nutrientes disponibles para el crecimiento de las plantas. Sin embargo, la descomposición de la materia orgánica estable es perjudicial para diversos procesos físicos y químicos tales como agregación, intercambio catiónico y capacidad de retención de agua. Asimismo, inmediatamente a continuación de una operación de labranza, la evolución del CO₂ puede acelerarse dramáticamente debido a la exposición de la materia orgánica a organismos y oxígeno.

Asimismo, la respiración del suelo puede subir dramáticamente luego de precipitaciones (Rochette et al. 1991). La elevación de la respiración del suelo está afectada por el largo del tiempo durante el cual el suelo está seco antes del evento pluvial.

Bajo condiciones secas la respiración del suelo tiende a ser más elevada en los surcos con cultivos que en los intersurcos (Rochette et al, 1991). Los índices de respiración más elevados son atribuibles a la contribución brindada por las raíces de las plantas.

Bajo condiciones húmedas generalmente no se detectan diferencias entre surco e intersurco. Si el intersurco ha sido compactado (pasaje de ruedas) y el suelo está húmedo la respiración del suelo tiende a ser menor que en el surco. A una menor porosidad del suelo se debe el menor índice de respiración bajo condiciones compactadas.

La actividad biológica es un reflejo directo de la degradación de materia orgánica del suelo. Esta degradación indica que están sucediendo dos procesos: (1) pérdida de carbono del suelo. y (2), entrega de nutrientes (Parkin et al., 1996). Un índice de respiración edáfica óptimo, que balancee los aspectos perjudiciales a largo plazo de la pérdida de carbono y la entrega de nutrientes del suelo debe ser definido.

Conversiones

$$\text{kg C(en CO}_2\text{) /ha/d} = 10 \text{ C(en CO}_2\text{)/a/d} \times 1.12$$

$$\text{gC(en CO}_2\text{) m}^2\text{ /d} = 10 \text{ CO}_2 - \text{C/a/d} \times 1.12$$

$$\text{kg C (CO}_2\text{)/ha/d} = \text{g C (en CO}_2\text{) m}^2\text{ /d} \times 10$$

Referencias

- Doran, J.W., T. Kettler, m. Liebig. And M. Tsivou. 1997. Solvita soil test evaluation, personal communication.
- Parkin, T.B., J.W. doran, and E. Franco-Vizcaino. 1996. Field and laboratory tests of soil respiration. P. 231-246. In: J.W. Doran and A.J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Prochette, P., R.L. Desjardins, and E. Pattey. 1991. Spatial and temporal variability of soil respiration in agricultural fields. Can. J. Soil Sci. 71:189-196
- Volk, T. 1994. The soil's breath. Natural history November/94.
- Woods End Research. 1997. Guide to solvita testing and managing your soil. Woods End Research Laboratory, Inc., Mt. Vernon, ME

2- Infiltración

Introducción

Infiltración es el proceso de penetración del agua en el suelo. La velocidad a la cual el agua entra en el suelo es la velocidad de infiltración, la que depende del tipo de suelo; de la estructura del suelo, o grado de agregación; y del contenido de agua en el suelo (Lewery et al., 1996). El contenido inicial de agua en el suelo, al momento de la medición, afecta la capacidad del suelo de absorber agua adicional. Por esto la velocidad de infiltración es mayor cuando el suelo está seco que cuando está húmedo. Este factor es importante al comparar mediciones de infiltración de suelos diferentes. Los suelos deberían tener un contenido de humedad similar cuando se realizan las mediciones.

La labranza afecta la velocidad de infiltración. Inmediatamente después de la labranza puede manifestarse una mejor infiltración, debido al aflojamiento de costras superficiales o de zonas compactadas. La labranza afloja el suelo. Sin embargo, la labranza a su vez rompe agregados y deteriora la estructura del suelo creando el potencial para el desarrollo de compactación, encostramiento superficial y pérdida de poros continuos conectados con la superficie. Suelos compactados poseen menos espacio poroso, lo que determina menores velocidades de infiltración. Suelos que tienden a formar costras superficiales, que sellan la superficie del suelo, pueden presentar velocidades de infiltración severamente aminoradas.

Interpretaciones

Dado que la infiltración está afectada por el contenido inicial de agua, al momento del muestreo, es importante que el contenido de agua del suelo sea similar cuando se comparan velocidades de infiltración de diferentes sitios. El ensayo de infiltración del equipo de calidad del suelo requiere dos aplicaciones de 1 pulgada consecutivas. La aplicación de la primera pulgada de agua es utilizada para humedecer el suelo, y la segunda pulgada de agua determina el índice de infiltración. El procedimiento es un intento de estandarizar los suelos respecto de diferencias en el contenido inicial del agua. La mejor manera de determinar la velocidad de infiltración es cuando el suelo está cerca de, o a capacidad de campo, usualmente 12 a 48 horas después que el suelo ha sido mojado a fondo, por ejemplo por una lluvia penetrante o por irrigación.

El régimen de infiltración es sensible a condiciones cercanas a la superficie, y está sometido a un cambio significativo debido al uso del suelo, el manejo y el tiempo. Está afectada por el desarrollo de las raíces de las plantas, excavaciones de lombrices, agregación del suelo, y por un incremento general de la materia orgánica estable (Sarrantonio et al., 1996). La infiltración es rápida hacia grandes poros continuos, en la superficie

Tabla 2. Velocidades estables de infiltración para grupos mayores de textura de suelo, en suelos humectados en profundidad (Hillel, 1982)

Tipo de suelo	Velocidad estable de infiltración
Arenas	2.03 cm/h
Suelos arenosos y limosos	1.02 – 2.03 cm/h
Suelos francos	0.51 – 1.02 cm/h
Suelos arcillosos	0.10 – 0.51 cm/h
Suelos arcillosos, sódicos	< 0.10 cm/h

La infiltración decrece cuando el tamaño o cantidad de espacios poros son aminorados por condiciones tales como destrucción de la estructura, taponamiento de poros por partículas, o movimientos más lentos de aguas más profundas cuando llegan a subsuelos más densos (Donahue et al., 1997).

La textura, o porcentaje de arena, limo y arcilla, afecta el régimen de infiltración. Usualmente, suelos arenosos presentan regímenes de infiltración veloces. Algunos valores típicos para regímenes estables de infiltración (luego de un largo lapso de humectación continua, el régimen de infiltración se torna estable) para grupos mayores de textura del suelo, se presentan en la tabla 2. Sin embargo, los valores en la tabla 2 pueden ser considerablemente mayores en suelos con buena agregación, o agrietados, y durante los estadíos iniciales de la humectación. Los valores pueden ser más bajos si existe encostramiento superficial (Hillel, 1982). La estructura del suelo influencia fuertemente el movimiento del agua hacia la profundidad del suelo.

La tabla 3 muestra velocidades de infiltración, y las clases de infiltración pertinentes. Estas clases son las clases de permeabilidad históricamente usadas en el reconocimiento edafológico del Servicio de Conservación de Recursos Naturales (Soil Survey). Las clases son estimadas a partir de propiedades del suelo y se refieren a una velocidad de infiltración estable.

Tabla 3. Velocidades y Clases de Infiltración		
Velocidad de infiltración (minutos por centímetro)	Velocidad de infiltración (centímetros por hora)	Clases de infiltración
<1.18	> 50.80	Muy rápido
1.18 – 3.94	15.24 – 50.80	Rápido
3.94 – 11.81	50.80 – 15.24	Moderadamente rápido
11.81 – 39.37	15.24 – 5.08	Moderado
39.37 – 118.11	5.08 – 1.52	Moderadamente lento
118.11 – 393.70	1.52 – 0.51	Lento
393.70 – 15,748.03	0.51 – 0.0038	Muy lento
> 15,748.03	< 0.0038	Impermeable

Referencias:

- Donahue, R.L., R.W. Miller, J.C. Shickluna. 1997. Soils: An introduction to soil and plant growth. Prentice Hall, Englewood, New Jersey
- Hillel, D. 1982. Introduction to soil physics. Academic Press, San Diego, CA
- Lowery, B., M.A. Arshad, R. Lal, and W. J. Hickey. 1996. Soil water parameters and soil quality. P.143-157. In: J.W. Doran and A. J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.

3. Densidad Aparente

Introducción

La densidad aparente es definida como la relación entre la masa del suelo secado en horno y el volumen global, que incluye el volumen de las partículas y el espacio poroso entre las partículas. Es dependiente de las densidades de las partículas del suelo (arena, limo, arcilla y materia orgánica) y de su tipo de empaquetamiento. Las densidades de las partículas minerales usualmente se encuentran en el rango de entre 2.5 a 2.8 g/cm³, mientras que las partículas orgánicas presentan usualmente menos que 1.0 g/cm³.

La densidad aparente es una propiedad dinámica que varía con la condición estructural del suelo. Esta condición puede ser alterada por cultivación; pisoteo de animales; maquinaria agrícola; y clima, por ejemplo por impacto de las gotas de lluvia (Arskad et al., 1996). Estratos compactados del suelo tienen altas densidades aparentes, restringen el crecimiento de las raíces, e inhiben el movimiento del aire y el agua a través del suelo.

Interpretaciones

La densidad aparente del suelo puede servir como un indicador de la compactación y de las restricciones al crecimiento de las raíces (ver tabla 4). Típicas densidades aparentes del suelo fluctúan entre 1.0 y 1.7 g/cm³ y generalmente aumentan con la profundidad en el perfil (Arshad et al., 1996). En suelos que contienen altas proporciones de arcillas expansibles las densidades aparentes varían con el contenido del agua, el cual debería ser medido al momento del muestreo.

Tabla 4. Relación general entre densidad aparente del suelo y crecimiento radicular, en base a la textura del suelo.

Textura del suelo	Densidades aparentes ideales (g/cm ³)	Densidades aparentes que pueden afectar el crecimiento radicular (g/cm ³)	Densidades aparentes que restringen el crecimiento radicular (g/cm ³)
Arena, areno-franco	< 1.60	1.69	> 1.80
Franco-arenosa, franco	< 1.40	1.63	> 1.80
Franco-arcilla-arenosa, franco, franco-arcillosa	< 1.40	1.60	> 1.75
Limosa, franco-limosa	< 1.30	1.60	> 1.75
Franco-limosa, franco-arcillo-limosa	< 1.40	1.55	> 1.65
Arcillo-arenosa, arcillo-limosa, algunas franco-arcillosas (35-45% de arcilla)	< 1.10	1.39	> 1.58
Arcillosa (>45% de arcilla)	< 1.10	1.39	> 1.47

Comentarios

Valores de densidad aparente también son necesarios para convertir el contenido de agua del suelo en por ciento por peso (gravimétrico) y en por ciento por volumen (volumétrico):

Contenido volumétrico de agua (g/cm^3) = contenido de agua en el suelo (g/g) x densidad aparente (g/cm^3)

Y para calcular la porosidad, que es la cantidad de espacio poroso en el suelo:
 $\text{porosidad del suelo (\%)} = 1 - (\text{densidad aparente del suelo} \% 2.65)$

Referencias

Arshad, M.A., B. Lowery, and B. Grossman. 1996. Physical tests for monitoring soil quality. P. 123-142. In: J. W. Doran and A. J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.

4. Conductividad Eléctrica

Introducción

La conductividad eléctrica (CE) de mezclas de suelo-agua indica la cantidad de sales presentes en el suelo.

Todos los suelos contienen algo de sales, las cuales son esenciales para el crecimiento de las plantas. Sin embargo un exceso de sales inhibe el crecimiento de las plantas al afectar el equilibrio suelo-agua. Suelos que contengan exceso de sales aparecen naturalmente y también como resultado del uso y manejo del suelo. Los suelos afectados por sal son encontrados particularmente en el este árido y semiárido del país (EE.UU), donde la precipitación anual es baja, permitiendo la acumulación de sales en el perfil del suelo. Las mediciones de conductividad eléctrica detectan la cantidad de cationes o aniones (sales) en solución. Cuanto mayor es la cantidad de aniones o cationes tanto mayor es la lectura de la conductividad eléctrica. Los iones generalmente asociados con salinidad son Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ , Na^+ , H^+ (cationes) ó NO_3^- , SO_4^- , Cl^- , HCO_3^- , OH^- (aniones).

Interpretaciones.

En general los valores de la $\text{CE}_{1:1}$ de entre 0 y 0.8 dS/m son aceptables para el crecimiento de los cultivos en general. Interpretaciones de calidad de suelo para sitios específicos depende del uso específico de las tierras y de la tolerancia de los cultivos. La tabla 5 muestra la clase de salinidad del suelo y la respuesta general de los cultivos y microbial para cada clase.

Tabla 5 . Mediciones de conductividad eléctrica y clases de salinidad para una suspensión de suelo: agua de 1:1

Conductividad Eléctrica (dS/m a 25°C)	Clase de salinidad	Respuesta de Cultivo	Respuesta Microbiana
0-0.98	No salino	Efectos casi despreciables	Pocos organismos afectados
0.98 – 1.71	Muy ligeramente salino	Se restringen los rindes de cultivos muy sensibles	Se alteran procesos microbianos seleccionados, (nitrificación /de nitrificación)
1.71 – 3.16	Ligeramente salino	Se restringen los rindes de la mayoría de los cultivos	Son influenciados los principales procesos microbianos (respiración/ amonificación)
3.16 – 6.07	Moderadamente salino	Sólo cultivos tolerantes rinden satisfactoriamente	Predominan microorganismos tolerantes (hongos, actinomicetes, algunas bacterias)
> 6.07	Fuertemente salino	Sólo cultivos muy tolerantes rinden satisfactoriamente	Unos pocos organismos halofílicos seleccionados se mantienen activos

Adaptado de: Soil Survey Staff (1993), Janzen (1993); y Smith y Doran (1996).

Las conversiones del extracto de pasta de saturación a una suspensión suelo: agua de 1:1 fueron realizados empleando la ecuación de regresión ($y = 2.75x - 0.69$) desarrollada por Hogg and Henry (1984).

La tabla 6 provee valores generales de tolerancia a las sales para cultivos seleccionados. Estos valores se aplican a suelos en los cuales el cloro es el anión predominante. Si hay yeso en el suelo la tolerancia a las sales se elevan en 1 dS/m respecto de los valores indicados en esta tabla (Tanji, 1990). Consulte una oficina local del Servicio de Reconocimiento de Suelos para determinar si hay yeso en el suelo en cuestión.

Tabla 6. Tolerancia a las sales de cultivos seleccionados (Tanji, 1990).			
Cultivo	Evaluación	Cultivo	Evaluación
Aceituna	MT	Lechuga	MS
Alcaucil	MT	Lima	S
Alfalfa	MS	Limón	S
Algodón	T	Lino	MS
Alkali grass, Nuttall *	T	Loquat *	S
Alkali, Acaton *	T	Love grass *	MS
Alpiste	MT	Maíz	MS
Almendra	S	Maíz dulce	MS
Ananá	MT	Maíz (forraje)	MS
Apio	MS	Mandarina	S
Arroz	S	Mango	S
Arveja	S	Manzana	S
Astrágalo	MS	Melón	MS
Avena (forraje)	MS	Mijo	MS
Azufaifa	MT	Nabo	MS
Batata	MS	Naranja	S
Berenjena	MS	Níspero	S
Bluestem, Angleton *	MS	Oatgrass, tall *	MS
Boysenberry *	S	Orchard grass *	MS
Broad bean *	MS	Palta	S
Brócoli	MS	Panizo	MT
Brome, mountain	MT	Papa	MS
Brome, smooth	MS	Papaya	MT
Buffelgrass	MS	Passion fruit *	S
Caqui	S	Pepino	MS
Caña de azúcar	MS	Pera	S
Carricera	MS	Pimienta	MS
Cártamo	MT	Pimpinela	MS
Cebada	T	Pomarrosa	S
Cebada (forraje)	MT	Pomelo	S
Cebolla	S	Poroto	S
Centeno	T	Quimbombó	S
Centeno (forraje)	MS	Rabanito	MS
Centeno silvestre. (Altai)	T	Raygrás perenne	MT
Centeno silv. Canadiense	MT	Remolacha	MT
Centeno silvestre, ruso	T	Remolacha azucarera	T
Cereza	S	Rescue grass *	MT
Ciruela	S	Ehodes grass *	MT
Clover, berseem *	MS	Ricino	MS
Clover, hubam *	MT	Salt grass *	T
Clover, iadino *	MS	Sandía	MS
Col	MS	Sésamo	S
Coles de Bruselas	MS	Sesbania *	T
Coliflor	MS	Sirato *	MS
Colirviabano	MS	Soja	MT

Col rizada	MS	Sorgo	MT
Colza	MT	Sphaeropysa *	MS
Coupea *	MS	Squash, scallop *	MS
Cowpea (forraje) *	MS	Squasch, zucchini *	MT
Chirimoya	S	Trébol frutilla	MS
Chirivia	S	Trébol rojo	MS
Dallis grass	MS	Trébol sueco	MS
Damasco	S	Tomate	MS
Dátil	T	Trigo	MT
Durazno	S	Trigo, durum	T
Espárrago	T	Trigo (forraje)	MT
Espinaca	MS	Trigo semi-enano	T
Fescue, meadow *	MT	Triticale	T
Festuca alta	MT	Uva	MS
Frambuesa	S	Veza	MS
Frutilla	S	Wheat grass, standard *	MT
Girasol	MS	Wheat grass, faieway *	T
Granada	MT	Wheat grass, interm. *	MT
Grosella	S	Wheat grass, slender *	MT
Guar *	T	Wheat grass, tall *	T
Guayule	T	Wheat grass, western *	MT
Hardin grass *	Mt	Wild rye, beardless *	MT
Higo	MT	Zanahoria	S
Jojoba	T	Zapallo	MS
Kaller grass *	T	Zapote	MS
Kenaf	MT	Zarzamora	S
Evaluación S= SENSIBLE MS= Moderadamente Sensible MT= Moderadamente tolerante T= Tolerante		<u>Rango de CE, de una suspensión suelo:agua 1:1, paa los cuales ocurren reducciones de rendimiento</u> > 0.90 dS/m > 1.40 dS/m > 2.50 dS/m > 4.00 dS/m	

* Nombres en inglés

El exceso de sales afecta el crecimiento de las plantas por: 1) toxicidad directa, por ej. Boro; 2) destrucción del equilibrio iónico en la planta; 3) interferencia con el insumo de nutrientes, por ej. problemas en el desarrollo del tomate por inhibición de absorción de calcio debido a sales; y 4) reducción de la asimilabilidad de agua por descenso del potencial osmótico (Fitter y Hay, 1987). Sodio en exceso, frecuentemente expresado como *porcentaje de sodio intercambiable* PSI, puede deteriorar la estructura del suelo dispersando las arcillas del suelo.

Consideraciones

La conductividad eléctrica de una solución está afectada por la temperatura. En general la conductividad eléctrica de una solución se incrementa con la temperatura, a razón de aproximadamente 1.9% por 1°C de incremento (Rhoades, 1993). Las conductividades en la tabla 5 están estandarizadas para 25°C. La mayor parte de los medidores de conductividad eléctrica están ajustados para neutralizar desviaciones de 25°C, dentro de un rango específico de temperaturas. Así, las mediciones de conductividad deben ser tomadas dentro del indicado rango de temperaturas (ver las instrucciones incluidas en la caja del medidor de CE), para evitar sub o sobreestimaciones de conductividad eléctrica.

Generalmente, los efectos de la humedad del suelo en las mediciones de conductividad eléctrica son despreciables, cuando el contenido de agua está en, o debajo de la capacidad de campo. Si el contenido de agua está por encima de la capacidad de campo se deben hacer ajustes para mantener la relación 1=1 de suelo a agua. Otra aproximación es secar el suelo al aire si está demasiado mojado.

Cuando no hay agua destilada disponible se puede usar agua potable o agua de lluvia. Mida la conductividad de la fuente del agua y resta el valor de la CE de la fuente de agua del valor de la CE de la muestra.

Las relaciones entre conductividad eléctrica y concentración de sales es sólo aproximada. Relaciones generales que han sido establecidas son (Rhoades, 1996):

- 1) Concentración total de cationes (o aniones) = meq/L = 10x CE (dS/m).
- 2) Total de sólidos disueltos = mg/l $\cong$ 640 x EC (dS/m).
- 3) Presión osmótica = kPa (a 25°C) $\cong$ 0.36 x CE (dS/m).

Cuando el NO_3^- es el ión principal en la solución del suelo, una muy útil relación ha sido establecida entre la CE (en una mezcla de agua y suelo 1:1), las lecturas pertinentes y la concentración de nitrato (NO_3^-) en el suelo (Smith y Doran, 1996):

$$\text{CE (dS/m)} \times 140 \geq \text{mg N(en } \text{NO}_3^- \text{)kg de suelo}$$

Esta relación presupone la completa extractabilidad del NO_3^- del agua, y que el NO_3^- sea el anión predominante en la solución del suelo.

Conversiones

- 1dS/m (decisiemens por metro) = 1 mmhos/cm (milimhos por centímetro)
- 1 dS/m (decisiemens por metro) = 1000 $\mu\text{S/cm}$ (microsiemens por centímetro)
- 1000 $\mu\text{S/cm}$ (microsiemens por centímetro) = mS/cm (milisiemens por centímetro)

Referencias

- Fitter, A.H. and R.K.M. Hay. 1987. Environmental physiology of plants. Academic Press, London.
- Hogg, T.J. and J.L. Henry. 1984. Comparison of 1:1 suspensions and extracts with the saturation extract in estimating salinity in Saskatchewan soils. Can. J. Soil Sci. 64:699-704.
- Janzen, H.H. 1993. Solubles salts. P. 161-166. In: M.R. Carter (ed.) Soil sampling and methods of analysis. Canadian Society of Soil Science. Lewis Publ., Boca Raton.
- Rhoades, J.D. 1993. Electrical conductivity methods for measuring and mapping soil salinity. P. 201-251. In: D.L. Sparks (eds.) Advances in agronomy, Vol. 49. Academic Press, Inc., San Diego, CA.
- Rhoades, J.D. 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids. P. 417-435. In: D.L. Sparks (ed.) Methods of soil analysis: Part. 3-chemical methods. Book Series no.5. SSSA and ASA, Madison, WI.
- Smith, J.L. and J.W. Doran. 1996. Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis. P. 169-185. In: J.W. Doran and A.J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Soil Survey Staff. 1993. Soil survey manual. United State Department of Agriculture. Hnbk no. 18. U.S. gov. Printing Office, Washington, DC
- Tanji, K.K. (ed). 1990. Agricultural salinity Manual of the Committee on water Quality of the Irrigation and Drainage Division of the American Society of Civil Engineers. American Society of Civil Engineers, New York.

5. pH del Suelo

Introducción

El pH del suelo es una medida de la acidez o alcalinidad de un suelo, y afecta la disponibilidad de los nutrientes, la actividad de microorganismos, y la solubilidad de minerales del suelo. Factores importantes que afectan el pH edáfico son temperatura y precipitaciones, que controlan la intensidad del lixiviado y la meteorización de los minerales del suelo. La acidez por lo general está asociada con suelos lixiviados; la alcalinidad mayormente aparece en regiones más secas. Sin embargo, prácticas agrícolas, tales como el encalado o el agregado de fertilizantes de amonio, puedan alterar el pH. La medición de pH significa en realidad medir la actividad del ión $[H^+]$ en la solución del suelo.

Interpretaciones

Comúnmente, valores de pH entre 6.0 y 7.5 son óptimos para el crecimiento de la mayoría de los cultivos. Interpretaciones específicas para un sitio, con respecto a la calidad del suelo, dependerán del uso específico y la tolerancia de los cultivos.

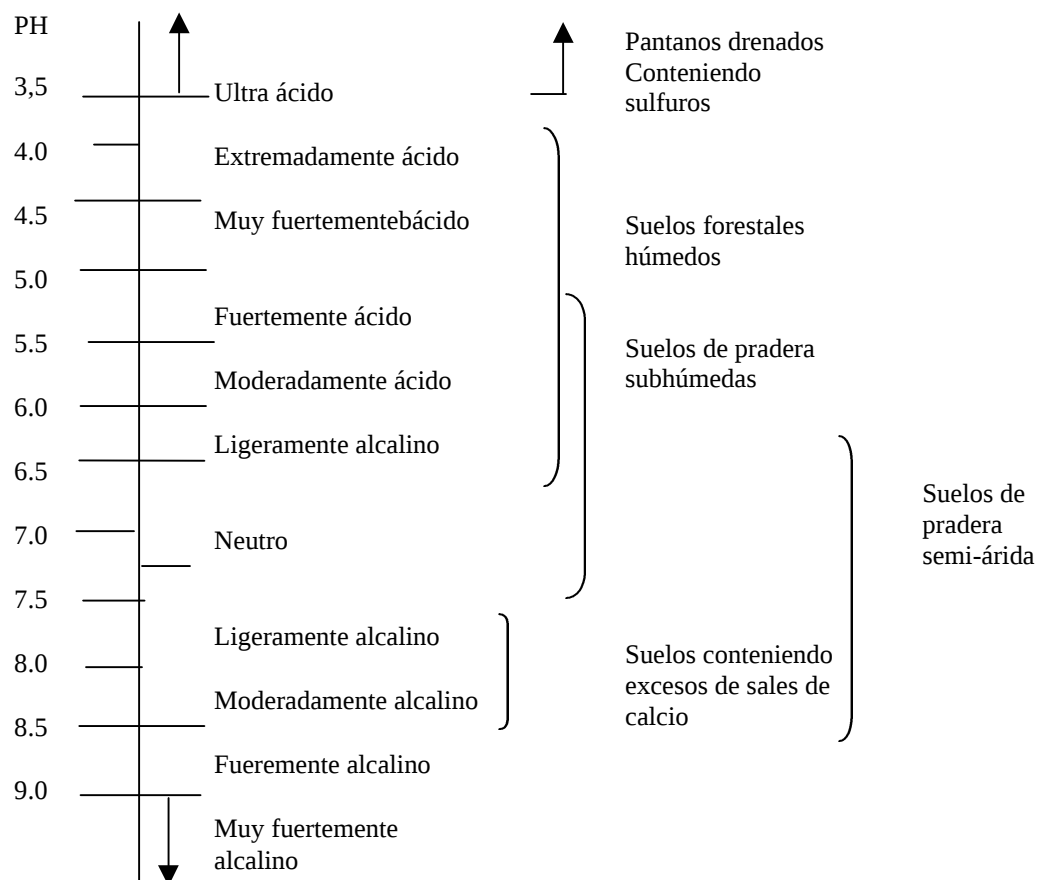


Figura 1. pH del suelo, rangos de las clases de pH, y condiciones edáficas asociadas. Adaptado del National Soil Survey Manual (1993) y de Troch y Thompson (1993).

Tabla 7. Rangos adecuados de pH para cultivos seleccionados (Whittaker et al., 1959).

	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
Alfalfa							
Algodón							
arándano							
Arvejas							
Avena							
Azalea							
Batata							
Beans, lima *							
Beans, snap *							
Beans, velwer *							
Cebada							
Cebolla							
Centeno							
Clover, crimson *							
Clover, sweet *							
Col							
Chirivia							
Enebro							
Espárragos							
Espinaca							
Frutilla							
Gramíneas							
Guisante							
Habas							
Hortensia							
Iris, blueflag *							
Lechuga							
Manzana							
Maíz							
Mora azul							
Mostaza							
Papa							
Pepino							
Pimienta							
Pine, longleaf *							
Pine, yellow *							
Rabanito							
Sorgo							
Squash *							

Suda grass *							
Tabaco							
Timothy *							
Tomate							
Trébol blanco							
Trébol rojo							
Trébol sueco							
Trefoil, birdsfoot *							
Trigo							
Trigo moro							
Trigo sarraceno							
veza							
Zanahoria							

* Nombres en Inglés.

Disponibilidad de los nutrientes.

El pH del suelo afecta la disponibilidad de los nutrientes vegetales (Figura 2). La disponibilidad de los nutrientes se ve afectada por cambios en la solubilidad de los minerales del suelo. La mayor parte de los minerales son más solubles en suelos ácidos que en suelos neutros o ligeramente básicos. La mayor disponibilidad, para el caso de la mayor parte de los nutrientes, se halla entre pH 6.0 y 7.0 (Figura 2).

Cuando los nutrientes, en la Figura 2, aparecen interconectados, los nutrientes a ese pH se combinan para formar compuestos insolubles, reduciendo su disponibilidad. El pH del suelo también afecta la actividad de microorganismos beneficiosos, lo cual afecta a su vez la disponibilidad de nutrientes. En general, los hongos cumplen sus funciones en un rango amplio de pH, pero las bacterias y los actinomicetes se desempeñan mejor a pH intermedios o algo alevados.

Comentarios.

La presencia de sales afecta el pH del suelo haciendo crecer las lecturas en 0.2 a 0.3 unidades de pH (Thomas, 1996). Para neutralizar este efecto de las sales una solución 0,01 M de Cl_2Ca ha sido comúnmente usada en lugar del agua destilada.

Un pH declinante es un signo de un uso ineficiente del nitrógeno en los lugares en que se aplican fertilizantes basados en amoníaco (véase Smith y Doran, 1996).

Referencias.

- Brady, N.C. 1990. The nature and properties of soils. 10th ed. Macmillan Publ., New York.
- Smith, J.L. and J.W. Doran. 1996. Measurement and use of pH and electrical conductivity for soil quality analysis. P. 169-185. In: J.W. Doran and A.J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Soil Survey Staff. 1993. Soil survey manual. United States Department of Agriculture. Hnbk no. 18 U.S. Gov. Printing Office, Washington, DC.
- Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. P. 475-489, In: D.L.Sparks (ed.) Methods of soil analysis: Part 3-chemical methods. Book Series no 5. SSSA and ASA, Madison, WI.
- Theoh, F.R. and L.M. Thompson. 1993. Soils and soil fertility. 5th ed. Oxford Univ. Press, New York.
- Whittaker, C.W., M.S. Anderson, and R.F. Reitemeier. 1959. Liming soil, an aid to better farming. USDA. Farmers Bul. 2124

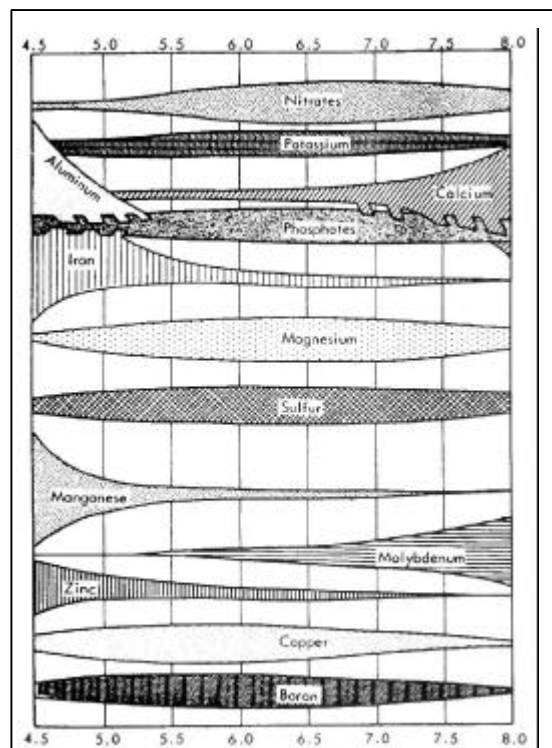


Figura 2. Disponibilidad de Nutrientes basado en el pH de suelo mineral. (Soils, Handbook, Kentucky AgE.S.383., 1970, p28)

6. Nitratos del Suelo

Introducción

Los nitratos del suelo (NO_3^-) son una forma inorgánica de nitrógeno asimilable por las plantas. Se forman a partir de la mineralización, por microorganismos, de formas orgánicas de N, por ejemplo materia orgánica del suelo, residuos de cosecha, y abonos. La velocidad de mineralización de N depende de la cantidad de nitrógeno orgánico en el suelo, del contenido de agua, de la temperatura, pH y aireación. Los requerimientos de los cultivos son satisfechos por el nitrógeno mineral del suelo y por fertilizantes de N. Un manejo eficiente del nitrógeno del suelo requiere el conocimiento de las necesidades de los cultivos con respecto a N y la cantidad de N existente en el suelo. Los nitratos son móviles en el suelo, de manera que pueden ser lixiviados por aguas que percolan hasta debajo de la zona de las raíces. Todos los suelos pierden una pequeña cantidad de nitratos hacia el agua de la capa subterránea, incluido suelos bajo vegetación natural. Cuando la cantidad lixiada es mayor que la aportada naturalmente debemos comenzar a preocuparnos.

Los nitratos no son contaminantes, hasta que se lixivian por debajo de la zona de raíces, o son transportados lejos del sitio, por escurrimiento superficial. Cuando son lixiviados hacia las aguas subterráneas nos confrontamos con riesgos para personas y para animales. En aguas superficiales los nitratos pueden contribuir a la eutroficación.

Interpretaciones.

La cantidad de N residual (en nitratos), en el suelo, en un momento dado, es una función de la velocidad a la cual los microorganismos descomponen la materia orgánica del suelo (Figura 3). Esta velocidad depende de la temperatura, humedad, aireación, tipo de residuos orgánicos, pH, y otros factores (Dahmke y Johnson, 1990). Asimismo, una vez formados, los nitratos del suelo están sujetos a lixiviación, fijación, desnitrificación, y consumo por las plantas. (Figura 3). Por esto es difícil interpretar el contenido de nitrógeno (en nitratos) en términos de cuánto y dónde estará disponible el N para responder a los requerimientos de los cultivos. Sin embargo, ensayos de N residual (en nitratos) pueden ser útiles para evaluar la necesidad de fertilizante nitrogenado de los cultivos en ciertas regiones durante específicas épocas del año y durante específicas etapas de crecimiento de los cultivos (Dahmke y Johnson, 1996). **Para la interpretación de ensayos de nitrógeno residual (en nitratos) teniendo en cuenta el requerimiento de los cultivos, consulte calibraciones locales o regionales.**

Toda cantidad de nitratos en el suelo, que no sea utilizada por los cultivos, puede potencialmente ser lixiviada fuera de la zona de las raíces y transformarse en un perjuicio ambiental. El nitrato no es absorbido por las partículas del suelo (a menos que éstas tengan cargas positivas). De esta manera los nitratos pueden percolar y rápidamente desplazarse juntamente con el agua, fuera de la zona radicular y hacia el agua subterránea, o hacia aguas superficiales mediante flujo subsuperficial (Figura 3). Suelos ácidos de los trópicos húmedos contienen una significativa cantidad de partículas cargadas positivamente que puede retener los nitratos y evitar su lixiviado.

Ciclaje del N

En general los niveles de nitrato del suelo cambian significativamente durante el curso del año, y de semana a semana. El nitrógeno del suelo está sometido a un ciclaje continuo, desplazándose de una forma química a otra (Figura 3). Su fuente primordial es el gas nitrógeno de la atmósfera (N_2). Los microorganismos del suelo fijan el (N_2) para producir nitrógeno orgánico, que pasa a constituir parte de la materia orgánica del suelo. La descomposición de la materia orgánica convierte algo de nitrógeno orgánico en nitrógeno mineral (mineralización). El amonio (NH_4^+) producido por mineralización (durante una etapa intermedia) puede ser convertido/a nitrato por microorganismos específicos (nitrificación). El nitrato formado, entonces es disponible para su consumo por las plantas o microorganismos, y es convertido a formas orgánicas de nitrógeno (inmovilización). Bajo agua estancada o en condiciones anaeróbicas los nitratos pueden sustituir al oxígeno y finalmente ser liberados hacia la atmósfera como nitrógeno elemental o gas óxido nitroso (desnitrificación). Cada transformación de N depende de la actividad y abundancia de una población específica de microorganismos, los que requieren diferentes conjuntos de condiciones ambientales óptimas.

Fuentes principales de nitratos:

- Agregado de fertilizantes conteniendo nitratos,
- Conversión microbial de fertilizante de amonio hacia N (en nitratos),
- Conversión microbial de N orgánico, por ej. materia orgánica del suelo y abonos, hacia N (en nitratos).

Destino principal de los nitratos:

- Utilización por microorganismos o por raíces de plantas (inmovilización)
- Lixiviado fuera de la zona radicular
- Movimiento fuera del sitio por escurrimiento superficial.
- Conversión microbiana de N (en nitratos) a gas nitrógeno.

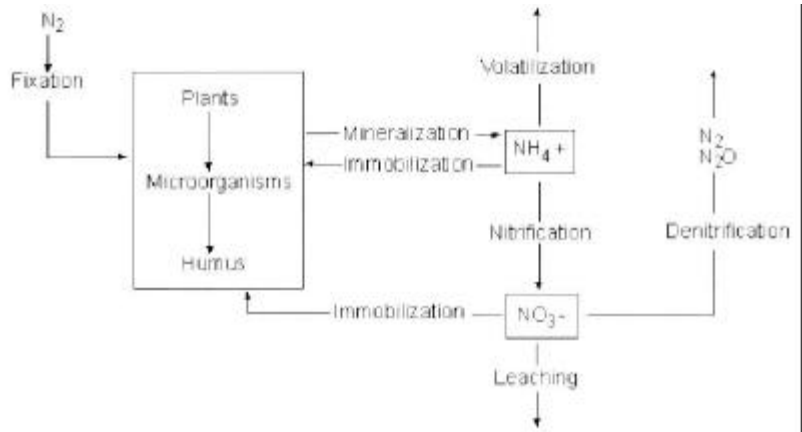


Figura 3: Ciclo generalizado del nitrógeno del suelo

Comentarios.

Las cintas sensibles para nitratos/nitritos pueden determinar tanto las concentraciones de nitratos como las de nitritos (dos sectores distintos en las cintas sensibles). Los niveles de nitritos en el suelo comúnmente no son detectables (en una etapa de transición), de manera que su medición no está asegurada. El sector sensible que determina nitratos mide la suma de nitratos y nitritos presentes en la muestra. Si se detectan nitritos en la muestra, el valor obtenido para éstos puede ser restado de la lectura para nitratos, para obtener el valor efectivo de nitratos en la muestra.

Los ensayos de N (en nitratos) del suelo pueden ser usados para evaluar la efectividad de prácticas de manejo de suelo y cultivos con relación a la suficiente provisión de N para óptimos rindes de cosecha. Por ejemplo para maíz, en el medio oeste, se requieren valores de 20-25 ppm de N (en nitratos) en los primeros 30cm de suelo (14-16 ppm es el umbral para suelos que reciben abonos o que han tenido alfalfa o soja como cultivo predecesor) (Allan et al, 1996, página 196).

Referencias

- Allan, D.L. and R. Killorn. 1996. Assessing soil nitrogen, phosphorus, and potassium for crop nutrition and environmental risk. P.187-201. In: J.W. Doran and A.J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. Soil Sci.Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Dahnke, W.C. and G.V. Johnson. 1990. Testing soil for available nitrogen, p. 127-139. In: R.L. Westerman (ed.) Soil testing and plant analysis. 3rd ed. SSSA Book Series 3. SSSA, Madison, WI.

7. Estabilidad de Agregados.

Introducción.

La estabilidad de agregados es una medida de la vulnerabilidad de los agregados del suelo frente a fuerzas externas destructivas (Hillel, 1982). Un agregado consiste de diversas partículas del suelo ligadas entre sí. La fuerza destructiva en este ensayo es el agua corriente. Los agregados que se resisten a las fuerzas del agua son denominados agregados estables al agua (AEA). En general, cuanto mayor sea el porcentaje de agregados estables tanto menor será la erodabilidad del suelo. Los agregados del suelo son producto de la comunidad microbial del suelo, de los componentes orgánicos y minerales del suelo, de la naturaleza de la comunidad de plantas en la superficie y de la historia del ecosistema. Son importantes con relación al movimiento y almacenaje de agua del suelo, a la erosión, desarrollo radicular y actividad de la comunidad microbial (Tate, 1995). La destrucción de agregados es el primer paso hacia el desarrollo de costras y sellado superficial, los cuales impiden la infiltración del agua e incrementan la erosión. La agregación del suelo puede variar a lo largo de determinados períodos de tiempo, tales como una estación o un año. Los agregados pueden formarse, desintegrarse y re-agregarse periódicamente (Hillel, 1982).

Interpretaciones

El porcentaje de agregados estables al agua indica la cantidad que resiste la perturbación por agua que fluye. **En general mayores cantidades de agregados estables son mejores para la calidad del suelo.**

Los agregados mejoran la calidad del suelo:

- Protegiendo la materia orgánica, atrapada en los agregados, de la exposición al aire y a la descomposición microbial.
- Haciendo decrecer la erodabilidad del suelo
- Mejorando el movimiento del agua y del aire (los agregados incrementan la cantidad de espacio de poros grandes) mejorando el ambiente físico para el desarrollo radicular mejorando el hábitat de los organismos del suelo.

La estabilidad de los agregados está afectada por la cantidad y tipo de los siguientes constituyentes del suelo (Kemper, 1966):

Contenido de materia orgánica del suelo:

La estabilidad de los agregados en general se incrementa con el contenido de materia orgánica (Tabla 1). El efecto es más pronunciado en suelos que contienen poca cantidad de arcilla, En general, incrementos en materia orgánica por encima del 2%, no aumentan apreciablemente la estabilidad de agregados.

Contenido de arcilla:

La estabilidad de los agregados se ve afectada por la cantidad y tipo de arcilla del suelo y generalmente se incrementa con el contenido de arcilla (Tabla 1). Este efecto decrece a altos contenidos de arcilla (Tabla 1). En general, arcillas de elevada superficie específica (por ej. montmorillonita), tienden a originar mayor agregación que arcillas de baja superficie específica (por ej. caolinita).

Contenido de Oxidos de Aluminio y Hierro:

Generalmente la estabilidad de agregados se incrementa con el contenido de óxido de hierro libre. En general los óxidos de aluminio libres no incrementan apreciablemente la estabilidad de agregados.

Contenido de Carbonato de Calcio:

El contenido de carbonato de calcio por lo general no afecta apreciablemente la estabilidad de agregados.

Contenido de Sodio Intercambiables:

La estabilidad de los agregados decrece con crecientes cantidades de sodio de intercambio. En general, agregados estables al agua son no-existentes en suelos con más de 20% de Na^+ intercambiable.

La tabla 8 contiene valores de estabilidad de agregados, congruentes con los contenidos de materia orgánica y de arcilla. Un adecuado rango podrá ser inferido tomando con valores extremos de dicho rango los valores de agregados estables al agua correspondientes, respectivamente, al contenido de materia orgánica y al de arcilla. Por ejemplo, para un suelo con 2% de materia orgánica y 10% de arcilla, el rango congruente de estabilidad de agregados (tomado de tabla 8) será de 65% a 75%.

Tabla 8. Porcentajes de agregados estables al agua determinados por el contenido de arcilla y materia orgánica (Kemper, 1966). Los agregados estables al agua deben leerse independientemente para el % de arcilla y para el % de materia orgánica.

Materia Orgánica %	Agregados Estables al Agua (%)	Arcilla %	Agregados Estables al Agua %
0.4	53	5	60
0.8	66	10	65
1.2	70	20	70
2	75	30	74
4	77	40	78
8	81	60	82
12	85	80	86

Los valores de estabilidad de agregados están basados en 519 muestras de las zonas áridas, semiáridas y subhúmedas de los EEUU y Canadá. Las muestras en su mayoría provenían de áreas cultivadas, pero un número elevado procedía de suelos vírgenes o de pasturas re-introducidas (Kemper, 1966).

Los agregados del suelo se dividen en dos grandes grupos, de acuerdo con el tamaño (diámetro):

- **Microagregados** (menos de 250 μm) consiste de partículas primarias de suelo unidas a microagregados menores. Los agentes de ligazón incluyen:
Materia orgánica humificada (polímeros orgánicos)
metales o cationes polivalentes
raíces e hifas de hongos
polisacáridos
restos de plantas y microbios (encontrados)
óxidos amorfos de hierro y aluminio.
- **Macroagregados** (>250 μm) consisten de microagregados unidos entre sí. Los agentes de ligazón incluyen:
hifas de hongos
raíces fibrosas
polisacáridos

óxidos de aluminio y hierro (suelos que contienen más del 10% de óxidos de hierro y aluminio)

El tamaño de los agregados estables al agua medidos con el presente equipo son macroagregados.

Los macroagregados se forman rápidamente bajo las siguientes condiciones:

- Bajo pastura, o gramíneas de forraje (masa radicular fibrosa, densa).
- En sitios donde se han agregado residuos orgánicos.
- En sitios donde está presente una gran cantidad de microagregados (< 250 µm de diámetro).

La diferencia entre micro y macroagregados incluyen los siguientes aspectos:

- Los macroagregados son más sensibles a cambios de manejo que los microagregados y, en consecuencia, son considerados un mejor indicador para calidad del suelo. La estabilidad de los macroagregados depende del manejo, debido a la naturaleza transitoria de sus agentes de ligazón.
- Los macroagregados se forman más rápidamente que los microagregados.
- El carbono es más estable en microagregados que en macroagregados.
- Los macroagregados son más estables al agua que los microagregados.
- Cuando aumenta la proporción de macro sobre microagregados aumenta la calidad el suelo.

Consideraciones y Comentarios

La temperatura del agua empleada para tamizar los suelos debería mantenerse dentro del rango de 22 a 25°C. A temperatura más elevadas la estabilidad de los agregados tiende a decrecer.

Para efectuar estimaciones visuales de estabilidad de agregados o comparaciones relativas, el pesado y el secado de los agregados no son necesarios.

Si los agregados secos son humedecidos demasiado rápidamente, a presión atmosférica, pueden producirse desintegración y desleimiento. Luego de un humedecimiento rápido el agua capilar que penetra en los poros causa el entrapamiento del aire de los poros en los agregados y la consecuente presión causa la ruptura (Kemper y Rosenau, 1986).

Referencias

- Angers, d.A. and G.R. Mehuys. 1993. Aggregate stability to water. P.651-658. In: M.R. Carter (ed.) Soil sampling and methods of analysis. Canadian Soc. Soil Sci., Lewis Publ., Boca Raton.
- Arshad, M.A., B. Lowery, and B. Grossman. 1996. Physical tests for monitoring soil quality. P.123-142. In: J.W. Doran and A.J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.
- Hillel, D. 1982. Introduction to soil physics. 2nd ed. Academic Press, San diego, CA.
- Kemper, W.D. and R.C. Rosenau. 1986. Aggregate stability and size distribution. P. 425-442. In: A. Klute (ed.) Methods of soil analysis: Part I, physical and mineralogical methods. American Society of Agronomy, madison, WI.
- Tate, R.L. 1995. Soil microbiology. John wiley & Sons, New York.
- Tisdall, J.M. and J.M. Oades. 1982. Organic matter and water-stable aggregates in soils. J. Soil Sci. 33:141-163.

8. Desleimiento del Suelo

Introducción.

El desleimiento es un proceso de fragmentación que ocurre cuando los agregados son repentinamente inmersos en agua (Chan y Mullins, 1994). El desleimiento ocurre porque los agregados no son suficientemente fuertes como para soportar el estrés producido por la veloz absorción del agua. A elevadas velocidades de humectación el estrés interno es creado por expansión diferencial, y por el entrapamiento de aire en los agregados (Kay, 1998). Estas tensiones pueden ser liberadas a través de la formación de creciente extensas zonas de fracturas en los fragmentos o agregados del suelo. Las diferencias entre los chequeos de estabilidad de agregados y de desleimiento, están determinadas por el tipo de tensión aplicada y el tamaño de los agregados o fragmentos del suelo empleados. El test de desleimiento es un test cualitativo y es el más simple de realizar. Los dos chequeos pueden no dar necesariamente los mismos resultados.

Interpretaciones

El test de desleimiento en nuestra metodología ofrece un rango de estabilidad de 0 a 6 (Herrick, 1998). Los fragmentos o agregados del suelo que corresponden a clase 0 ó 3 son relativamente inestables. La Clase 4 indica cierta estabilidad, pero muy poca resistencia.

Clase 5 y 6 representan fragmentos o agregados de suelo relativamente estables. La resistencia del suelo se relaciona con la aptitud del suelo a resistir la pérdida de estructura.

El grado de estabilidad de los fragmentos de la costra superficial es interpretado de manera diferente. La formación de costras de suelo, en sistemas agrícolas, reduce la capacidad del suelo de funcionar (por ejemplo las costras del suelo pueden reducir el movimiento del aire y del agua hacia el suelo, y pueden inhibir la germinación). En general, costras blandas o inestables son mejores que las muy fuertes o estables, que poseen un mayor potencial para disminuir la calidad del suelo. Los fragmentos o agregados subsuperficiales, inmediatamente debajo de la costra, son chequeados para dar idea del potencial para el desleimiento y encostramiento futuros del suelo (formación potencial de costras).

El desleimiento es afectado por:

- El contenido de agua del suelo
- La velocidad de humectación
- La textura
- La mineralogía de la fracción arcilla, y
- El contenido de materia orgánica.

El desleimiento es más severo cuando el suelo está inicialmente seco que cuando está húmedo. Para suelos francos se ha demostrado que la presión del aire entrapado es el factor más importante. Para suelos arcillosos se encontró que la expansión diferencial es el proceso más importante (Chan y Mullins, 1994). En general, la materia orgánica puede influir tanto sobre la velocidad de humectación como sobre la resistencia a la tensión generada durante el humedecimiento (Kay, 1998). La estabilidad de agregados es fuertemente dependiente de la velocidad de humectación, por esto la estabilidad de agregados disminuye cuando la velocidad de humectación aumenta.

Referencias

- Chan, K.Y. and C.E. Mullins. 1994. Slaking characteristics of some Australian and British soils *European J. Of Soil Sci.* 45:273-283
- Herrick, J.E. 1998. Manual for monitoring and assessing rangeland health. USDA-ARS.
- Kay, B.D. 1998. Soil structure and organic carbon: A review. p. 169-197. In: R.Lal, J.M. Kimble, R.F. Follett, and B.A.. Stewart (ed.) *Soil processes and the carbon cycle*. CRC Press, Boca Raton.

9. Lombrices

Introducción

Las poblaciones de lombrices pueden variar con las características del sitio (disponibilidad de nutrientes y condiciones del suelo), y con la estación y las especies involucradas. Las poblaciones son altamente variables en espacio y tiempo, y el rango puede abarcar desde menos de 10 a más de 10.000 individuos por metro cuadrado (Curry, 1998). Sin embargo no todos las áreas o suelos mantienen o poseen lombrices. Ya sea porque no fueron introducidas o porque las condiciones ambientales no son favorables. Las lombrices por lo general aumentan la actividad microbial y la fertilidad química del suelo, y mejoran las características físicas del suelo.

Interpretaciones

Alrededor de 10 lombrices por pie cuadrado de suelo ($100 \text{ lombrices/m}^2$) es, por lo general, considerado una adecuada población en sistemas agrícolas. Las poblaciones por lo general no exceden 20 por pie cuadrado de suelo ($200 \text{ lombrices/m}^2$) en sistemas cultivados (Eduards, 1983). En sistemas de pastoreo las poblaciones por lo general oscilan alrededor de 50 por pie cuadrado de suelo ($500 \text{ lombrices/m}^2$) (Eduards, 1983). El método de excavación a mano no captura ciertas lombrices de penetración profunda o especies de movilidad veloz. Sin embargo la excavación a mano es no de los, mejores métodos disponibles.

Las lombrices mejoran la calidad del suelo:

- Incrementando la disponibilidad de nutrientes. (La concentración de los nutrientes vegetales disponibles (N, P y K) tiende a ser mayor en los desechos frescos de lombrices que en el suelo en general.) (Eduards et al, 1995).
- Acelerando la descomposición de materia orgánica, a través de la incorporación de residuos al suelo, y activando tanto los procesos de mineralización como los de humificación;
- Mejorando las condiciones físicas del suelo, tales como agregación y porosidad;
- Suprimiendo ciertas plagas u organismos nocivos; y acrecentando el número de microorganismos beneficiosos.

Las lombrices y los procesos de agregación del suelo:

- Los desechos frescos de las lombrices frecuentemente constituyen una masa de suelo altamente dispersada, casi saturada, que es inestable y susceptible a la erosión (Eduards et al, 1995). A medida que pasa el tiempo los desechos de las lombrices pueden tornarse más estables. El contenido de materia orgánica, los ciclos húmedo – secos, y las hifas de los hongos y otros productos microbiales coadyuvan a estabilizar los desechos a lo largo del tiempo, y a mejorar la agregación del suelo.
- Por lo general, cuanto más sensible es el suelo a la perturbación física tanto más efectivos son los desechos para lograr una agregación estable, pero menos efectivos con relación a las fuerzas de tensión (Shrader y Zhang, 1997).

Los factores que afectan las poblaciones de lombrices incluyen los siguientes (Cutty, 1998):

Laboreo

- El laboreo generalmente mata alrededor de 25% de la población de lombrices. Los efectos indirectos del laboreo afectan a la población remanente. Estos efectos indirectos incluyen el aumento de la temperatura superficial, regímenes disminuidos de humedad del suelo, disminuida provisión de residuos y más rápida oxidación (descomposición de residuos de cosechas).
- Las poblaciones de lombrices frecuentemente son mejores bajo labranza cero que bajo labranza convencional. Importantes poblaciones, tanto de lombrices que habitan la superficie como de especies que cavan profundamente, frecuentemente están asociadas con mejoradas condiciones físicas del suelo. Mayores velocidades de infiltración ocurren con más frecuencia bajo labranza cero que bajo labranza

convencional, debido, en gran parte, al gran número de macroporos provenientes de la actividad de las lombrices.

Temperatura.

La temperatura óptima oscila, para lombrices, entre 10° y 20°C; el rango superior, letal, es de 25°C a 35°C. Pocas especies pueden tolerar temperaturas por debajo de 0°. Muchas especies presentan adaptaciones de comportamiento y/o fisiológicas que las capacita a soportar condiciones desfavorables.

Propiedades del Suelo.

- Suelos de texturas medias son más favorables para las lombrices que suelos arenosos o arcillosos.
- La profundidad de la aireación en los suelos afecta las especies de excavación profunda.
- El pH del suelo afecta las poblaciones de lombrices. Las lombrices usualmente están ausentes en suelo de pH menor de 3.5 y son escasas en suelos con pH entre 3.5 y 4.5. La mayoría de las lombrices viven en suelos con pH entre 5 y 7.4.
- La calidad y cantidad de alimento (materia orgánica) afecta la distribución y abundancia de lombrices.

Fuente de nutrientes

Residuos o detritos orgánicos sobre la superficie del suelo constituyen la fuente de alimentación primaria de las lombrices en la mayoría de los ecosistemas. Sin embargo, raíces muertas y exudados de raíces pueden ser también importantes fuentes nutricionales. Si los ambientes físicos y químicos no son limitantes, la calidad y cantidad de los residuos agregados frecuentemente determinan la abundancia de las lombrices.

Disturbación del suelo

- Las poblaciones de lombrices en general son mayores en sistemas edáficos no disturbados.
- El tamaño de la población depende de la severidad y frecuencia de la disturbación del suelo.
- Si la disturbación del suelo no es repetida las poblaciones de lombrices pueden recobrarse en forma relativamente veloz (al cabo de algunos años).

Humedad del suelo

Restricciones de humedad del suelo generalmente determinan la distribución de las lombrices y su actividad.

Agroquímicos

- Pesticidas, especialmente insecticidas, pueden afectar la población de lombrices. La mayor parte de herbicidas en base a triazina (por ej. atrazina, simazina y cianizina) son ligeramente tóxicos. Fungicidas basados en carbamato (por ej. carbendazima, benomyl y metil-tiofanato) son muy tóxicos. Organofosfatos (por ej. forato, isozofos, clorpirifos y etoprofos) y la mayoría de los insecticidas basados en carbamato (por ej. carbaril, carbofurano, metomia y metiocarbio) son tóxicos. Acerca de la mayoría de los nematocidas (por ej. D-D, metan – sodio, metil bromuro) se ha informado que son tóxicos para las lombrices (Eduards et al, 1995).
- Se ha demostrado que el uso regular de sulfato de amonio y amoníaco anhidro, y de urea recubierta con sulfato, hace decrecer las poblaciones de lombrices (Eduards et al., 1995).

Referencias

- Curry, J.P. 1998. Factors affecting earthworm abundance in soils. P.37-64. In: C.A. Edwards (ed.) Earthworm ecology. CRC press, Boca Raton.
- Edwards, C.A. 1983. Earthworm ecology in cultivated systems. P. 123-137. In: J.E. Satchell (ed.) Earthworm ecology: From Darwin to vermiculture. Chapman and Hill, London.
- Edwards, C.A., P.J. Bohlen, D.R. Linden, and S. Subler. 1995. Earthworms in agroecosystems. P. 185-206. In: P.F. Hendrix (ed.) Earthworm ecology and biogeography. Lewis, Boca Raton.
- Schrader, S. And J. Zhang. 1997. Earthworm casting: stabilization or destabilization of soil structure. Soil Biol. Biochem. 29:469-475.

10. Observaciones y Estimaciones Físicas del Suelo.

Profundidad del horizonte superior.

La profundidad del horizonte superior es importante para el almacenamiento del agua y la provisión de nutrientes para el crecimiento de las plantas. Generalmente, la remoción del horizonte superficial determina pérdida de fertilidad, de capacidad de retención de agua, de contenido de carbono orgánico y de productividad. Mediciones de la profundidad del horizonte superficial a lo largo del tiempo brindan una buena estimación de la pérdida del suelo (erosión).

Interpretaciones

Cambios en el espesor del horizonte superior son usualmente el resultado de erosión por viento, erosión por agua, deposición de material, o nivelación del terreno. Los suelos erosionados comúnmente presentan un horizonte Ap (capa arable) o un horizonte superior rebajados. Erosión natural ocurre en la ausencia de perturbaciones antrópicas. Sin embargo, es la erosión acelerada, causada por las aradas, quemazones, sobrepastoreo y otras prácticas de manejo, las que remueven la cubierta vegetal protectora y determina la pérdida de calidad del suelo.

Crecimiento de las raíces.

La profundidad del suelo hasta una capa que restringe el crecimiento de las raíces fuertemente afecta la producción de cosechas. Los factores que influyen la profundidad de enraizamiento incluyen: alto contenido de sales, profundidad hasta un contacto lítico, capa pétreo, duripán, capa congelada y capa de agua (Arshad et al, 1996).

Cuando hay poros continuos las raíces crecerán a lo largo de esos poros como resultado de la baja impedancia mecánica. La distribución de las raíces en el perfil del suelo es una función de la profundidad del suelo, y del espesor y resistencia mecánica de las capas que inhiben el avance de las raíces (Bennie, 1996).

Interpretaciones

Las raíces que crecen a través de capas de suelo restrictivas están sometidas a cambios morfológicos, particularmente crecimiento impedido y engrosamiento (Bennie, 1996). Las raíces así afectadas son generalmente más cortas, más gruesas y de formas más irregulares. El sistema de raíces más cortas explora un volumen de suelo menor, en busca de nutrientes vegetales y agua, obligando a la planta a un consumo más veloz de nutrientes y de agua por unidad de longitud de raíz. Asimismo más energía fotosintética es necesaria para mantener el crecimiento de raíces que aún se produce. Todos estos factores pueden ocasionar estrés en las plantas, el que eventualmente, puede causar una reducción del crecimiento y de la productividad de los cultivos.

Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración es una medida de la facilidad con la cual un objeto puede ser empujado dentro del suelo (Bradford, 1986). Ofrece información acerca de capas impedantes para raíces, y puede ser usada para comparar resistencias relativas entre tipos similares de suelo. También puede ser empleada para determinar duripanes, zonas de compactación, u horizontes densos.

Interpretaciones

La compactación, que produce una severa restricción del crecimiento de las raíces, es causada primordialmente por el pisoteo de los animales, uso de los equipos para granja y para laboreo, y tráfico vehicular.

El tipo de sistema radicular es la otra condicionante del grado de penetración de las raíces. La figura 4 muestra la típica ubicación de zonas de compactación en suelos cultivados.

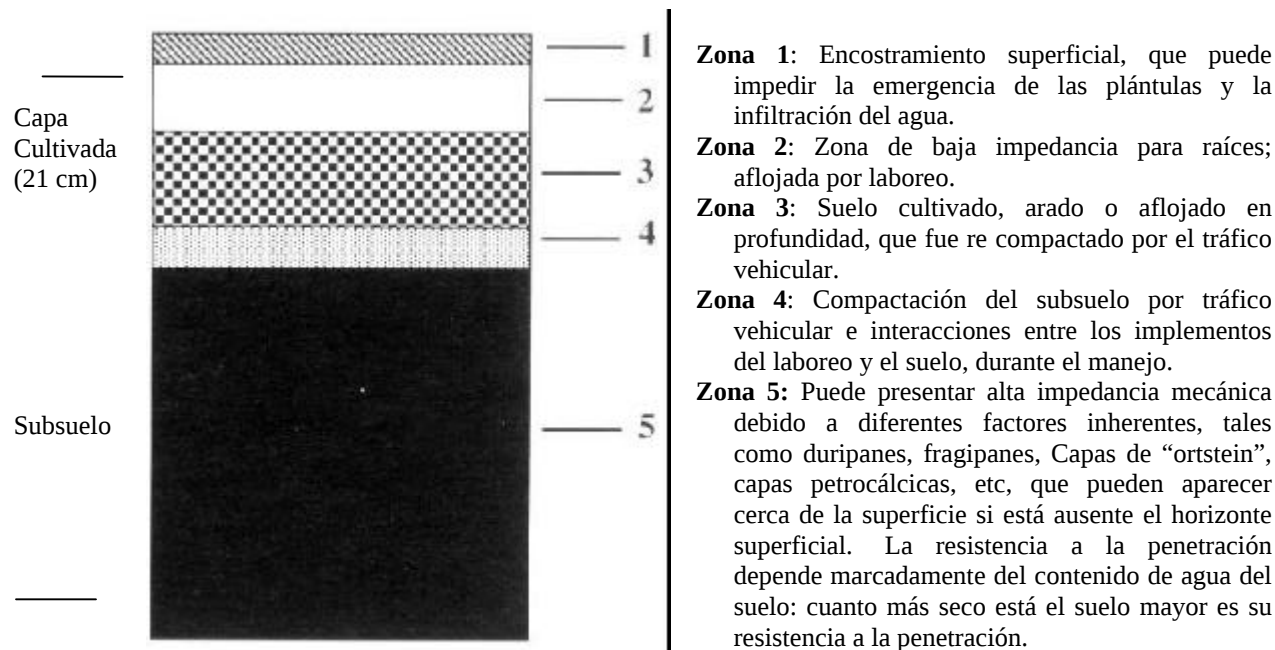


Figura 4. Posición general de zonas de compactación de suelos en sistemas cultivados (Bennie, 1996).

Por esto debe ser anotado el contenido de agua del suelo cuando se realiza una medición. La mejor manera de determinar la resistencia a la penetración es cuando el suelo está a capacidad de campo, que es una condición, uniforme, que puede ser reproducida de estación a estación.

Estructura del Suelo.

La estructura del suelo es el arreglo y organización de las partículas en el suelo. Está fuertemente afectada por cambios en el clima, la actividad biológica, y las prácticas de manejo. La estructura del suelo afecta la retención y transmisión de agua y aire en el suelo, así como las propiedades mecánicas del suelo. La observación y descripción de la estructura del suelo en el campo es subjetiva y cualitativa.

Interpretaciones

Para el crecimiento de las plantas es deseable disponer de una condición física en la cual el suelo sea un conjunto óptimamente friable, suelto y poroso de agregados, que permitan libre movimiento de agua y aire, fácil cultivación, y una germinación y crecimiento de raíces no obstruidos (Hillel, 1982). El índice de la estructura del suelo es una estimación de calidad que indica el grado de cercanía con las condiciones descriptas arriba. Por lo general, cuanto más alto es el valor del índice mejor es la capacidad del suelo de transmitir agua y aire y de promover el crecimiento y desarrollo de las raíces.

Los procesos involucrados en el desarrollo de la estructura del suelo son los siguientes (Rowell, 1994):

- Secado y humectación que causan contracción y expansión creando así fisuras y canales;
- Congelación y descongelación, que crean espacios cuando se forma hielo;
- Acción de las raíces (remoción de agua, aporte de exudados (materiales orgánicos), y formación de canales de raíces);
- Acción de los animales del suelo (removiendo materiales del suelo, haciendo cuevas y poniendo al mineral y a los materiales orgánicos en estrecha asociación); y
- Acción de microorganismos descomponiendo residuos de plantas y animales y creando materia orgánica del suelo y humus como material ligante).

Textura del Suelo

La textura del suelo se refiere a la distribución de las partículas minerales de arena, limo y arcilla en el suelo. La textura es uno de los más estables atributos del suelo pudiendo sólo ser modificada ligeramente por cultivación y otras prácticas que causan la mezcla de las diferentes capas del suelo.

Interpretaciones

Este chequeo es rutinariamente usado por los científicos del suelo y brinda una estimación confiable de las texturas del suelo. La clase textural ubica al suelo en un área dentro de un diagrama triangular basado en la distribución de arena, limo y arcilla en el suelo (figura 5). La textura es una característica importante porque influencia la fertilidad y ayuda a determinar la velocidad de consumo de agua, el almacenaje de agua en el suelo, la laborabilidad y la amplitud de aireación. Por ejemplo suelos arcillosos retienen más agua y nutrientes que suelos arenosos

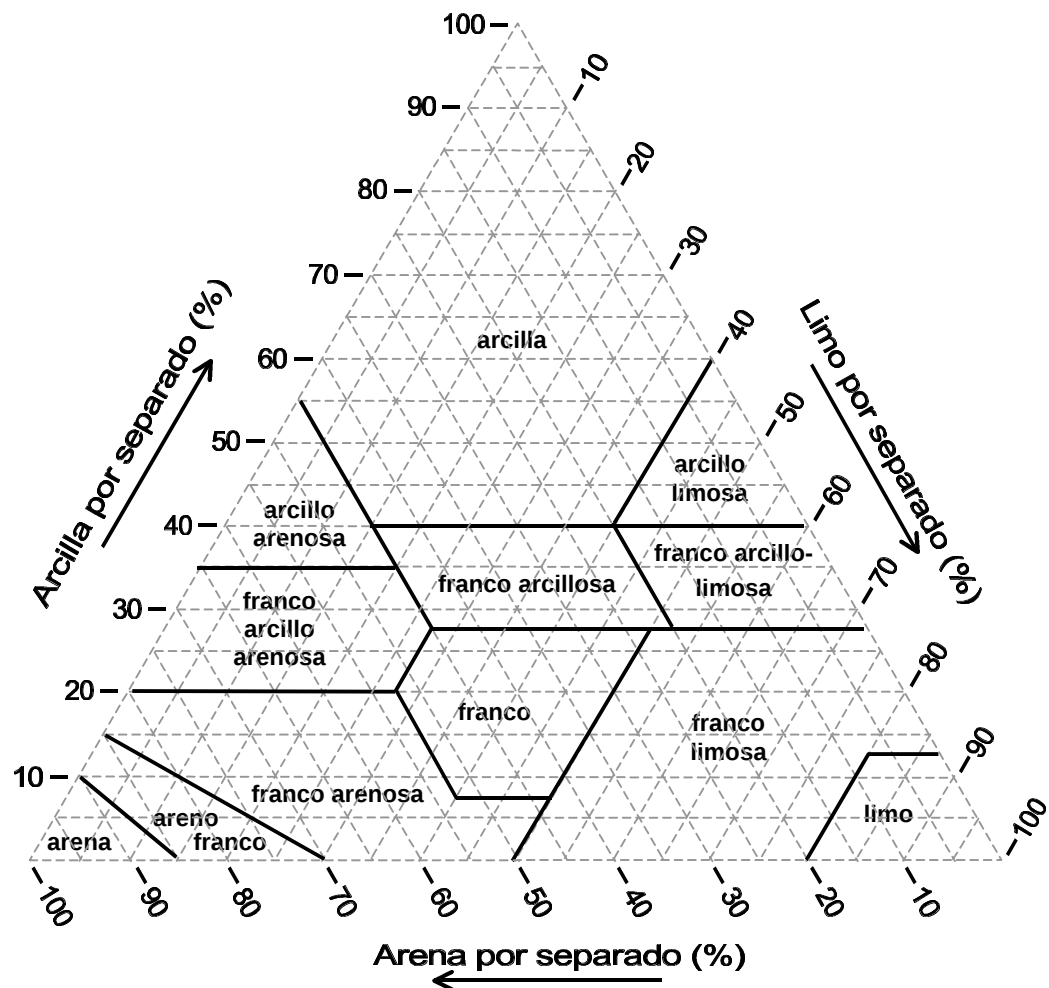


Figura 5 Triángulo textural del suelo mostrando los porcentajes de arcilla, limo y arena de las clases texturales.

Partículas minerales. El suelo está compuesto por partículas minerales que varían en tamaño. Hay tres clasificaciones generales (o separaciones dentro del suelo), de partículas minerales:

- Partículas de *arena*– 2.0 mm (muy gruesa) a 0.05 mm (muy fina);
- Partículas de *limo* – 0.05 mm a 0.002 mm;
- Partículas de *arcilla* – menores de 0.002 mm.

Doce Clases Texturales de Suelo. Las definiciones de las 12 clases texturales del suelo están basadas en la porción relativa o peso de estas tres clases de partículas. Suelos arenosos, por ej., tienen una mayor proporción de partículas de arena que de limo o arcilla. La lectura del triángulo textural (Figura 5) permite localizar la clase textural con el porcentaje de dos tipos de partículas. Por ejemplo, un suelo conteniendo 20% de arcilla y 40% de arena corresponde a la clase textural franco (Figura 5).

Referencias.

- Arshad, M.A., B. Lowery, and B. Grossman. 1996. Physical tests for monitorin soil quality. P.123-142. In: J.W. doran and A.J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ.49. SSSA, Madison, WI.
- Bennie, A.T.P. 1996. Growth and mechanical impedance. P.453-470 In: Y. Waisel, A. Esthel, and U. Kafkafi (eds.) Plant rrots: the hidden half. 2nd ed. Mercel Dekker, Inc., New York.
- Bradford, J.m. 1986. Penetrability. P.463-478. In: A. Klute (ed.) Methods of soil analysis. Part 1 Physical and mineralogical methods. Agronomy No.9. Am. Soc.Agron., Madison, WI.
- Hillel, D. 1982. Introduction to soil physics. 2nd. Ed. Academic Press, London.
- Rowell, D.L. 1994. Soil science: Methods & applicaations. Longman Scientific & Technical, Singapore.

11. Calidad del Agua

La calidad del agua está en relación con el propósito para el cual se emplea el agua; de esta manera determinadas condiciones de uso señalan la adecuación de un cuerpo de agua (James et al., 1982).

Conductividad Eléctrica del Agua

Introducción.

Los niveles salinos en el agua, medidos por conductividad eléctrica, pueden ser usados para estimar su calidad para riego. Otras inquietudes respecto de la calidad de aguas salinas incluyen preocupación por los posibles efectos fisiológicos sobre personas y animales, y por el gusto mineral. Asimismo, altas concentraciones de determinadas sales minerales pueden causar daños, por corrosión, en los sistemas de distribución. La conductividad eléctrica es un indicador del total de sólidos disueltos (TSD) en el agua. La relación de CE a TSD va a variar dependiendo de la distribución de los principales elementos constituyentes, presentes en el agua.

Interpretaciones

La tablas 9 y 10 contienen los límites de seguridad por salinidad para agua de consumo de personas y animales. La tabla 11 contiene lineamientos generales de salinidad para aguas para irrigación. Para el crecimiento de plantas acuáticas niveles de salinidad deberían mantenerse tan cercanos a las condiciones naturales como sea posible (US EPA, 1973).

Tabla 9. Límites de seguridad para agua potable (US EPA) y niveles promedio de salinidad de aguas de ríos del mundo (James et al. 1982)

Agua	CE ⁽²⁾ (dS/m 25°C)	Total de Sólidos Disueltos (mg/l)
Agua potable SMCL ⁽¹⁾	0.78	500
Ganado y aves (recomendación de US EPA)	4.7	3.000
Nivel promedio de salinidad en aguas de río		
Norteamérica	0.23	146
Europa	0.28	182
Australia	0.09	59
Mundo	0.19	120

(1) SMCL: Niveles de contaminación máximos: Lineamientos Federales (no obligatorios) con respecto a sabor, olor, color y efectos no – estéticos en agua potable.

(2) CE estimada a partir del total de sólidos disueltos (TSD); CE= TSD/640.

Tabla 10. Uso de aguas salinas para ganado y aves. (US EPA. 1973)

Comentario	EC ⁽¹⁾ (ds/m, 25°C)	Total de Sólidos Disueltos (mg/L)
Nivel de salinidad relativamente bajo. Excelente para todas las clases de ganado y aves.	< 1.6	< 1,000
Muy satisfactoria para todas las clases de ganado y aves. Puede causar débil y temporaria diarrea en el ganado no acostumbrado o deyecciones líquidas en aves.	1.6 – 4.7	1,000 – 3,000
Satisfactoria para ganado, pero puede causar diarrea temporaria y puede ser, al principio, rechazada por animales no acostumbrados. Aguas pobres para aves, frecuentemente provocando deyecciones líquidas, incremento en mortalidad, y disminución del crecimiento, especialmente en pavos.	4.7 – 7.8	3,000 – 5,000
Puede ser usada con razonable seguridad en ganado para leche y para carne, en ovejas, porcinos y caballos. Evite el uso en animales preñados o que lacten. Inapropiado para aves y, probablemente, para porcinos.	7.8 – 10.9	5,000 – 7,000
Riesgo considerable al usarla en vacas preñadas o que lacten, caballos, u ovejas, o las crías de estos animales. En general el uso debería ser evitado a pesar de que rumiantes viejos, caballos, aves y porcinos pueden subsistir con ellas bajo ciertas circunstancias.	10.9 – 15.6	7,000 – 10,000
Los riesgos son demasiado grandes y no se recomienda su uso en ninguna condición	> 15.6	> 10,000

⁽¹⁾ CE estimada a partir del total de sólidos disueltos (TSD); $CE = TSD/640$

Tabla 11. Lineamientos de orden general para salinidad en agua de riego para regiones áridas y semi-áridas (US EPA, 1973).

Clasificación	CE ds/m	TSD mg/L
Agua para la cual usualmente no se notan efectos	0.75	500
Agua que puede tener efectos negativos en cultivos sensibles	0.75 – 1.50	500 – 1,000
Agua que puede tener efectos adversos sobre muchos cultivos: requiere manejo cuidadoso	1.50 – 3.00	1,000 – 2,000
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes sobre suelos permeables, con un manejo cuidadoso.	3.0 – 7.50	2,000 – 5,000

Niveles de Nitratos y Nitritos en el Agua

Introducción

Los nitratos en el agua son causales de inquietud con relación a la salud humana y animal, y a la calidad ambiental de las aguas subterráneas y superficiales. Los nitratos en agua potable pueden causar metemoglobinemia (“síndrome de los bebés azules”) en niños por debajo de los seis meses de edad y puede tener efectos tóxicos en ganado y aves. La toxicidad aparece en conexión con la conversión de nitratos en nitritos después que ha sido consumida. Los nitritos tienen un efecto tóxico más rápido y pronunciado en agua potable, que los nitratos. Afortunadamente, las condiciones de nitritos en fuentes de agua son generalmente muy bajas. Los nitratos en aguas superficiales pueden causar crecimiento acelerado de algas y plantas acuáticas causando el agotamiento de oxígeno disuelto y una degradación general del cuerpo de agua (eutroficación). La eutroficación puede inhibir el uso del agua para recreación, pesca comercial y deportiva, agricultura, industria y provisión municipal. Asimismo los nitratos pueden impactar adversamente en los ecosistemas acuáticos. Los nitratos que entran en aguas superficiales y subterráneas provienen de fuentes no puntuales. Tanto los escurrimientos y lixiviados urbanos como los agrícolas son reconocidos como contribuyentes.

Interpretaciones

Los niveles de N requeridos para inducir la eutroficación variarán dependiendo de la relación entre nitrógeno y fósforo. Excesos de, ya sea nitrógeno, o de fósforo, pueden llevar a eutroficación. Se ha comprobado que se produce un excesivo crecimiento de algas cuando los niveles de fósforo total (mayormente fosfatos) exceden 0,10 ppm. La tabla 12 presenta valores comúnmente usados para el nitrógeno total (mayormente nitratos y amoníaco). La eutroficación es definida como un incremento en el estado de nutrientes de las aguas naturales, y causa el acelerado crecimiento de algas y plantas acuáticas, pérdida de oxígeno disuelto, incremento de la turbidez y general degradación de la calidad del agua (Pierzynski et al., 1994).

Tabla 12. Límites de nitritos y nitratos en el agua para seres humanos, para animales, y para fines ambientalistas (Pierzynski et al., 1994; US EPA, 1973)

Descripción	Límite o umbral
Máximo nivel contaminante para el N de nitratos, en agua potable pública, según US EPA.	10 mg N – NO ₃ . L ⁻¹
Máximo nivel contaminante para el N de nitritos, en agua potable pública, según US EPA	1 mg N – NO ₂ . L ⁻¹
Nivel de seguridad recomendado para el agua de consumo para ganado y aves.	40 mg N – NO ₃ +. N – NO ₂ L ⁻¹
Nivel de seguridad recomendado de N en nitritos solamente, para agua de consumo de ganado y aves	10 mg N – NO ₃ . L ⁻¹
Umbral de eutroficación para ambientes de agua dulce	0.5 - 10 mg N . L ⁻¹
Umbral de eutroficación para ambientes marinos	> 0.6 mg N. L ⁻¹

Comentarios

Las cintas para prueba de nitratos y nitritos pueden determinar tanto la concentración de nitratos como la de nitritos (hay dos áreas sensibles en cada una de las cintas). El muestreo de nitratos sobre una de la almohadilla sensible mide la suma de N nitratos y N nitritos presentes en la muestra. Si se encuentran nitritos en la muestra la cantidad debe ser sustraída de la lectura de nitratos para obtener la cantidad de nitrógeno en nitratos, en la muestra. Sin embargo, los nitritos son raramente encontrados en aguas para consumo a niveles mayores de $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (Manahan, 1993).

$1 \text{ ppm Prtea por millón} = 1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (miligramo por litro)

Referencias

James, D.W., R.J. Hanks, and J.J. Jurinak. 1982. Modern irrigated soils. John Wiley & Sons, New York.
Manahan, S.E. 1993. Fundamentals of environmetal chemistry. Lewis Publ., Ann Arbor, MI.
Pierzynski, G.M., J.T. Sims, and G.F. Vance. 1994. Soils and environmental quality, Lewia Publi., Boca Raton, FL.
US EPA. 1973. Water quality criteria 1972. PB-236 199/6BE. National Academy of Sciences – National Academy of Engineers. US Environmental Protection Agency, Washinton, DC.