Muestreo de suelos, técnicas de laboratorio e interpretación de análisis de suelos

LABORATORIO DE CIENCIAS BÁSICAS
Centro de Formación Agroindustrial
La Angostura Regional - Huila

SENNOVA
Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

Muestreo de suelos, técnicas de laboratorio e interpretación de análisis de suelos

Rodolfo Lizcano Toledo

Dilier Olivera Viciedo

David Saavedra Mora

Leidy Machado Cuellar

Edwin Rolando Valencia

Manuel Felipe Moreno Pérez

Marco Fidel Flórez

Centro de Formación Agroindustrial La Angostura
Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA)

2017



LABORATORIO DE CIENCIAS BÁSICAS
Centro de Formación Agroindustrial
La Angostura Regional - Huila

SENNOVA
Sistema de Investigación,
Desarrollo Tecnológico e Innovación

Muestreo de suelos, técnicas de laboratorio e interpretación de análisis de suelos / Rodolfo Lizcano Toledo y otros. --
Neiva : Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, 2017
88 páginas : figuras, fotos ; 21 cm.
ISBN 978-958-15-0273-8
1. Topografía 2. Calidad de suelos - Muestreo 3. Análisis del suelo - Toma de muestras I. Lizcano Toledo, Rodolfo, autor
526.9 cd 21 ed.
A1584647

CEP-Banco de la República-Biblioteca Luis Ángel Arango

Muestreo de suelos, técnicas de laboratorio e interpretación de análisis de suelos

ISBN: 978-958-15-0273-8
© SENA
© Centro de Formación Agroindustrial La Angostura
Servicio Nacional de aprendizaje
© Grupo de Investigación Agroindustrial La Angostura

Directivos SENA

María Andrea Nieto Romero
Directora General SENA

Mauricio Alvarado Hidalgo
Director de Formación Profesional

Emilio Eliécer Navia
Coordinador Grupo de Gestión Estratégica de la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (SENNOVA)

Dirección de formación Profesional

Luis Alberto Tamayo Manrique
Director Regional - SENA Regional Huila

Cándido Herrera González
Subdirector - Centro de Formación Agroindustrial La Angostura
SENA Regional Huila

Germán Barrios Cruz
Coordinador Académico - Centro de Formación Agroindustrial La Angostura
SENA Regional Huila

Claudia Mercedes Ordoñez
Líder SENNOVA
Centro de Formación Agroindustrial La Angostura
SENA Regional Huila

Isaías Farfán Collazos
Coordinador Formación Profesional
Centro de Formación Agroindustrial La Angostura
SENA Regional Huila

Coordinación editorial: Sílaba Editores SAS

Corrección de textos: Rubelio López

Diseño y diagramación: Juan Carlos Vélez S.

Centro de Formación Agroindustrial La Angostura
Dirección: Kilómetro 38 vía al sur de Neiva, Campoalegre (Huila)
Teléfonos: (578) 8380191 - 8385060
http://sena.edu.co/regionales-y-centros-de-formacion/zona-andina/Huila/Paginas/Huila.aspx
www.centroagroindustrial.blogspot.com.co
www.centroagroindustrial.blogspot.com
Impreso en Panamericana Formas e Impresos S. A. / Printed and made in Colombia.
Se autoriza la reproducción total o parcial de la obra para fines educativos siempre y cuando se cite la fuente.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la familia del Centro de Formación Agroindustrial La Angostura, y en especial a la gestión y esfuerzo del doctor Cándido Herrera Gonzales, por garantizar los recursos y la calidad de la formación de los aprendices y el trabajo de la mano con el sector agropecuario; así mismo, a la líder de SENNOVA, la doctora Claudia Ordoñez, por la oportunidad de dinamizar la divulgación científica, y de esta manera generar herramientas que faciliten la toma de decisiones en los procesos técnicos productivos que sirvan como fundamento de los conocimientos de investigadores y aprendices. Al grupo de instructores del equipo agrícola, por los conocimientos previos para la construcción de este documento.

Contenido

Presentación....9

Introducción....11

1. Muestreo de suelos....13

1.1. Importancia del muestreo para análisis de suelos....14
1.2. Instrumentos para la obtención de muestras....15
1.3. Precaución para una buena toma de la muestra....17
1.4. Parámetros para el envío de la muestra de suelo al laboratorio....31

2. Metodologías del laboratorio....35

2.1. Conductividad eléctrica (CE)....36
2.2. Densidad en el suelo....38
2.3. Densidad aparente (Da)....38
2.4. Densidad real (Dr)....39
2.5. Porosidad en el suelo....41
2.6. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)....41
2.7. Capacidad de Intercambio Catiónico Estimada (pH 7)....42
2.8. Aluminio intercambiable (Al^{+3})....43
2.9. Nitrógeno total (Nt)....44
2.10. Textura....45
2.11. Materia orgánica....46

2.12. Carbono orgánico 47
2.13. pH 48
2.14. Espectrofotometría de absorción atómica 52
2.15. Fósforo (P) en el suelo 55

3. Análisis de suelos y su interpretación 59

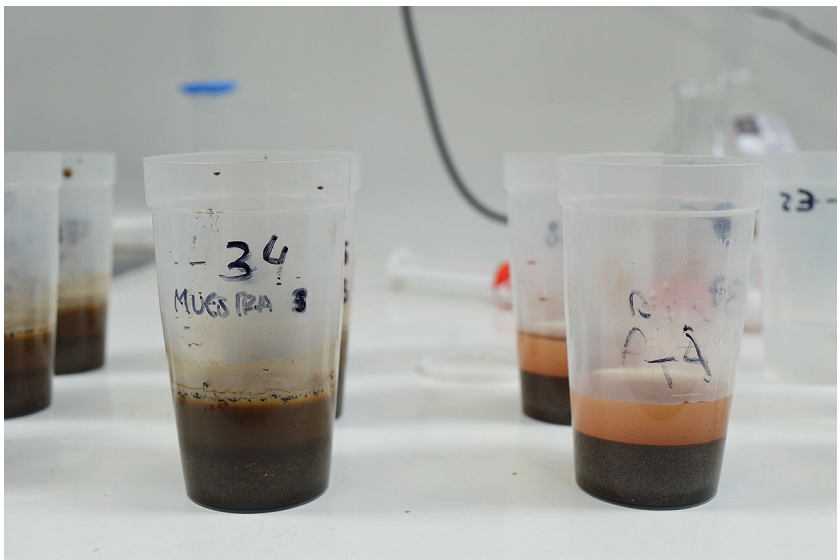
3.1. pH 60
3.2. Densidad aparente 64
3.3. CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico) 65
3.4. Fósforo (P) 67
3.5. Materia Orgánica (M.O) 67
3.6. Bases Intercambiables 74
3.7. Elementos menores 76
3.8. Relaciones iónicas 76
3.9. Unidades empleadas en el análisis de suelos 78

Bibliografía 82

Presentación

El Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), a través del Centro de Formación Agroindustrial La Angostura (CEFA), busca la formación y la prestación de servicios a toda la región centro-sur del departamento del Huila, ofreciendo capacitaciones, eventos de desarrollos tecnológicos, giras de campo, en diferentes niveles de educación, etc., con miras a resolver problemas y dar soluciones al sector agropecuario a partir de herramientas y tecnologías que se han desarrollado, como todo el componente nutricional evaluado a través de un análisis de suelos.

El presente manual busca orientar las diferentes fases para la obtención del resultado de análisis de suelos, como lo son la práctica de muestreo de suelos, las diferentes metodologías que se desarrollan empleando las técnicas de laboratorio, y la interpretación de algunos parámetros del análisis de suelos, con base en investigaciones y en la experiencia de los autores, que contribuirán a las instituciones de investigación, universidades, asistentes técnicos y productores, como herramienta agronómica fundamental en la toma de decisiones, que permita mejorar la eficacia de los diversos sistemas productivos agrícolas del país y especialmente del departamento del Huila.


34
MUESTRA 3

Introducción

A la hora de ejecutar un proyecto productivo es de gran importancia tener en cuenta diversos factores como la planificación del proyecto, el análisis del suelo, entre otros, que a lo largo de la historia han sido fundamentales en la toma de decisiones y en el momento del desarrollo de proyectos implementando la siembra de nuevas especies comerciales o elevando la productividad de otras, lo que es de gran importancia en la región. La técnica de muestreo y la interpretación de los resultados son consideradas como herramientas fundamentales para el desarrollo de cualquier proyecto productivo de la región. En el presente libro se encontrarán tres capítulos: I. Muestreo de suelo, II. Técnicas de laboratorio y III. Interpretación de resultados. Lo anterior fundamenta una correcta recomendación de un plan de fertilización y sus diferentes metodologías que buscan como resultado un diagnóstico principal de las características físico-químicas del suelo analizado, la obtención de las posibles correcciones o planificación de las diferentes actividades productivas (preparación del suelo, instalación del riego, plan nutricional, entre otros), actividades que promoverán una buena calidad y/o rendimiento de los proyectos productivos.

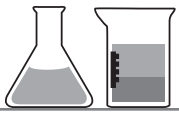






— CAPÍTULO 1 —

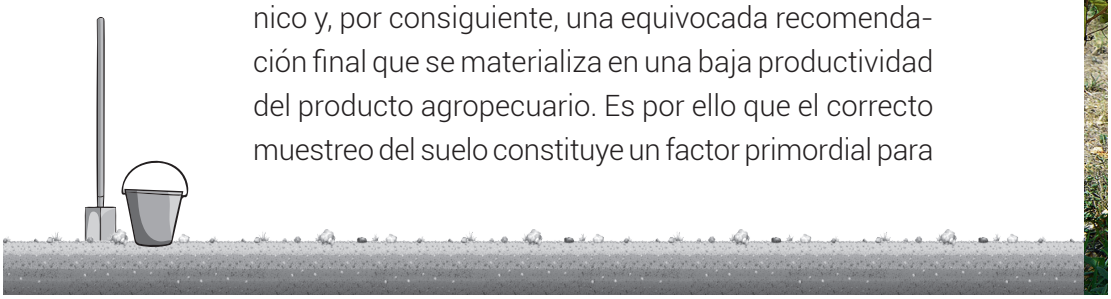
1. Muestreo de suelos



1.1. Importancia del muestreo para el análisis de suelos

El análisis de suelos es una herramienta fundamental para determinar la fertilidad y potencial del suelo de alguna localidad, región, lote, etc. Cuando se trata de la evaluación de la fertilidad del suelo la expresión "análisis químico de suelos" es inapropiada, ya que lo que se analiza no es toda la extensión del perfil del suelo sino el material colectado en sus capas más superficiales.

Esta herramienta reúne una serie de parámetros que en conjunto van a dar un resultado que con la experiencia del ingeniero agrónomo o el asistente técnico darán una interpretación de un plan de fertilización, dependiendo del tipo de suelo, el tipo de cultivo, la edad y el sistema de producción; así mismo, será el ajuste de la interpretación y recomendación del plan. Para esto es importante realizar de modo correcto el muestreo agrícola, ya que de no hacerlo de modo correcto se pueden presentar varios errores, como la reducción del lucro del productor, la mala interpretación del asistente técnico y, por consiguiente, una equivocada recomendación final que se materializa en una baja productividad del producto agropecuario. Es por ello que el correcto muestreo del suelo constituye un factor primordial para



la evaluación de la fertilidad de los suelos, y en la imposibilidad de analizar todo el volumen y/o peso de la capa arable de un suelo (aproximadamente 2.000 m^3 o 2.000.000 de kilogramos de suelo, con una densidad aparente de 1g/cm^3 o 1000 Kg/m^3 y una profundidad de la muestra de 20 cm), se utilizan muestras que van a representar todo el universo que se quiere evaluar.

1.2 Instrumentos para la obtención de muestras

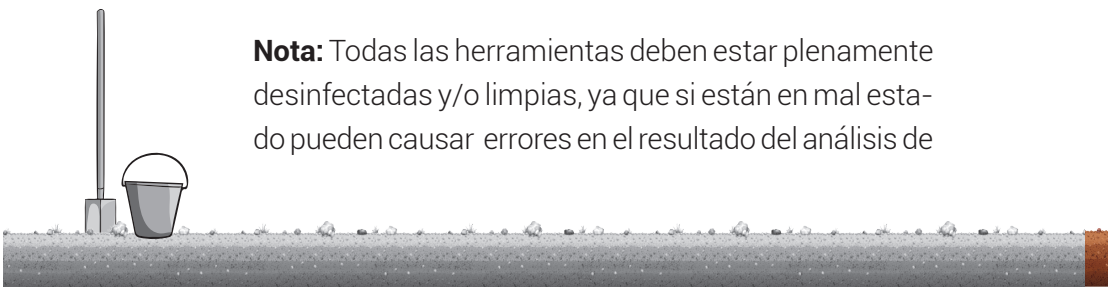
Las herramientas para el muestreo de suelos deben cumplir con dos condiciones: 1) que adquiera una muestra uniforme de suelo desde la superficie hasta la profundidad deseada; 2) que se obtenga la misma cantidad de suelo en cada extracción, de manera que al finalizar la recolección se obtenga una muestra representativa sin anomalías para una mayor confiabilidad y criterio del resultado (figura 2). Actualmente, existen



Figura 1. Herramientas utilizadas en la toma de muestras de suelo. Fuente: Leidy Machado Cuellar.

diferentes tipos de herramientas que facilitan la obtención de la muestra de suelo (figura 1), como son:

- Mapa de la finca o de la zona a muestrear: De esta forma permite la ubicación de los puntos a muestrear así como de las herramientas.
- Machete: En el caso de que el terreno presente alta población de arvenses, que limitan o dificultan la entrada del palín, barreno o broca en la extracción del suelo.
- Barreno (Tipo holandés o broca), pala o palín, según la disponibilidad de lo que hay en la finca.
- Cuchillo: Facilita la extracción de impurezas y suelos con una alta condición de compactación.
- Balde: Es necesario para la mezcla homogénea de las muestras simples y obtención del kilo de suelo para su envío al laboratorio.
- Guantes: Evita la contaminación de la muestra de suelo (el sudor contiene sales, que de alguna forma pueden alterar las cantidades de ciertos elementos).
- Marcadores: Elemento que permite una correcta identificación de las muestras recolectadas, además de que el marcador se fija mejor en la rotulación de la bolsa que un lapicero.
- Bolsa: Elemento que sirve para diligenciar los datos de la muestra con su respectivo formato de identificación.



Nota: Todas las herramientas deben estar plenamente desinfectadas y/o limpias, ya que si están en mal estado pueden causar errores en el resultado del análisis de



Figura 2a



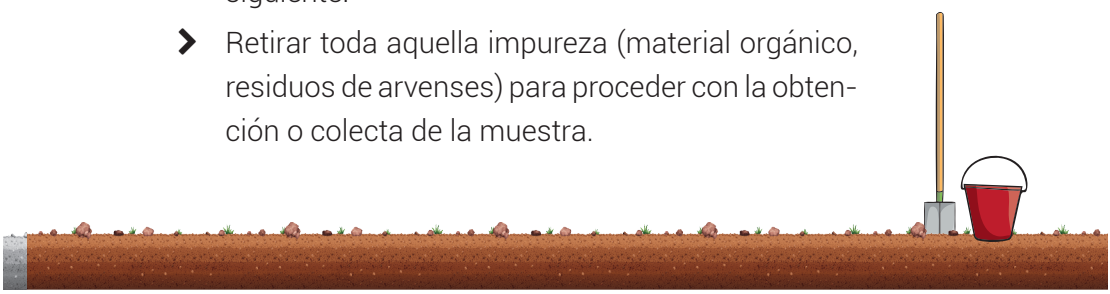
Figura 2b

suelos. Por ejemplo, herramientas oxidadas pueden sobreestimar la concentración de hierro (Fe), permitiendo dar un diagnóstico equivocado y una recomendación sin precisión.

Figura 2. a) Herramientas usadas en la toma de muestra de suelo. b) Productora con muestra de suelos lista para ser enviada al laboratorio.

1.3. Precaución para una buena toma de la muestra

- Evitar la excesiva manipulación de las muestras para disminuir los riesgos de contaminación antes de que sean entregados al laboratorio.
- Tomar la cantidad de muestra necesaria para evitar sobrepeso en el transporte de las muestras del laboratorio (1 kilogramo por muestra).
- Desinfectar las herramientas después de la toma de la muestra de suelo y antes de proceder a la siguiente.
- Retirar toda aquella impureza (material orgánico, residuos de arvenses) para proceder con la obtención o colecta de la muestra.



- No tomar las muestras en orillas de caminos, cercos, bebederos, dormideros, antiguas construcciones, zonas de vertientes hídricas o de drenajes.

- Realizar un debido chequeo de las herramientas antes de dirigirse al sitio a muestrear.

A continuación, se describirán algunos parámetros para el muestreo de análisis de suelos.

1.3.1. Profundidad de la muestra

La muestra debe obtenerse donde se verifique la mayor concentración de raíces secundarias del cultivo, por ser estas las más activas en la absorción de nutrientes. La sección es comúnmente denominada de "Profundidad efectiva del sistema radicular". Con esto se pretende evitar que se fije una profundidad rígida para la muestra y generalizada para varias culturas; de forma general se ha vuelto una costumbre tomar una profundidad estándar de 20 cm como un número arbitrario,



Figura 3. Calicata para la toma de muestras en diferentes profundidades. Fuente: David Saavedra Mora.

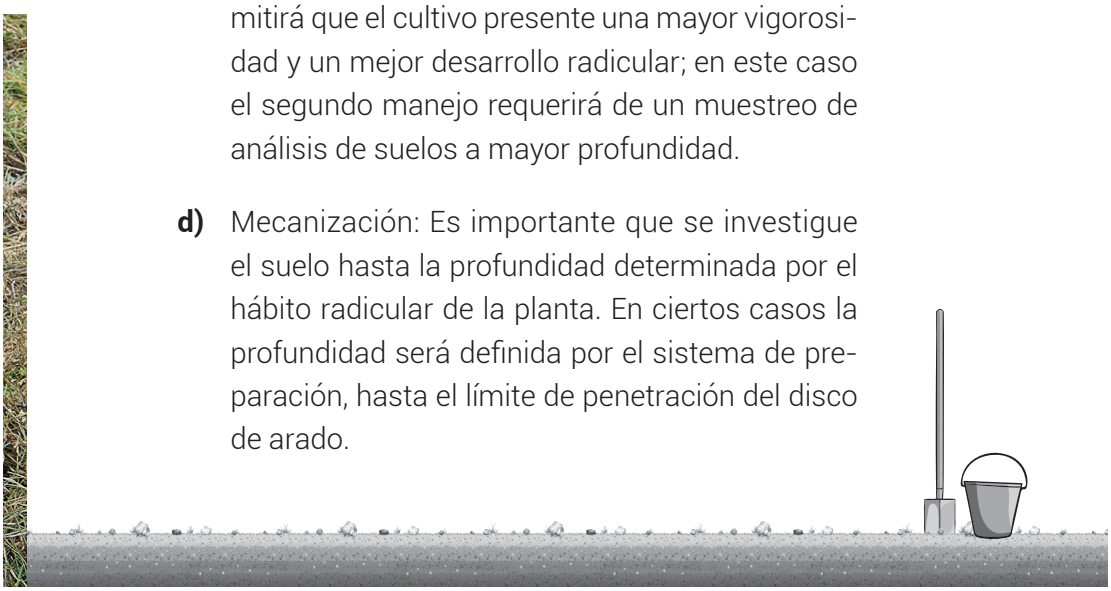
pero hay factores muy importantes que se deben tener en cuenta al momento de tomar la decisión de elegir la profundidad (figura 3).

a) Cultivo: Los diferentes cultivos presentan diferente tipo de desarrollo radicular; así, por ejemplo, el arroz presenta un desarrollo radicular que puede alcanzar los 15 a 20 cm, pero si se considera frutales como los cítricos, estos pueden desarrollar un sistema radicular hasta los 90 cm.

b) Horizontes del suelo: Se puede presentar un Horizonte A de 15 cm de espesura y un Horizonte B con otras características físico-químicas muy diferentes al horizonte superficial; esto hace que se deba manejar dos tipos de muestras a diferentes profundidades.

c) Manejo Agronómico: El muestreo va ser diferente en un cultivo con manejo convencional, en el cual habrá poco desarrollo radicular, frente a un cultivo con un paquete tecnológico robusto, lo que permitirá que el cultivo presente una mayor vigorosidad y un mejor desarrollo radicular; en este caso el segundo manejo requerirá de un muestreo de análisis de suelos a mayor profundidad.

d) Mecanización: Es importante que se investigue el suelo hasta la profundidad determinada por el hábito radicular de la planta. En ciertos casos la profundidad será definida por el sistema de preparación, hasta el límite de penetración del disco de arado.



1.3.2. Cantidad de suelo a ser recolectado

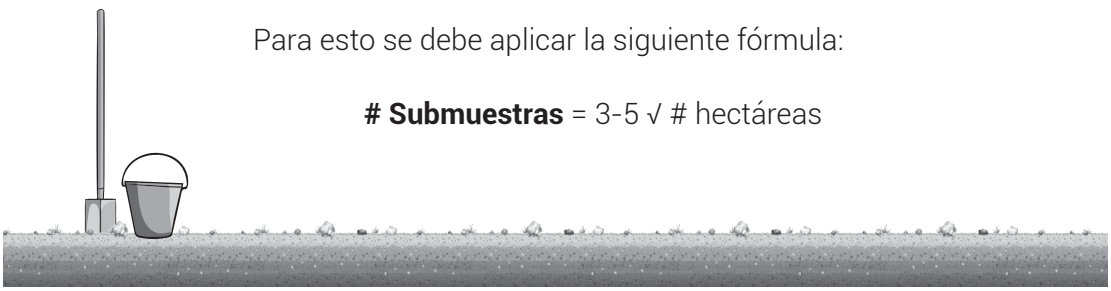
Para un análisis completo de suelos es suficiente un kilogramo de suelo por cada muestra, pero la mayor parte de las veces se requiere de mucho menos; se aconseja, normalmente, 500 gramos, si la muestra no presenta demasiadas impurezas (piedras, material orgánico, entre otros). Esto debe ser consultado al personal del laboratorio antes de ir al campo a recolectar las muestras, para evitar transportar demasiado peso, especialmente con respecto a la mayoría de productores que vienen desde muy lejos.

1.3.3. Número de muestras por área

El número de muestras por área depende de diferentes factores del suelo (estructuras de formación). Cuando la parcela es uniforme en cuanto a sus características, se recomienda la toma de dos (2) submuestras para formar una muestra compuesta, y así obtener un resultado con mayor eficacia. Si la parcela se considera heterogénea, es necesaria la subdivisión de la parcela en diferentes áreas con mayor variación dentro de la misma parcela. Por esta razón, se recomienda la toma de una (1) submuestra por área. Teniendo en cuenta la variación presente en las áreas separadas, es necesario el análisis de cada una de las submuestras recolectadas, ya que presentan diferentes factores físico-químicos que pueden ser fundamentales para la interpretación de los resultados.

Para esto se debe aplicar la siguiente fórmula:

 # Submuestras = 3-5 √ # hectáreas



1.3.4. Muestreo dependiendo del tipo de cultivo

Este ítem es importante ya que para cada cultivo es recomendable realizar por lo menos una muestra de suelos, debido a las diferencias nutricionales y el nivel de extracción que hace referencia a la cantidad de nutrientes removidos o cosechados por tonelada de grano o producto cosechado producido (tabla 1).

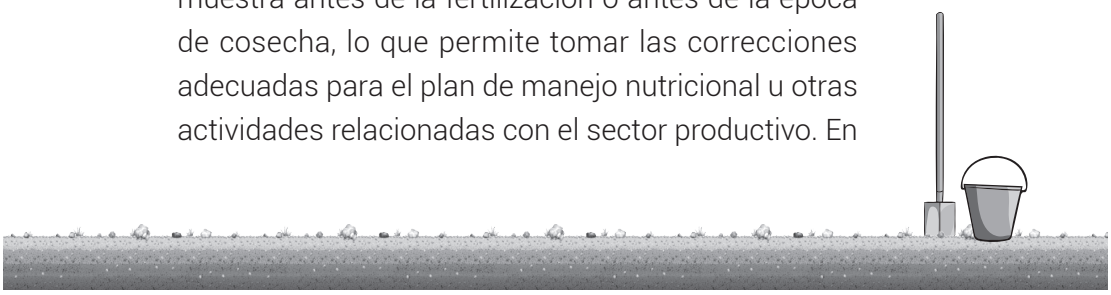
Tabla 1. Requerimientos nutricionales para diferentes cultivos, de acuerdo con el nivel de absorción y extracción.

Soja					Trigo				
Rendimiento Kg ha^{-1}			Humedad de grano (%)		Rendimiento Kg ha^{-1}			Humedad de grano (%)	
1.000			13,5		5.500			13,5	
Nutriente	Requerimiento	IC	Absorción	Extracción	Nutriente	Requerimiento	IC	Absorción	Extracción
N	75	0,73	65	47	N	30	1	143	98
P	7	0,88	6	5	P	5	1	23,8	19
K	39	0,49	34	17	K	19	0	90	19
Ca	16	0,19	14	3	Ca	3	0	14,3	2
Mg	9	0,39	8	3	Mg	4	1	19	12
S	4,5	0,72	4	3	S	5	0	23,8	8,1
B	0,03	0,31	0,02	0,01	B	0,025	1	0,119	0,059
Cl	0,24	0,47	0,21	0,1	Cl				

Fuente: (IPNI, 2016).

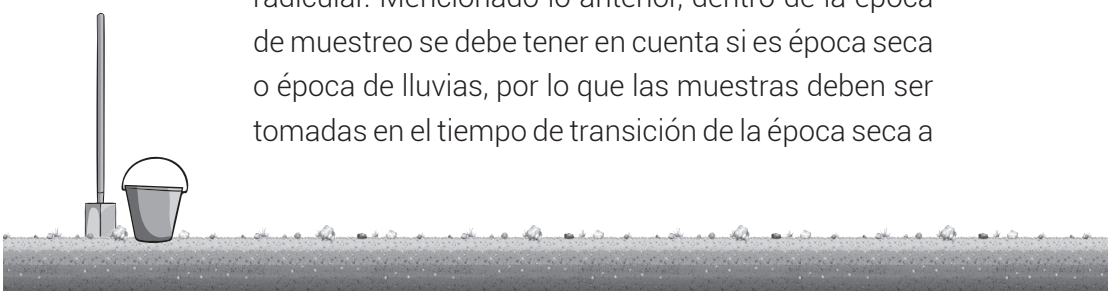
1.3.5. Época de muestreo

Teniendo en cuenta los diferentes cambios que presentan o experimentan los suelos a lo largo del año (periodo de transformación), debido a factores climáticos, actividad agrícola, mecanización de suelos, degradación de la materia orgánica, entre otros (Mineral, 2000). Se recomienda, para cultivos anuales, una (1) muestra antes de la fertilización o antes de la época de cosecha, lo que permite tomar las correcciones adecuadas para el plan de manejo nutricional u otras actividades relacionadas con el sector productivo. En



los cultivos perennes, el período de prolongación puede variar dependiendo de la necesidad presente, generalmente se recomienda realizar el muestreo después del ciclo de producción, donde hay mayor demanda de extracción de nutrientes de los cultivos; eventualmente, se recomienda realizar el muestreo antes del periodo de fructificación, como complemento en el proceso de llenado de fruto (análisis foliar).

En las pasturas establecidas, la época de muestreo es cada dos (2) años. La frecuencia de la época de la muestra puede ser más intensa en cultivos tecnificados (invernaderos, frutales, hortalizas) (Osorio y Casamitjana, 2011). En Colombia, al contar con época seca (verano) y de lluvia (invierno), las mismas presentan un rol importante dentro de la época de muestreo, ya que en la época seca (verano) se presentan escasas precipitaciones, elevada evaporación, incorporación de sales a través del riego que causan la salinidad del suelo, encontrándose sales como sodio, calcio, magnesio, carbonatos, bicarbonatos, entre otros (Bebelis y Liotto, 2005). Por otra parte, en épocas de lluvia, al aumentar las precipitaciones, se presentan problemas de lixiviación, pérdida de nutrientes (nitrógeno, fósforo, boro, azufre, entre otros), a través de la percolación del agua por medio del perfil del suelo, depositando los nutrientes por debajo de capacidad de absorción radicular. Mencionado lo anterior, dentro de la época de muestreo se debe tener en cuenta si es época seca o época de lluvias, por lo que las muestras deben ser tomadas en el tiempo de transición de la época seca a



la época de lluvias, ya que de ser tomada en alguna de las dos estaciones se puede presentar un mal resultado e interpretación del mismo.

1.3.6. Humedad de la muestra

La importancia de la humedad de la muestra permite determinar diferentes factores (nivel freático, Ks, CIC, pH, entre otros) (Sancho, 1999). La humedad de la muestra representa el contenido de agua y aire presentes en el suelo, donde la humedad de la muestra es la relación expresada en porcentaje entre el peso del agua existente dentro de una masa de suelo. Esta juega un papel importante en el sector productivo, debido a que la humedad representa el agua constituyente como formación y productividad del mismo (Constantinidis, 1970). La humedad de la muestra determina la retención de agua, lo cual es primordial dependiendo del cultivo en la instalación del sistema de riego (Gurovich, 1985). Su determinación permite establecer el tipo de suelo presente en el área analizada (Trejo, 2002). Es necesario saber la humedad de la muestra en el laboratorio para disponer de la cantidad necesaria de agua requerida por los diferentes tipos de suelo (arcilla, limo, arena) (Esqueda, 2005).

1.3.7. Número de muestras por lote

Partiendo del origen del suelo y su proceso de formación, se puede interpretar el área y número de muestras, diferenciando aquellas variables cualitativas y cuantitativas (características físico-químicas del suelo) de los factores de formación, tales como el clima, el relieve,

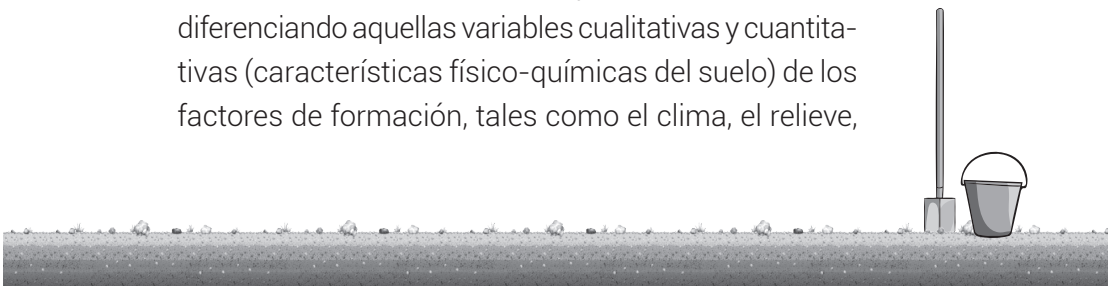
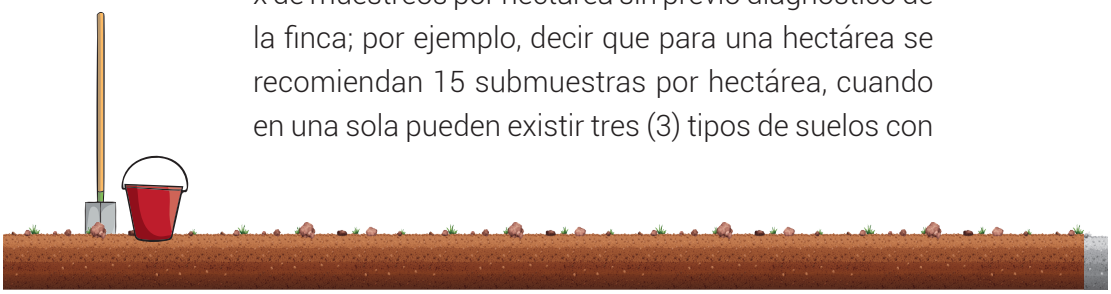




Figura 4. Toma de muestra de forma zig-zag en un cultivo de café. Fuente: David Saavedra Mora.

el tiempo, el material parental, la actividad agrícola, la mecanización del suelo, entre otras (Hernández, 2008). Relacionando aquellos factores, se puede delimitar las áreas a muestrear; la muestra simple se conforma de una sola por sector, la muestra compuesta de dos o más (un mayor número de muestras por sector, permite obtener un mayor resultado eficiente).

Es una gran irresponsabilidad recomendar un número x de muestreos por hectárea sin previo diagnóstico de la finca; por ejemplo, decir que para una hectárea se recomiendan 15 submuestras por hectárea, cuando en una sola pueden existir tres (3) tipos de suelos con

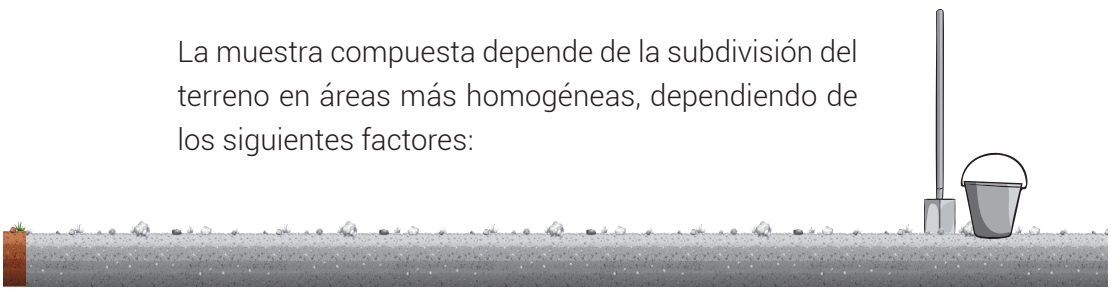


características diferentes. Es importante que los asistentes técnicos, profesores, instructores, organizaciones y productores entiendan que la previa identificación de los tipos de suelos que tiene su finca conduce a un correcto diagnóstico y a que se obtenga un acertado resultado del análisis de suelos, ya que ese es el primer paso para el éxito de una buena recomendación.

1.3.8. Frecuencia

El análisis de suelos debe ser repetido con intervalos que pueden variar de uno a varios años, lo cual depende de diferentes factores (plan de fertilización, rotación de cultivos, sistemas de riego, preparación de suelos), como la intensidad de la fertilización, del número de culturas de ciclo corto (hortalizas, gramíneas, algodón, etc.) o del estado fenológico de cultivos perennes. De forma general, conviene realizar los muestreos con mayor frecuencia, ya que si se tiene un análisis de suelos que tiene más de dos años (periodo en el que el análisis de suelos aún está en vigencia), hay que observar el tipo de manejo y uso que el productor le dio a través de las recomendaciones. Para esto es importante que haya recibido su plan de fertilización y lo efectúe a cabalidad, de otro modo, el análisis de suelos puede tener años de haber sido interpretado y aún tendrá la misma validez, ya que el suelo no se ha modificado a través de las aplicaciones ajustadas a partir de las recomendaciones de un profesional.

La muestra compuesta depende de la subdivisión del terreno en áreas más homogéneas, dependiendo de los siguientes factores:

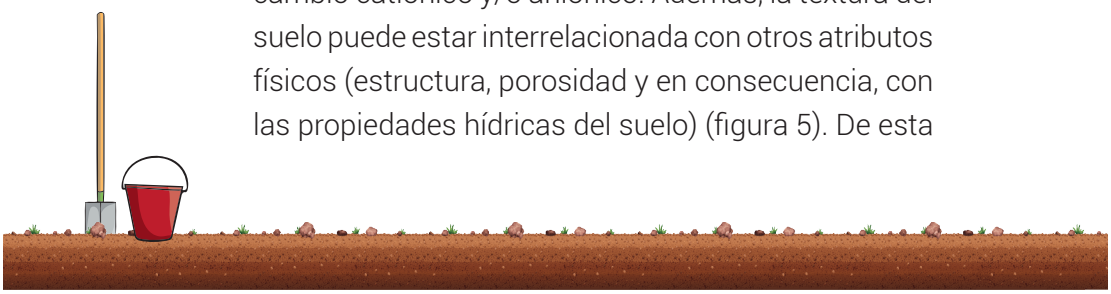


a) Textura del suelo



Figura 5. Determinación de textura por medio del método organoléptico. Fuente: Leidy Machado.

La textura influye de forma contundente en la fertilidad del suelo. Los suelos arcillosos, por condiciones geomorfológicas tienen mayores cargas de superficie que permiten una mayor capacidad de absorber iones que un suelo arenoso, el cual es poco reactivo; esto define en el lote, parcela o unidad productiva los diferentes tipos de suelos con diferentes capacidades de intercambio catiónico y/o aniónico. Además, la textura del suelo puede estar interrelacionada con otros atributos físicos (estructura, porosidad y en consecuencia, con las propiedades hídricas del suelo) (figura 5). De esta



forma, la textura del suelo permite diagnósticos sobre la capacidad de intercambio iónico y es de gran relevancia en los mecanismos de absorción de nutrientes por las raíces, como la difusión (P, K) de nutrientes y el flujo de masa (N, S, Ca, entre otros).

b) Color del suelo

Este atributo permite inferir la naturaleza constitutiva del suelo o las condiciones químicas donde los constituyentes estuvieron sometidos, pues se correlaciona con la mayoría de características mineralógicas, físicas y químicas del suelo (figura 6).

Para el presente estudio se utilizó la escala de Munsell de colores para suelos

Figura 6. a) Suelo oxisoles en el departamento del Huila. **b)** Tabla Munsell, para determinación de color en suelos. **c)** Muestras de suelos de distintas unidades agrícolas del CEFA. **d)** Perfil de un suelo y sus respectivos colores de acuerdo a los tipos de horizontes. Fuente: Manuel Felipe Moreno.



Figura 6a



Figura 6b



Figura 6c

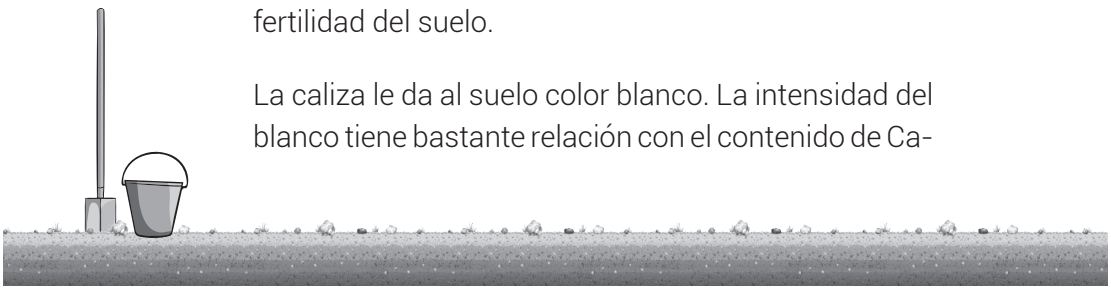


Figura 6d

(Munsell soil colour charts, 1954), muy empleada en la designación de colores, la cual es realizada bajo los conceptos de matiz, valor y croma. El color del suelo es un buen indicador de la presencia de óxidos de hierro (Fe), estimando cuantitativamente este mineral, y proporcionando informaciones al respecto de las condiciones epigenéticas y de otros atributos importantes del suelo. Por ejemplo, suelos oscuros, acostumbran a identificar altas concentraciones de restos orgánicos descompuestos.

El color rojo está relacionado con suelos bien drenados y altas concentraciones de óxidos de hierro (Fe) > 50 ppm (Partes por millón). La oxidación del Fe se debe a una mayor aireación del suelo (Fe_2O_3); así que los suelos que se encuentran encharcados o muy húmedos durante largos periodos de tiempo tienden a ser verdosos, pues el encharcamiento impide su aireación y el ion hierro se reduce a Fe^{+2}, presentándose muy disponible para la planta, llegando a ser tóxico en niveles por encima del rango adecuado para los cultivos (< 50 ppm). Por otro lado, suelos grises-azulados indican que permanentemente tienen exceso de agua en el perfil, con constantes procesos de óxido-reducción que afectan a los elementos que pueden existir en el suelo en dos o más estados de oxidación como es el caso del O, C, N, S, Fe, Mn y Cu, así que los atributos físicos están correlacionados con las propiedades químicas y la dinámica de los elementos constituyentes de la fertilidad del suelo.

La caliza le da al suelo color blanco. La intensidad del blanco tiene bastante relación con el contenido de Ca-



CO_3, y también puede deberse a altos contenidos de cuarzo o feldespatos.

c) Topografía del terreno

El relieve en una zona productora agropecuaria define el número de muestras de suelo compuesto que se debe tomar. La variabilidad del suelo está directamente relacionada con la edad de la superficie geomórfica y forma del paisaje (Cunha *et al.,* 2005). El espesor del suelo depende del relieve, donde influye de forma directa en la distribución espacial de los atributos arcilla y hierro para el uso en áreas de manejo específico (Baracat *et al.*, 2013).

d) Tipo de cultivo

El tipo de cultivo determina el nivel de absorción de nutrientes, así que no es igual un suelo cultivado con café que con caña de azúcar, ya que los dos presentan un desarrollo radicular diferente y cada suelo va presentar una fertilidad específica.

e) Sistema productivo

El tipo de sistema productivo hace que haya una remoción de nutrientes de forma diferente. Por ejemplo, no es lo mismo un café en sistema a libre exposición, que un cafetal consorciado con plátano y nogal cafetero; estos dos sistemas marcan tipos de extracción diferente, por lo cual se hace necesario que se tomen muestras de suelo separadas.

En la figura 7 se puede observar diferentes niveles de materia orgánica con dos tipos de sistemas diferen-

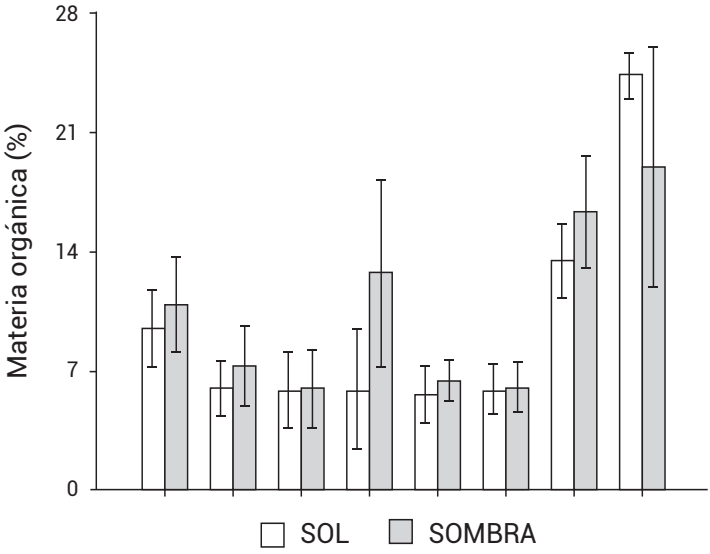
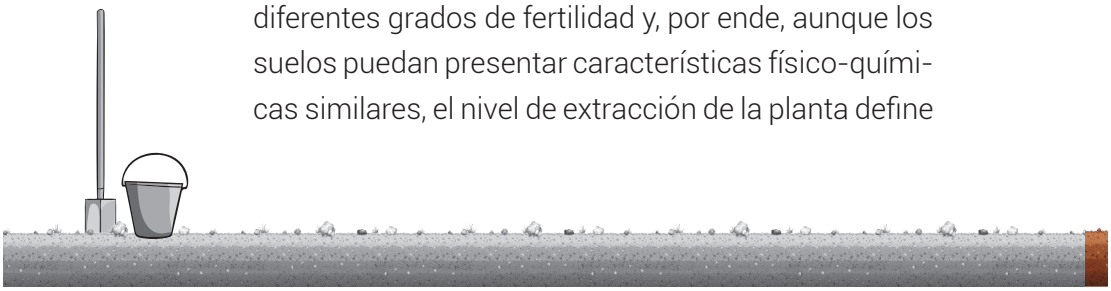


Figura 7. Promedio general de la materia orgánica de cafetal en sombra y a libre exposición (Sol).

tes. Dicha materia orgánica, mediante el proceso de mineralización, va a generar nitrógeno orgánico e inorgánico (NO_3^- y NH_4^+), presentando una mayor fuente de nitrógeno cambiando la fertilidad tanto en un sistema como el otro y, por consiguiente, resultando en la necesidad de tomar muestras de suelo para cada sistema.

f) Edad del cultivo

La edad del cultivo permite a la planta absorber nutrientes en diferentes estadios; muy diferente es la absorción en etapa fenológica vegetativa que está próxima a la cosecha (Ruf *et al.*, 2017), lo que implica que lotes con cultivos diferentes, según la edad, pueden presentar diferentes grados de fertilidad y, por ende, aunque los suelos puedan presentar características físico-químicas similares, el nivel de extracción de la planta define



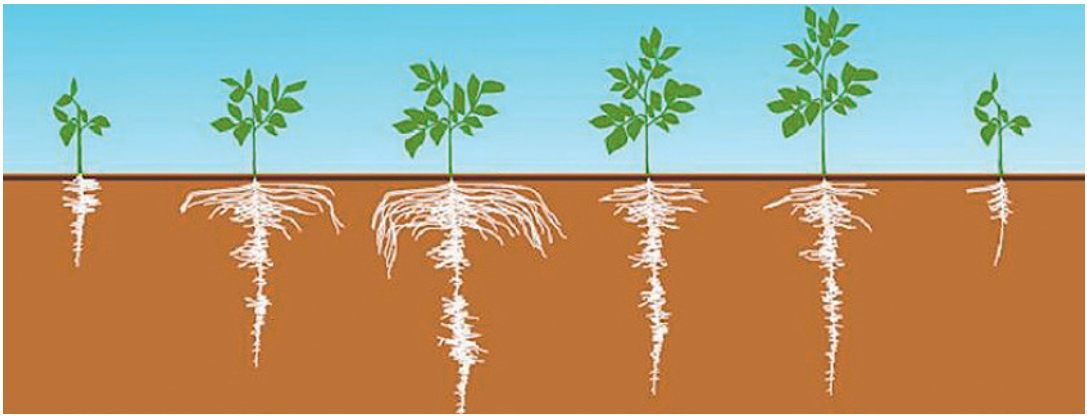


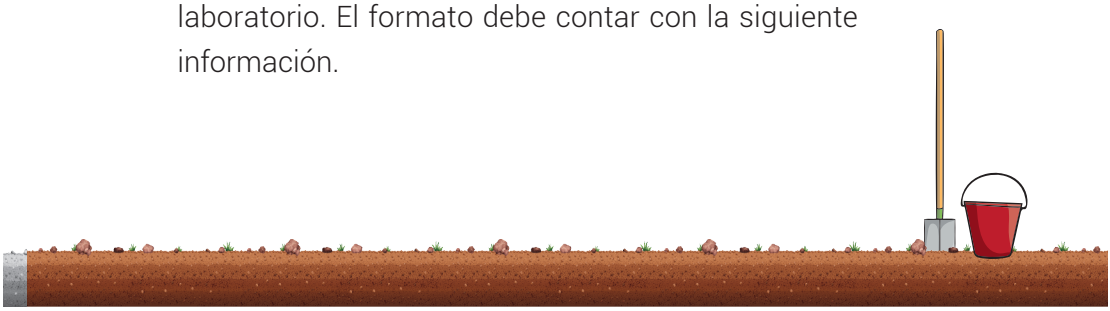
Figura 8. Desarrollo radicular en diferentes estados fenológicos de la planta (Sattelmacher *et al.*, 1990)

en un alto grado (figura 8) la decisión de tomar varias muestras compuesta para envío al laboratorio.

Nota: Las muestras nunca se deben mezclar. La mezcla de muestras compuestas no representa la realidad, ni tampoco representa la media de los resultados de los análisis. Cada muestra compuesta es una unidad y representa al punto y horizonte donde se ha tomado con características similares, donde puede dársele un manejo específico (Agricultura de precisión).

1.4. Parámetros para el envío de la muestra de suelo al laboratorio

Al obtener la muestra de suelo y estar plenamente empacada en su respectiva bolsa, esta debe cumplir con una información específica para ser enviada al laboratorio. El formato debe contar con la siguiente información.

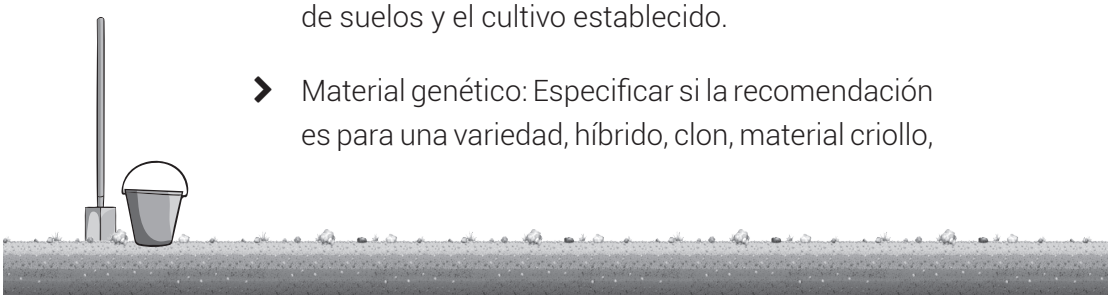


Datos del solicitante

- Nombre del solicitante
- Identificación
- Fecha de solicitud
- Asesor técnico: Importante para que este pueda resolverle preguntas al laboratorio, ya que el productor en muchos casos no maneja algunos conceptos técnicos y el acompañamiento adecuado puede ser de gran utilidad en casos como este.

Datos de la muestra

- Lugar: vereda, municipio y departamento de toma de la muestra. Este dato es importante si el laboratorio está ubicado en Bogotá o fuera del departamento donde se tomó la muestra de suelo.
- Nombre del predio
- Teléfono
- Correo
- Cultivo: Esta información es relevante no para la determinación de los resultados del análisis de suelos correspondiente, pero sí especialmente para la recomendación, la cual debe estar sujeta al nivel de extracción y requerimiento de cada cultivo; en este caso, el plan de fertilización se hará teniendo en cuenta dicha información del resultado de análisis de suelos y el cultivo establecido.
- Material genético: Especificar si la recomendación es para una variedad, híbrido, clon, material criollo,



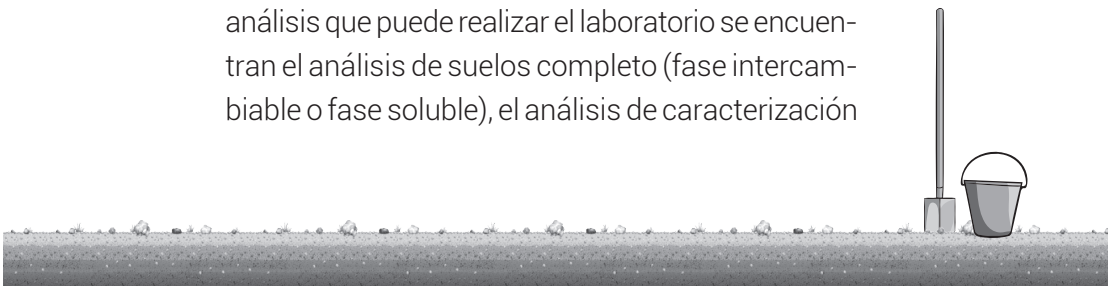
transgénico, etc., ya que de esta información depende el nivel de exigencia en la fertilización; por requerimiento nutricional van a ser más exigentes los materiales con mayor mejoramiento genético.

- Edad: Con este valor se pueden estimar planes de fertilización específicos; además, no es lo mismo una recomendación para un cultivo recién trasplantado al lote, que uno de 5 años para perennes, en el caso de semestrales para época de embuchamiento (llenado) en gramíneas.

- Topografía: Dependiendo de la topografía se pueden tomar decisiones de manejo, interpretación de situaciones específicas como lixiviación de nutrientes (elementos móviles en el suelo), etc.

- Aplicación de enmiendas o acondicionadores: Este es un importante indicador de los posibles cambios que puede sufrir el suelo a nivel físico-químico y, por ende, es fundamental que el asistente técnico, profesor o extensionista conozca estos cambios para hacer los balances y ajustes necesarios para una correcta recomendación. No conocer estos detalles puede generar sobreestimaciones en la aplicación de productos acondicionadores como la cal, generando problemas como clorosis calcárea.

- Tipo de análisis solicitado: dentro de los tipos de análisis que puede realizar el laboratorio se encuentran el análisis de suelos completo (fase intercambiable o fase soluble), el análisis de caracterización



de suelos, el análisis de salinidad, el análisis de metales pesados, etc.

- Fecha de Muestreo
- Número de parcela (lote)
- Profundidad de la muestra (cm): Profundidad que depende del tipo de cultivo.
- Coordenadas X y Y (opcional)
- Tipo de análisis deseado (físico, de caracterización, salinidad, fase intercambiable, fase soluble), además de adición de algún determinado elemento (benéfico, elemento metal pesado, etc.).

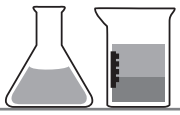
Nota: Los valores mencionados anteriormente pueden variar según políticas internas del laboratorio, así como el manejo de formulario y/o ingreso de muestra del mismo.



— CAPÍTULO 2 —

2. Metodologías del laboratorio





Se describen aquí los diferentes métodos que son útiles cuando se quiere obtener información sobre las características fisicoquímicas de una muestra de suelo. Estas características permiten obtener información referente a la calidad del suelo del que proviene la muestra. Gracias a la información que se obtenga se puede tener conocimiento del estado del suelo respecto a los nutrientes y componentes, y teniéndose esto en cuenta es posible tomar decisiones desde el punto de vista agronómico, que permitan corregir lo que haga falta y se evite así aplicar en exceso algún nutriente que se encuentre en cantidades adecuadas (USDA, 2016).

2.1. Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica (CE) es una medida que permite determinar la concentración de sales solubles presente en el suelo; además, mide la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica (Herber, 2011). El método para determinar conductividad eléctrica (CE) se realiza mediante potenciometría, haciendo uso de un conductivímetro (figura 9), y las unidades



Figura 9. Conductivímetro utilizado en laboratorio de suelos. Fuente: David Saavedra Mora.

utilizadas para medir la CE son dS/m (decisiemens por metro) (IGAC, 2006), medida que es equivalente a la que anteriormente se utilizaba: mmhos/cm.

Los resultados, según Castellano (2000), se pueden clasificar con relación al efecto sobre los cultivos desde suelos no salinos hasta suelos extremadamente salinos (tabla 2).

Tabla 2. Clasificación de los suelos con relación a su CE y el efecto sobre los cultivos (Castellano, 2000).

CONCENTRACIÓN DE CE	CLASIFICACIÓN	EFECTO
<1	Suelos libres de sales	No existe restricción para ningún cultivo
1-2	Suelos muy bajos en sales	Algunos cultivos muy sensibles pueden ver restringidos sus rendimientos
2-4	Suelos moderadamente salinos	Los rendimientos de cultivos sensibles pueden verse afectados en su rendimiento
4-8	Suelos salinos	El rendimiento de casi todos los cultivos se ve afectado por esta condición de salinidad
8-16	Suelos altamente salinos	Solo los cultivos muy resistentes a la salinidad pueden crecer en estos suelos
>16	Suelos extremadamente salinos	Prácticamente ningún cultivo convencional puede crecer económicamente en estos suelos

2.2. Densidad en el suelo

La densidad en el suelo se puede clasificar en la densidad aparente (Da) y la densidad real (Dr).

2.3. Densidad aparente (Da)

Para determinar la densidad aparente se debe saber que el suelo es un sustrato heterogéneo, constituido por tres fases (sólida, líquida y gaseosa), que determina un ambiente adecuado en el desarrollo de las raíces vegetales (Rubio, 2010), así como el ingreso y almacenamiento óptimo del agua para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Taboada y Álvarez, 2008). De tal forma que la densidad aparente (Da) describe la compactación del suelo representando la relación entre sólidos y espacio poroso (Keller y Håkansson, 2010), adicionalmente, se asocia con la disponibilidad y tasa de



Figura 10. Método de cilindro para determinación de densidad aparente. Fuente: Leidy Machado.

difusión de nutrientes (Wolf y Snyder, 2003). La determinación de la Da se realiza por medio del método de cilindro o por medio de un terrón parafinado (figura 10) (IGAC, 2006).

Los resultados pueden variar desde 0,1 g cm^{-3} o menos en suelos orgánicos, hasta 1,6 g cm^{-3} en suelos minerales (Thompson y Troeh, 1988). Algunos valores de referencia de Da con relación a la textura, según Schargel y Delgado (1990), son los que se expresan en la siguiente tabla:

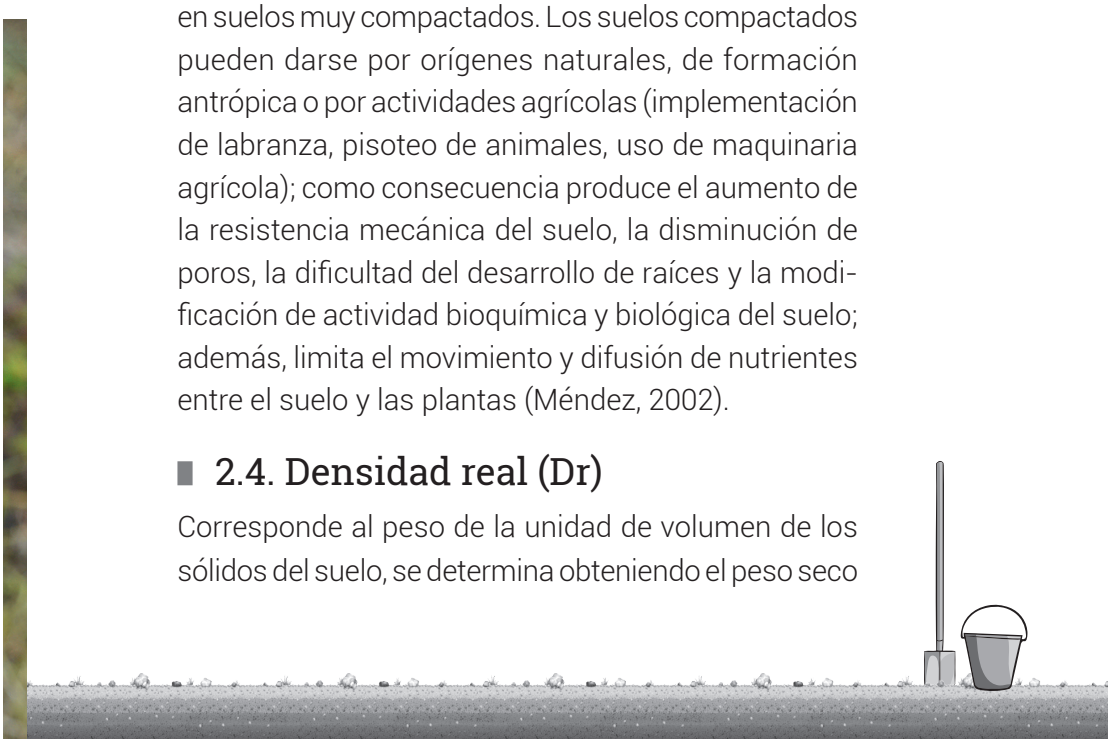
Tabla 3. Relación entre textura y densid**ad ap**arente (Schargel y Delgado, 1990).

Textura	Densidad aparente
Fina (arcillosos)	1,00-1,30 g m^{-3}
Media (francos)	1,30-1,50 g m^{-3}
Gruesa (arenosos)	1,50-1,70 g m^{-3}

Es posible que en la Da se encuentren valores inferiores a 0,25 g m^{-3} en suelos turbosos y superiores a 1,90 g m^{-3} en suelos muy compactados. Los suelos compactados pueden darse por orígenes naturales, de formación antrópica o por actividades agrícolas (implementación de labranza, pisoteo de animales, uso de maquinaria agrícola); como consecuencia produce el aumento de la resistencia mecánica del suelo, la disminución de poros, la dificultad del desarrollo de raíces y la modificación de actividad bioquímica y biológica del suelo; además, limita el movimiento y difusión de nutrientes entre el suelo y las plantas (Méndez, 2002).

2.4. Densidad real (Dr)

Corresponde al peso de la unidad de volumen de los sólidos del suelo, se determina obteniendo el peso seco



de la muestra del suelo y el volumen ocupado por los sólidos de la muestra. El volumen se halla por medio del método de picnómetro (figura 11), y el procedimiento corresponde a la aplicación del principio de Arquímedes, es decir, determinar qué volumen de líquido desplazan los sólidos al ser sumergidos (IGAC, 2006). Los valores pueden oscilar, en la mayoría de veces, de 2,6 a 2,7 g cm^{-3}, y en suelos orgánicos se pueden encontrar valores muy bajos, mientras que se presentan valores altos de densidad real en suelos ricos en hidróxidos de hierros (Thompson y Troeh, 1988).

Figura 11. Método del picnómetro para determinación de la densidad real. Fuente: Leidy Machado.

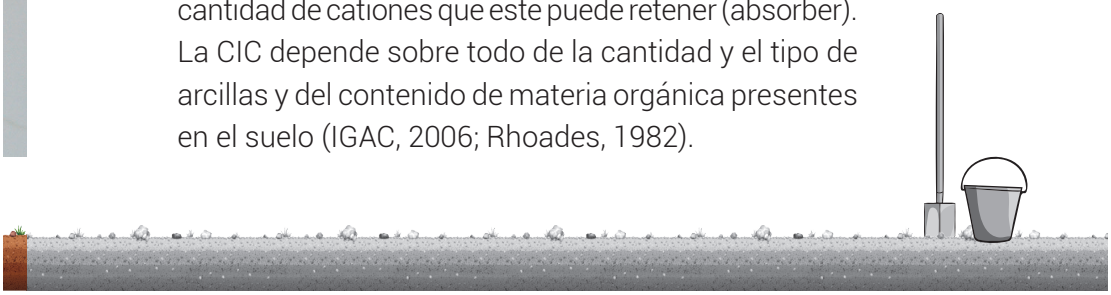


2.5. Porosidad en el suelo

La porosidad del suelo es el volumen ocupado por las fases líquida y/o gaseosa; se relaciona con propiedades como la retención, el movimiento del agua, la transferencia de oxígeno en el medio radicular y la facilidad para que las raíces puedan desarrollar y absorber los nutrientes. Se puede calcular a partir de la Dr y Da y el resultado es la suma de la porosidad capilar (relacionada con retención de humedad) y de la porosidad no capilar (intercambio gaseoso). La relación de la macroporosidad/porosidad total indicará si la aireación es suficiente o deficiente de una manera global (Flores y Alcalá, 2010). También se puede determinar por medio del porosímetro de mercurio, que se basa en medir el volumen de aire que llena el espacio poroso de una muestra de suelo seco de volumen conocido, utilizando una columna de mercurio conectada al cilindro donde se coloca la muestra inalterada (IGAC, 2006).

2.6. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico son los procesos reversibles donde las partículas sólidas del suelo absorben cationes de la fase acuosa, liberando al mismo tiempo otros iones en cantidades equivalentes, y estableciendo el equilibrio químico entre ambas fases. La CIC refleja la suma total de los cationes intercambiables de un suelo, cuanto mayor es la CIC mayor es la cantidad de cationes que este puede retener (absorber). La CIC depende sobre todo de la cantidad y el tipo de arcillas y del contenido de materia orgánica presentes en el suelo (IGAC, 2006; Rhoades, 1982).

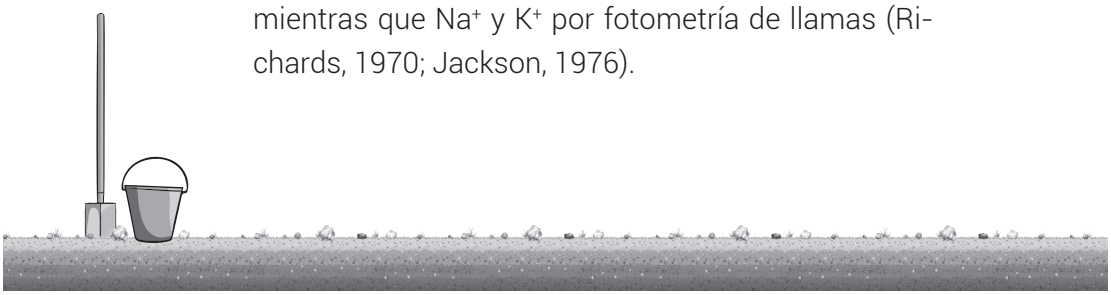


En este sentido, la CIC es un indicador directo de la fertilidad del suelo, debido a que controla la disponibilidad de nutrientes para las plantas: K^+, Mg^{2+}, Ca^{2+}, y caracteriza la degradación química del suelo y los procesos de floculación y dispersión de arcilla y, por consiguiente, en el desarrollo de la estructura y estabilidad de los agregados (Arévalo y Gauggel, 2014).

2.7. Capacidad de Intercambio Catiónico Estimada (pH 7)

Su determinación se realiza por medio de acetato de amonio 1N, pH 7 volumétrico. El método consiste en la extracción de los cationes intercambiables por una solución de acetato de amonio ($AcNH_4$) 1 mol L^{-1}, pH 7. Los cationes intercambiables quedan reemplazados completamente en el coloide por amonio (NH_4^+) y pasan a la solución donde se determina Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+ y K^+. Para la determinación de la máxima capacidad de adsorción (valor T) se parte del suelo que ha quedado saturado con NH_4^+ después del tratamiento de $AcNH_4$, se desplaza el NH_4^+ adsorbido con Ca^{2+}, percolando con una solución de cloruro de calcio ($CaCl_2$), se lava el exceso de Ca^{2+} con agua y se intercambia el Ca^{2+} fijado por Na^+, luego se pasa por una solución de NaCl 1N. El Ca^{2+} presente en esta solución representa el valor T (IGAC, 2006; Rhoades, 1982).

Nota: Ca^{2+} y Mg^{2+} se determinan por complejometría, mientras que Na^+ y K^+ por fotometría de llamas (Richards, 1970; Jackson, 1976).



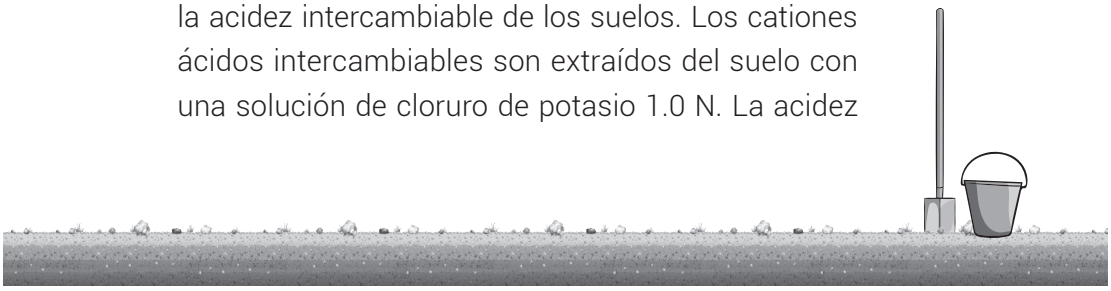
2.7.1. Capacidad de Intercambio Catiónico Efectiva (CICE)

La CICE representa la sumatoria de Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Al^{3+} + H^{+}. Los dos últimos elementos se consideran como la Acidez Intercambiable (Ac. Int.), de manera que presenta la capacidad de retener cationes que real y efectivamente "está funcionando" en el suelo tal cual se lo encuentra en el terreno. En el método para determinar la CICE, el pH del suelo no es controlado y los cationes básicos se desplazan por amonio más Al^{+3} extractable desplazado por KCl. CICE = bases (pH no controlado) + Al^{+3} extractado con KCl.

2.8. Aluminio intercambiable (Al^{3+})

El tipo de especie de aluminio (Al) presente en el suelo es altamente dependiente del pH. Cuando el pH del suelo se encuentra por debajo de 5, el Al intercambiable y soluble predomina en el suelo y la solución del suelo. Cuando el pH del suelo se encuentra por encima de 5,5, la mayoría del Al intercambiable y soluble se precipita como especies hidroxi-Al. Si el Al^{3+} se encuentra en niveles tóxicos, este se convierte en uno de los mayores factores limitantes del crecimiento de las plantas en muchos suelos ácidos (Xiao *et al.,* 2014).

En suelos ácidos los cationes intercambiables responsables de la acidez son el hidrógeno y el aluminio. El hidrógeno y el aluminio intercambiables constituyen la acidez intercambiable de los suelos. Los cationes ácidos intercambiables son extraídos del suelo con una solución de cloruro de potasio 1.0 N. La acidez



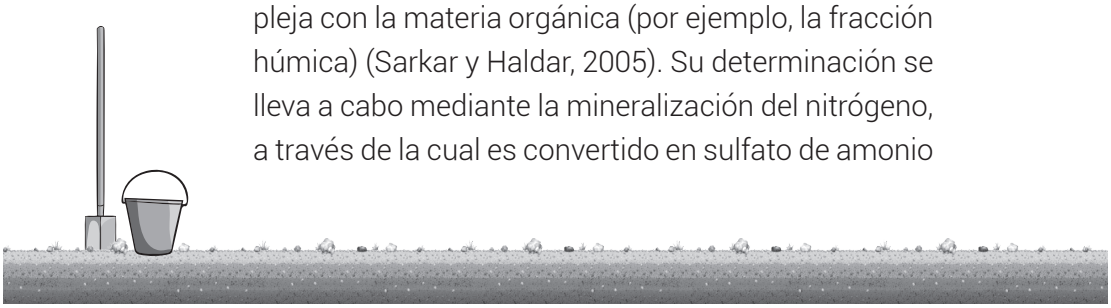
intercambiable total se determina mediante la titulación con un álcali estándar usando fenolftaleína como indicador. En el punto final se obtiene un color rosado. El aluminio es entonces acomplejado con fluoruro de potasio, liberando una cantidad cuantitativa equivalente de álcali:

$$Al(OH)_3 + 6KF \rightarrow K_3AlF_6 + 3KOH$$

El álcali liberado es titulado con un ácido estándar con fin de medir el aluminio intercambiable. Por tanto, el aluminio intercambiable se determina por complejometría (Sarkar y Haldar, 2005). También es posible realizar su determinación por espectrofotometría de absorción atómica (EMBRAPA, 1997).

2.9. Nitrógeno total (Nt)

La mayoría del nitrógeno en los suelos existe en forma orgánica; sus formas disponibles (amonio y nitrato) normalmente existen en cantidades relativamente pequeñas. Para su determinación se utiliza el método Kjedahl tanto para las formas de nitrógeno orgánico (amonio), como con ciertas modificaciones de nitrato. El término "nitrógeno disponible" incluye las formas de nitrógeno y de nitrato amoniacal, las cuales son las formas en que se conoce que las plantas absorben el nitrógeno del suelo. Más del 90% del nitrógeno del suelo normalmente existe en una combinación compleja con la materia orgánica (por ejemplo, la fracción húmica) (Sarkar y Haldar, 2005). Su determinación se lleva a cabo mediante la mineralización del nitrógeno, a través de la cual es convertido en sulfato de amonio

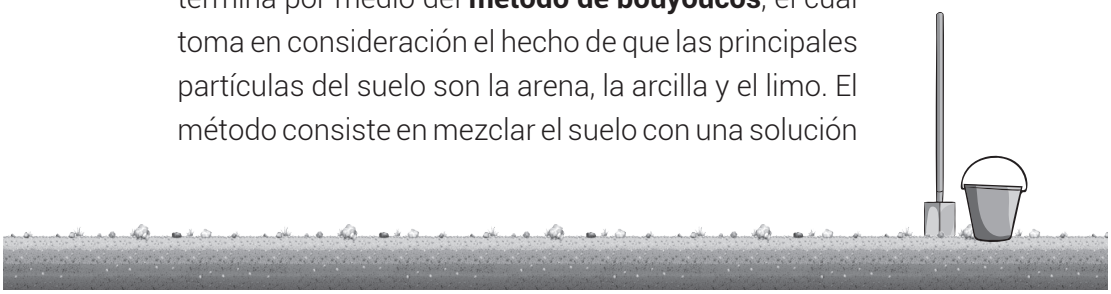


a través de la oxidación con una mezcla entre sulfato de cobre, ácido sulfúrico, sulfato de sodio o de potasio. Finalmente, en un medio alcalino el nitrógeno es determinado por acidimetría (EMBRAPA, 1997).

2.10. Textura

La textura (la proporción de arena, limo y arcilla) es una propiedad inherente del suelo y cambia poco con el uso del terreno o con las prácticas de manejo. Esta puede ser medida cualitativamente en campo o cuantitativamente en el laboratorio y es una propiedad que determina la cantidad de agua que un suelo puede retener (cuando se encuentra completamente húmedo); de igual forma, cuantifica la relación entre el agua y los solutos disueltos cuando están potencialmente disponibles para ser tomados por las plantas (Proffitt, 2014). La textura del suelo afecta la actividad microbiana, ya que incide directamente en el contenido de agua y la temperatura del suelo.

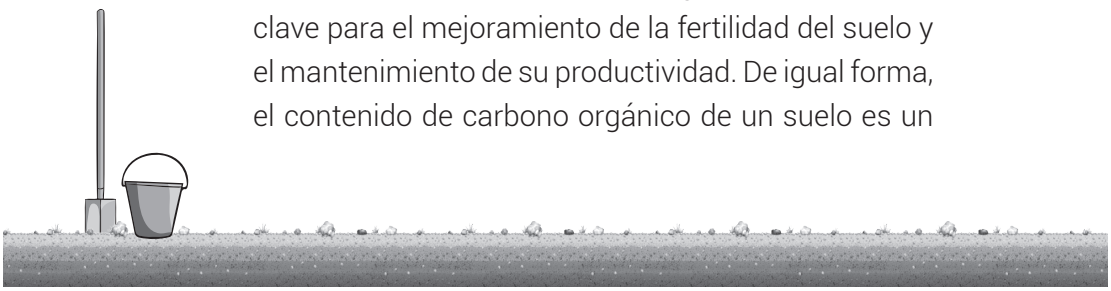
La clase de textura es también importante para la agregación y porosidad del suelo. Adicionalmente, la textura del suelo desempeña un papel clave en el intercambio de gases (respiración de raíces y microorganismos) entre el suelo y la atmósfera. Por tanto, es un parámetro importante para la evaluación de la fragilidad del suelo dependiendo del uso que se le vaya a dar (Vinhal-Freitas *et al.,* 2017). En el laboratorio se determina por medio del **método de bouyoucos**, el cual toma en consideración el hecho de que las principales partículas del suelo son la arena, la arcilla y el limo. El método consiste en mezclar el suelo con una solución



dispersante (mezcla de carbonato de sodio y hexametafosfato de sodio) mediante agitación por dos horas. Finalmente, aprovechando las diferentes velocidades de sedimentación de las partículas, se determina el porcentaje de arena, limo y arcilla por medio del cambio de densidad de la solución en la cual se lleva a cabo el ensayo (IGAC, 2006).

2.11. Materia orgánica

La materia orgánica es uno de los factores más importantes del suelo, puesto que regula sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Adicionalmente, tiene numerosas funciones y efectos benéficos en el suelo: contribuye a la productividad del suelo, actúa como depósito de nutrientes, aumenta la capacidad de intercambio de cationes, reduce los efectos de la compactación, contribuye a mejorar la estructura del suelo y aumenta la tasa de infiltración de agua; así mismo, protege el suelo contra los cambios bruscos de pH y es fuente de energía y nutrientes para los microorganismos del suelo. La materia orgánica está compuesta por una amplia variedad de sustancias y su naturaleza específica está determinada por las plantas y los residuos animales que se descomponen en un sitio de forma continua. La materia orgánica contiene proteínas y los productos de su descomposición (carbohidratos, ácidos orgánicos, grasas, resinas y otros complejos). El conocimiento de la materia orgánica es un factor clave para el mejoramiento de la fertilidad del suelo y el mantenimiento de su productividad. De igual forma, el contenido de carbono orgánico de un suelo es un



indicativo del porcentaje de su materia orgánica (IGAC, 2006).

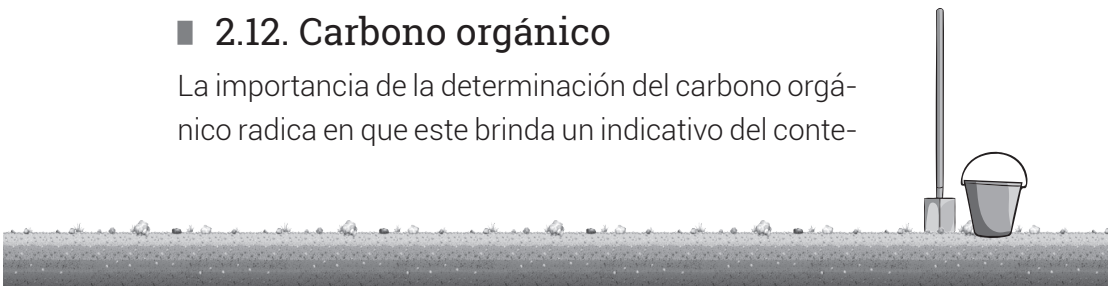
Existen diferentes técnicas para determinar el carbono total o la materia orgánica en una muestra de suelo:

- Determinar el carbono total: consiste en introducir una muestra de suelo seco, previamente pesada, a una mufla, a cierta temperatura y en cierto tiempo, después dejar enfriar y secar. Por diferencia de peso se puede determinar el carbono total.
- Determinar el carbono orgánico destruyendo la materia orgánica con peróxido de hidrógeno.
- Determinar el carbono orgánico con un oxidante en medio ácido ya sea por el método de Walkley-Blak o por el método de Schollemberg.
- También se puede determinar el carbono orgánico por el método colorimétrico.

Para la determinación de la materia orgánica mediante el método de calcinación se hace uso de una mufla en la cual la muestra es calcinada a 550°C, teniéndose en cuenta el peso inicial de la muestra se obtiene al final del proceso una diferencia en relación con la cantidad remanente. La parte que se calcina en el proceso corresponde a la materia orgánica, cuyo valor se expresa de manera porcentual (IGAC, 2006).

2.12. Carbono orgánico

La importancia de la determinación del carbono orgánico radica en que este brinda un indicativo del conte-

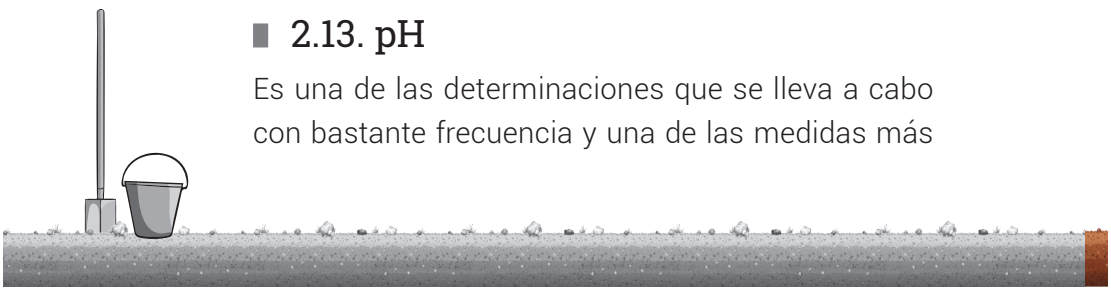


nido de materia orgánica del suelo, la cual es un índice importante de la calidad del suelo. El contenido de carbono orgánico del suelo es reportado directamente como el porcentaje de C o es calculado como materia orgánica mediante la multiplicación con un factor de 1,724 (M.O = C.O * 1,724) asumiendo que la materia orgánica del suelo contiene en promedio 58% de carbono (100%M.O/58%C.O=1,724). Para su determinación se utilizan los métodos de combustión en seco y de digestión húmeda. El primer método es útil para propósitos de alta precisión debido a que se obtienen valores absolutos, mientras que para trabajo de rutina la titulación rápida mediante el método de Walkley-Black (digestión húmeda) es extremadamente útil. La determinación mediante el método de Walkley-Black se lleva a cabo a través de la oxidación del carbono orgánico presente en el suelo en medio ácido. El carbono orgánico del suelo es oxidado hasta CO_2 en presencia de un exceso de agente oxidante tal como una mezcla de dicromato de potasio y ácido sulfúrico. El exceso de dicromato se determina mediante titulación con sulfato de amonio ferroso (Sarkar y Haldar, 2005).

En este método la oxidación del carbono orgánico no es total, se logra un rendimiento del 77% y por eso se llama carbono orgánico más fácilmente oxidable. El resto sería carbón grafito o carbón vegetal que no es fácilmente oxidable (IGAC, 2006; Sarkar y Haldar, 2005).

2.13. pH

Es una de las determinaciones que se lleva a cabo con bastante frecuencia y una de las medidas más

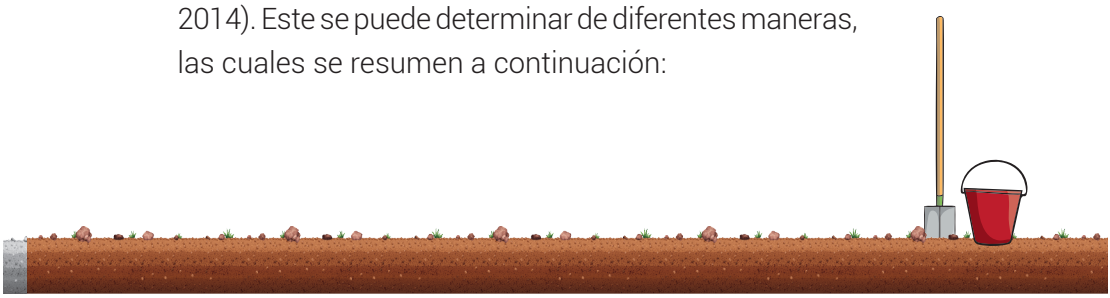


indicativas de las propiedades químicas del suelo. El valor de pH determinado indica la acidez y la basicidad del suelo (figura 12).



Figura 12. pHmetro utilizado en el laboratorio de ciencias básicas del Centro de Formación Agroindustrial La Angostura.

El pH indica la disponibilidad de nutrientes esenciales y la toxicidad de otros elementos puede ser estimada debido a su relación conocida con el pH. Si el pH varía ampliamente, conocer esta variabilidad es importante debido al efecto del pH (Soil Survey Staff, 2014). Este se puede determinar de diferentes maneras, las cuales se resumen a continuación:



2.13.1. Determinación del pH en una pasta saturada

Para determinar el pH en una pasta saturada se realiza una mezcla suelo/agua (con adiciones sucesivas de agua) de tal manera que se obtenga una pasta suave y brillante en la superficie del suelo sin que drene agua. La mezcla se deja en reposo durante media hora y finalmente se mide el pH con un potenciómetro previamente calibrado (IGAC, 2006).

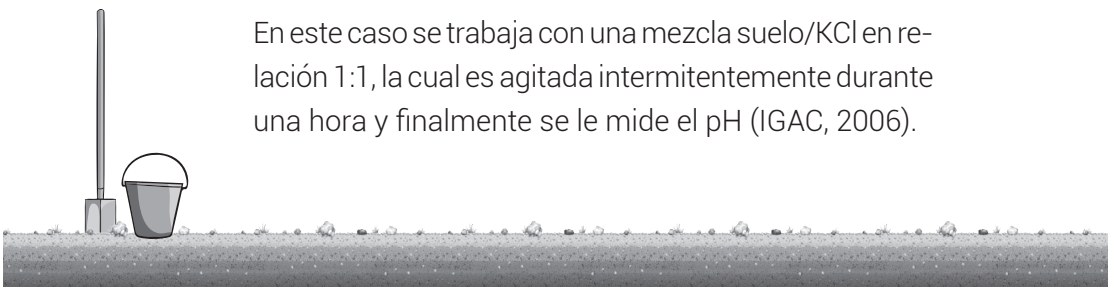
2.13.2. Determinación del pH en relación suelo/agua 1:1

En este caso la determinación se realiza mediante la mediación del pH de una suspensión formada por una mezcla suelo/agua en relación 1:1 y que ha sido agitada en una frecuencia de una 1 hora.

Debe tenerse en cuenta que la relación suelo/agua puede variar, lo que influiría en la medida del pH. Si se aumenta la cantidad de agua que se le adiciona a la muestra de suelo, el valor de pH obtenido incrementará, ya que disminuye la concentración de los iones H^+; sin embargo, en ocasiones existe una compensación debido a una disociación adicional de estos iones. Las relaciones más comunes suelo/agua son: 1:1, 1:2 y 1:5 (IGAC, 2006).

2.13.3. Determinación del pH en relación suelo/KCl 1:1

En este caso se trabaja con una mezcla suelo/KCl en relación 1:1, la cual es agitada intermitentemente durante una hora y finalmente se le mide el pH (IGAC, 2006).



El pH en KCl y el pH determinado en agua tienen un valor de diferencia de aproximadamente 1,0 unidad (la determinación de pH con KCl está por debajo); esto está relacionado con la función del potasio que es la de dispersar las arcillas, al contrario del calcio que tiene una función flocular, proceso clave en la toma del valor del pH al suelo muestreado o solo al que está en el fondo y no al que se encuentra en suspensión; este efecto de suspensión es más serio en suelos muy arenosos o muy lixiviados, porque mantienen una solución baja de concentración de electrolitos. Esta es una gran desventaja que tiene el pH determinado en agua, por lo que en otros países se ha optado por determinar el pH con este tipo de reactivos.

2.13.4. Determinación del pH suelo/$CaCl_2$ (1:2,5)

En este caso la determinación se lleva a cabo con una mezcla suelo/$CaCl_2$ en relación 1:2,5, la cual es agitada y posteriormente se deja en reposo durante una hora (figura 14). Finalmente se agita la muestra y se realiza la lectura del pH (EMBRAPA, 1997).

Este valor es el más recomendado por su influencia a nivel práctico en el área agrícola. En primera medida, la época de toma de muestra limita la concentración de sales en la muestra de suelos a ser recolectada; si la recolección o toma de muestra del suelo (suelo dinámica de calcio, magnesio, potasio y sodio ascensión y lavado [lixiviación] de sales) es en época de lluvias, hay un lavado de enlaces que están adsorbidos en las cargas de las arcillas por enlaces iónicos (enlaces fá-

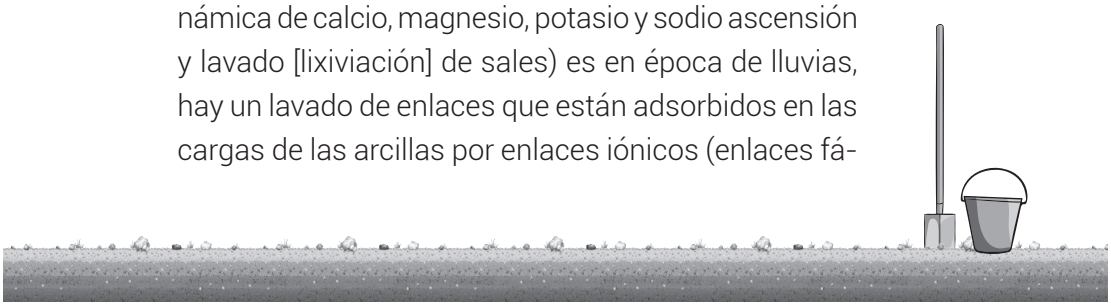




Figura 13. Balón aforado con $CaCl_2$ para determinación de pH. Fuente: Leidy Machado.

cilmente quebrantables); y si es en épocas de verano, existe una ascensión de sales por capilaridad de ajuste estacional.

Con respecto al método en el laboratorio, al aplicar el CaC_{l2}, el Calcio llega a ocupar las cargas en el suelo y hay una liberación de H+ que estaba ocupando esas cargas y que fue desplazado por el Ca del $CaCl_2$, por ende, llega a quedar libre acidificando el medio; es por esto que entre el pH determinado en H_2O y el pH en $CaCl_2$ existe un diferencial de pH de 0,6, siendo mayor el del pH determinado en H_2O, como se observa en la figura 13.

2.14. Espectrofotometría de absorción atómica

La determinación de estas bases por método de absorción atómica se fundamenta en el equilibrio que se establece entre una solución extractora de acetato de amonio y la muestra del suelo donde se efectúa este

intercambio. Para este intercambio catiónico se utiliza CH_3COONH_4 1N y neutro. Los cationes K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+ (el sodio es importante en la determinación de suelos sódicos, con pH mayores a 6), se determinan en la solución extractora por espectrofotometría de absorción atómica (IGAC, 2006; Calderón y Pavlova, 1999). Para la determinación de estos elementos existen dos métodos de soluciones extractoras, los cuales son Mehlich y Olsen Modificada.

Figura 14. Espectrofotómetro de absorción atómica. Fuente: David Saavedra Mora.



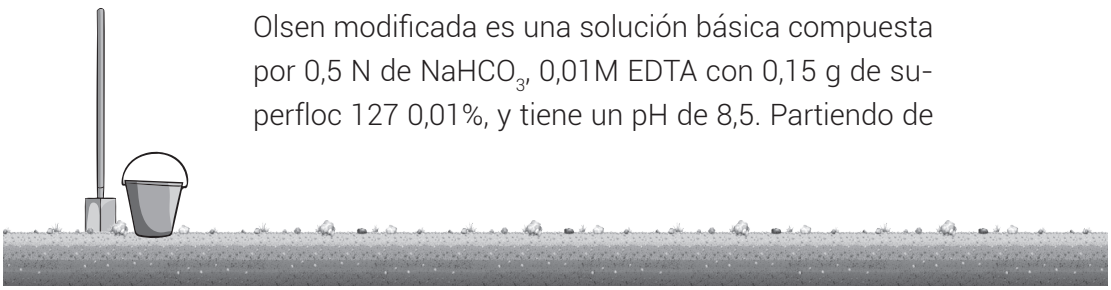
2.14.1. Determinación de potasio (K), calcio (Ca), sodio (Na), magnesio (Mg), fósforo (P) y boro (B) por el método de solución extractora de Mehlich

Esta solución se utiliza para determinar la concentración de Ca, Mg, K, P, Cu, Zn, Fe y Mn en las diferentes muestras de suelo. Para la preparación de la solución extractora, previamente se debe preparar 8 ml de solución de fluoruro de amonio y EDTA. Para eso se pesa 1,111 g de NH_4F y 0,584 g de EDTA.

En un recipiente con capacidad para 2 litros se añade 100 ml de agua destilada, se disuelve 40 g de nitrato de amonio, se adiciona 8 ml de la solución de fluoruro/EDTA (Etil Diamino Tetra Acético), se añade 22,8 ml de ácido acético, 1,64 ml de ácido nítrico y se afora con agua destilada hasta los 2 L; el pH de la solución fue de 2,54. Para el proceso de extracción, se mide 2,5 ml de suelo en un vaso de extracción de 100 ml y se le agrega 25 ml de solución ME 3; se agita por 10 minutos en un agitador automático a 400 rpm y se filtra con un papel Whatman No. 2; mediante absorción atómica se determina la cantidad de Ca, Mg, K, Cu, Mn, Fe y Zn (Salazar, 2015).

2.14.2. Determinación de elementos menores: cobre (Cu), manganeso (Mn), hierro (Fe) y zinc (Zn) por el método de solución extractora de Olsen Modificada (Olsen mod).

Olsen modificada es una solución básica compuesta por 0,5 N de $NaHCO_3$, 0,01M EDTA con 0,15 g de superfloc 127 0,01%, y tiene un pH de 8,5. Partiendo de



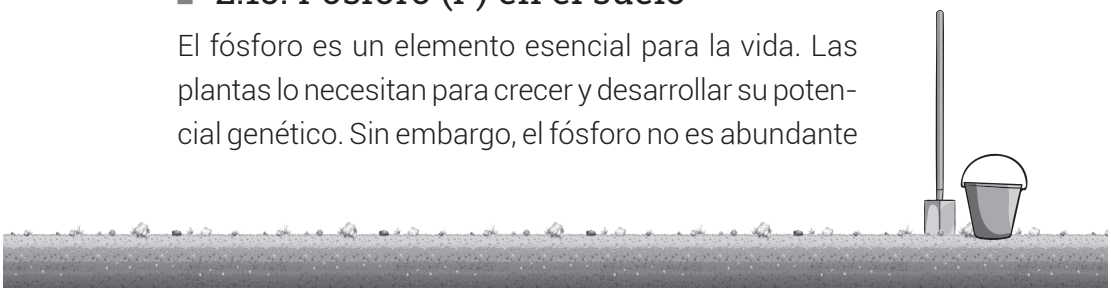
este principio, se realiza la preparación de la solución extractora en la cual se utiliza un recipiente con capacidad de 2 litros, se le adiciona 84 g de carbonato de ácido de sodio, se agrega 7,44 g de EDTA y 0,15 g de superfloc 127, previamente disuelto en agua caliente, se afora hasta 2 litros y se ajusta el pH a 8,5 con NaOH 1M. La solución se guarda en un frasco de polietileno.

Para la realización de la extracción con esta solución se añade en un vaso de extracción 2,5 ml de la muestra de suelo y 25 ml de Solución Olsen modificada. Esta mezcla se agita por 10 minutos en un agitador automático a 400 rpm. Luego se filtra mediante un papel Whatman No. 2. El filtrado obtenido se utiliza para realizar las diferentes determinaciones (Salazar, 2015).

Para determinar cada uno de los elementos, se realiza una absorción atómica, que consiste en medir la cantidad de energía que es absorbida y posteriormente liberada por un átomo. Esta energía absorbida es medida y comparada con un haz de referencia producido por una lámpara. El instrumento requiere ser calibrado con una curva patrón específica para el elemento (Pérez, 2013). El filtrado que se obtiene se utiliza para determinar la concentración de elementos menores (Cu^{2+}, Fe^{3+}, Zn^{2+} y Mn^{4+}) por medio de espectrofotometría de absorción atómica (Salazar, 2015).

2.15. Fósforo (P) en el suelo

El fósforo es un elemento esencial para la vida. Las plantas lo necesitan para crecer y desarrollar su potencial genético. Sin embargo, el fósforo no es abundante



en el suelo y el problema radica en que la mayor parte del fósforo presente en el suelo no está disponible para la planta. La disponibilidad de este elemento depende del tipo de suelo; una pequeña o gran parte del fósforo total puede estar "fijado" (no disponible) en los minerales del suelo. Esto significa que la planta no puede absorberlo. En este sentido, hay muchos métodos para determinar la presencia de este elemento en el suelo, como los siguientes: Bray, Olsen y Olsen modificada.

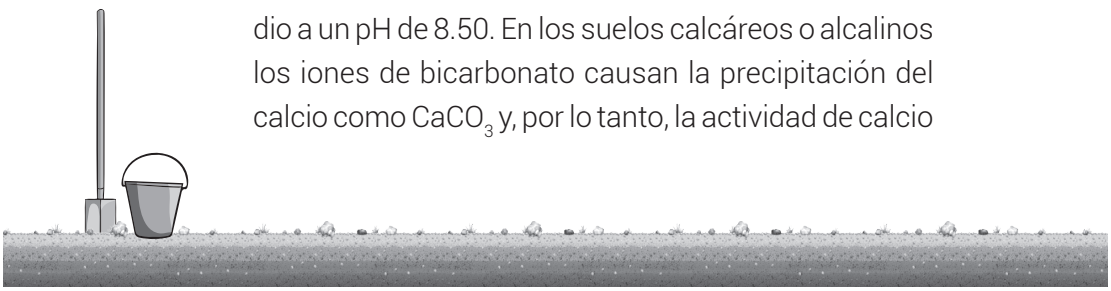
2.15.1. Determinación por método solución extractora de Bray

Este método consiste en preparar una solución denominada Bray II (HCl 0.1 M y NH_4F 0.03 M), que disuelve algunos fosfatos fácilmente solubles en ácido, como los fosfatos de calcio y una parte de los fosfatos de hierro y aluminio. En la solución ácida, el NH_4F disuelve los fosfatos de hierro y aluminio por medio de la formación de complejos con el ion fluoruro.

El método de la extracción del fósforo por fluoruro de ácido diluido es extensamente usado en suelos ácidos con bajos niveles de nutrientes; en los suelos calcáreos, el efecto del ácido es disminuido debido a su neutralización por el $CaCO_3$ presente en el suelo (McKean, 1993).

2.15.2. Determinación por método solución extractora de Olsen

Esta extracción es una solución de bicarbonato de sodio a un pH de 8.50. En los suelos calcáreos o alcalinos los iones de bicarbonato causan la precipitación del calcio como $CaCO_3$ y, por lo tanto, la actividad de calcio



en la solución disminuye. Esto facilita la extracción de los fosfatos de calcio más solubles.

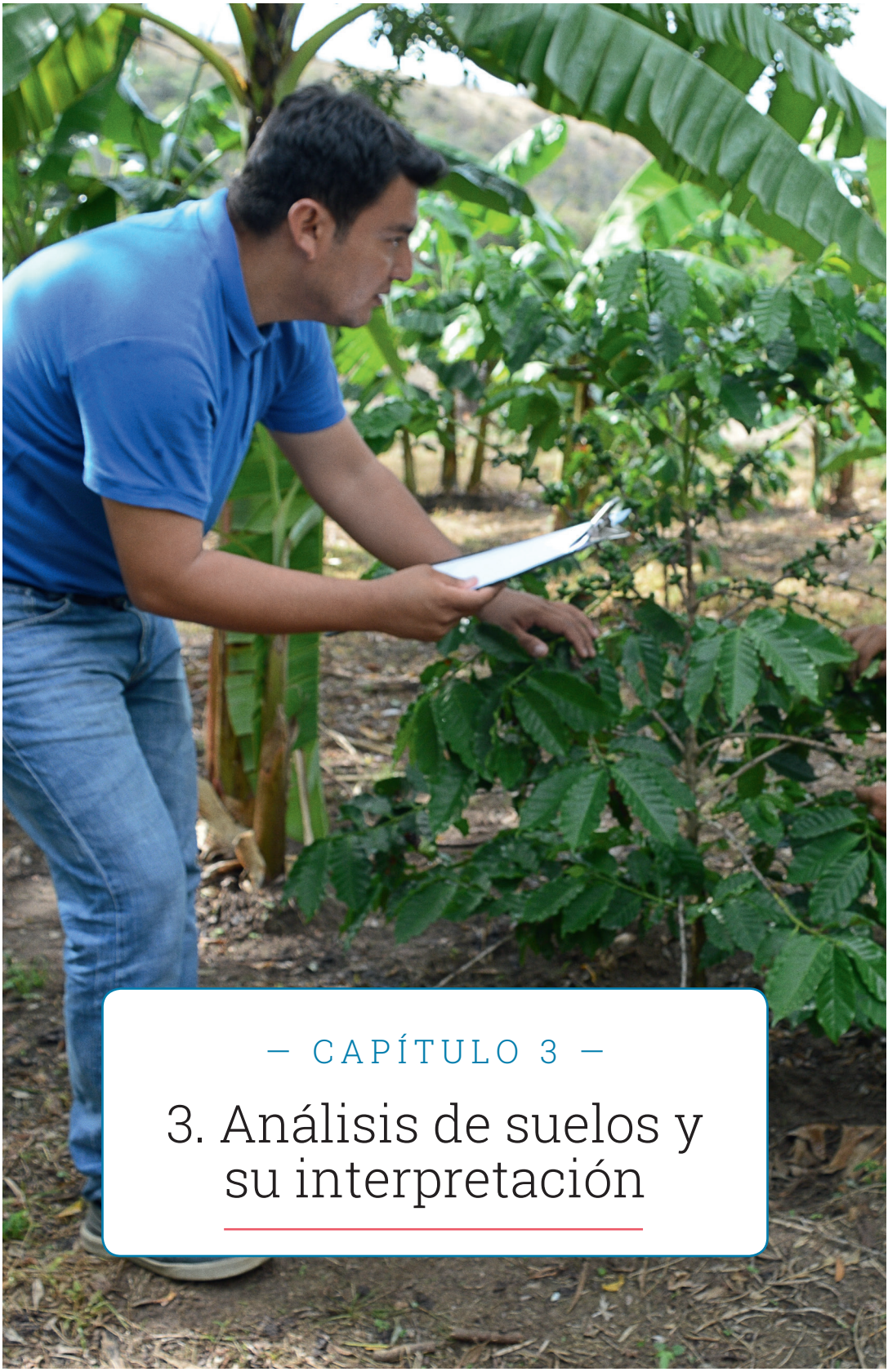
En los suelos más ácidos los iones de bicarbonato reemplazan a los fosfatos de aluminio y hierro, el incremento del pH de la solución facilita la extracción de fosfato de las superficies que tienen una carga dependiente del pH. El método de la extracción con bicarbonato de sodio es un método que sirve para extraer fósforo de todos los tipos de suelo, tanto en suelos ácidos como en alcalinos (McKean, 1993).

2.15.3. Determinación por método solución extractora de Olsen modificada

Del filtrado del resultado de la metodología de Olsen modificada se toma 2 ml, se le agrega 8 ml de agua destilada y 10 ml de solución de molibdato de amonio, la lectura de la concentración de P se realiza mediante un espectrofotómetro visible a 660 nm (Salazar, 2015).

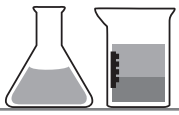






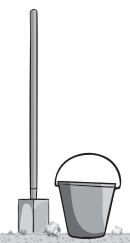
— CAPÍTULO 3 —

3. Análisis de suelos y su interpretación



El análisis de suelos es el principal medio de diagnóstico de la necesidad de acondicionar el suelo, mediante la aplicación de correctivos y de fertilizantes de la mayoría de cultivos.

Esta herramienta es fundamental y las sugerencias de fertilización que se consignan en el análisis de suelos están fundamentadas en las necesidades o demandas de nutrientes por el cultivo, de acuerdo con la etapa de desarrollo, en las reservas y disponibilidades de los elementos nutritivos que contiene el suelo. Existen diferentes tipos de análisis de suelos, entre los que se encuentran: 1) de Caracterización (Textura, Materia Orgánica [M.O], pH, P, Ca, Mg, K, Na [Sodio]); 2) Análisis completo (Caracterización + Elementos menores + Conductividad eléctrica [C.E] + Azufre [S]). Entre los análisis de suelos se encuentra la de fase intercambiable y fase soluble. Los puntos más importantes en un análisis de suelos son los siguientes:



3.1. pH

El pH es un parámetro sumamente importante en una interpretación de análisis de suelos, ya que de este

depende la disponibilidad de nutrientes (figura 15). El pH del suelo representa la actividad del ion H^+, es decir, la concentración de este en el suelo, entre más alta sea la concentración de H^+ menor será el pH y mayor la acidez. El valor de pH va de 0-14, en los suelos agrícolas sus valores normalmente varían de 4-10. Los suelos colombianos, en un 85% de su territorio, presentan acidez, por eso la gran importancia de darle un correcto manejo a esta condición que en gran medida limita la productividad y calidad de las cosechas. Los valores de pH de una misma muestra difieren de acuerdo con el solvente utilizado en la determinación; para suelos con predominio de cargas eléctricas negativas (depende del tipo de arcilla y el tipo de mineral secundario), el pH en solución salina ($CaCl_2$; KCl) es menor que el pH determinado en agua, aproximadamente 0,6 a 1 unidad (Ernani y Almeida, 1999).

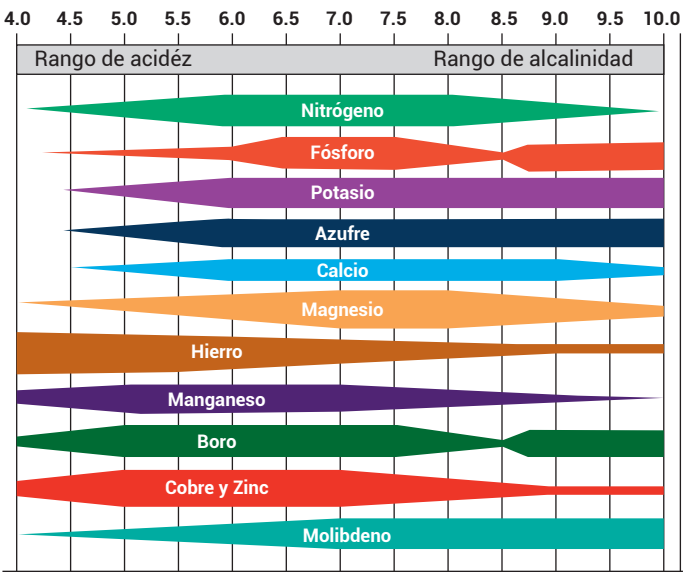
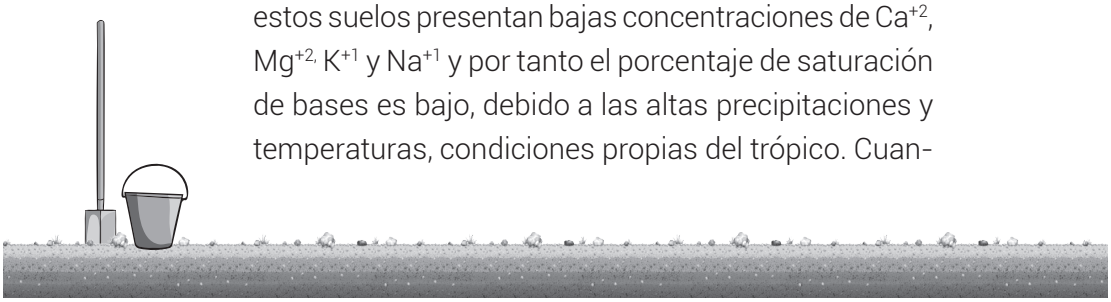


Figura 15. Disponibilidad de nutrientes según el pH del suelo (Castellanos, 2000).

Los suelos ácidos tienen sus orígenes en la meteorización de los minerales de las arcillas, este proceso produce la liberación de Aluminio (Al), Hierro (Fe) y Manganeso (Mn) para la solución del suelo. Estos cationes, al ser hidrolizados, disocian (liberan) H^+, modificando el pH.

Pero también ocurre por la equivocada toma de decisiones en la elección de los fertilizantes a aplicar; este error puede ser por causa del productor agropecuario (en su gran mayoría) o por falta de experiencia del asistente técnico. Los productos de las reacciones de los fertilizantes minerales con el suelo pueden tener carácter ácido, básico, o no afectar el pH del suelo (tabla 4). Los fertilizantes nitrogenados amoniacales, por ejemplo el sulfato de amonio, ampliamente usado en la agricultura colombiana, normalmente tiene efecto acidificante debido al proceso de nitrificación, el cual es el paso de NH_4^+ a NO_3^- y que en el proceso libera H^+, que aumenta la acidez.

Los suelos, de acuerdo a su origen (clasificación de suelos USDA), pueden presentar una acidez natural; en algunos órdenes, de acuerdo a la clasificación taxonómica de los suelos en Colombia, por ejemplo, los Oxisoles y Ultisoles se caracterizan por presentar una alta concentración de hierro, mayor a 50 ppm (determinado en un análisis de suelos en fase intercambiable), estos suelos presentan bajas concentraciones de Ca^{+2}, $Mg^{+2,}$ K^{+1} y Na^{+1} y por tanto el porcentaje de saturación de bases es bajo, debido a las altas precipitaciones y temperaturas, condiciones propias del trópico. Cuan-

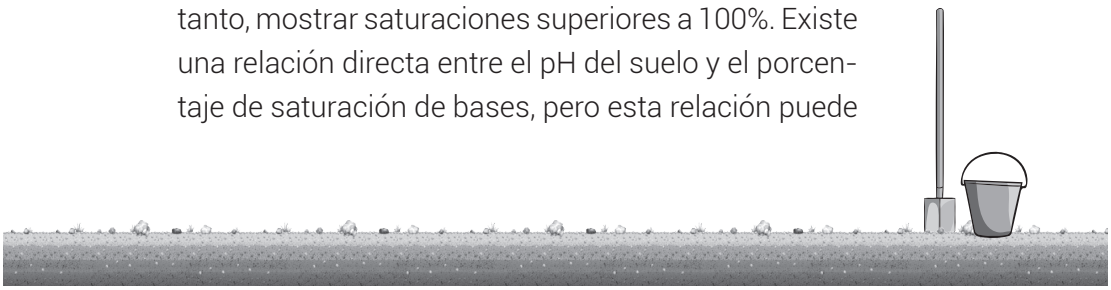


Material fertilizante comercial	Equivalente de acidez (-) o basicidad (+) residual	Índice de salinidad
	Kg $CaCO_3$/100 Kg de Fertilizante	$NaNO_3$=100
Urea	-84	75,5
Nitrato de amonio	-63	104,7
Sulfato de amonio	-112	69
Fosfato monoamónico	-65	29,9
Fosfato diamónico	-64	34,2
Superfosfato triple	0	10,1
Roca fosfórica	56	
Cloruro de potasio	0	116,3
Sulfato de potasio	0	46,1
Sulpomag	0	43,2
Nitrato de potasio	0	40,2
Sulfato de calcio	0	8,1
Cales calcíticas	+80a+95	4,7
Cales dolomíticas	+80a+100	0,8

Tabla 4. Equivalentes de acidez o basicidad residual e índices de salinidad de los materiales fertilizantes.

do los suelos se encalan, el porcentaje de saturación de bases aumenta y el pH sube (alta concentración de OH- que reaccionan con los H+ para formar moléculas de agua), llegando el suelo a mostrar un elevado porcentaje de saturación libre.

Debe tenerse en cuenta que cuando se emplea solución de acetato amónico 1 normal, con un pH de 7 (método de determinación de la CIC), este extractante puede disolver los carbonatos de calcio y magnesio y, por tanto, mostrar saturaciones superiores a 100%. Existe una relación directa entre el pH del suelo y el porcentaje de saturación de bases, pero esta relación puede



variar con el tipo de suelo y los cationes que saturan las posiciones de intercambio: por ejemplo, para una misma saturación de bases, el pH será más bajo si el catión predominante es calcio que si es sodio. Basta recordar que un aumento en el pH da origen a cargas negativas que pueden quedar para el intercambio de cationes (carga dependiente del pH), con lo cual se aumenta la capacidad de intercambio catiónico del suelo (Silva, 2011).

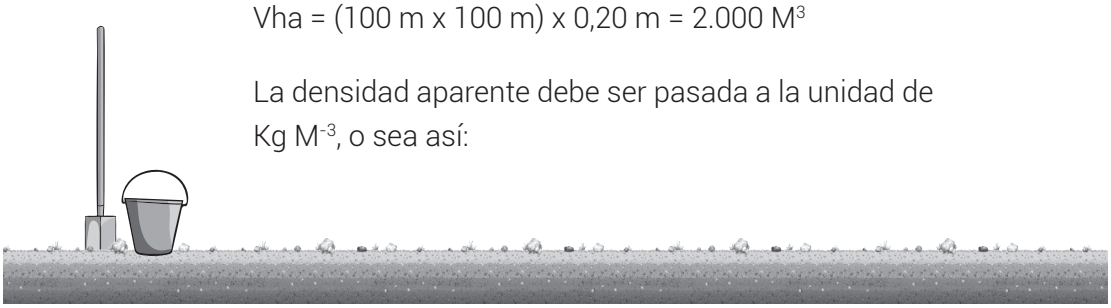
3.2. Densidad aparente

La densidad de volumen o densidad aparente se define como el peso seco del suelo por unidad de volumen de suelo inalterado, tal cual se encuentra en su emplazamiento natural, incluyendo el espacio poroso (Pinot, 2000). La importancia de este parámetro es cómo por medio de él los profesionales, estudiantes o investigadores pueden calcular el peso de la capa arable, para determinar los kilogramos de cada elemento que hay en el suelo analizado. A continuación, se dará un ejemplo al respecto.

En el análisis de suelo se determinó una densidad aparente de 1 g cm^{-3}. Hallar el peso en Kg de suelo en una hectárea. El volumen de una hectárea es igual a: **Área** x **Profundidad** (20 cm de acuerdo con el desarrollo radicular del cultivo).

Vha = (100 m x 100 m) x 0,20 m = 2.000 M^3

La densidad aparente debe ser pasada a la unidad de Kg M^{-3}, o sea así:



$$\frac{(1\ \cancel{g})}{\cancel{cm3}} X \frac{1Kg}{1x103\ \cancel{g}} X \frac{1x106\ cm3}{1M3} = 1.000\ Kg\ M^{-3}$$

La densidad aparente es igual a: Dap = P/V

P: Peso

V: Volumen

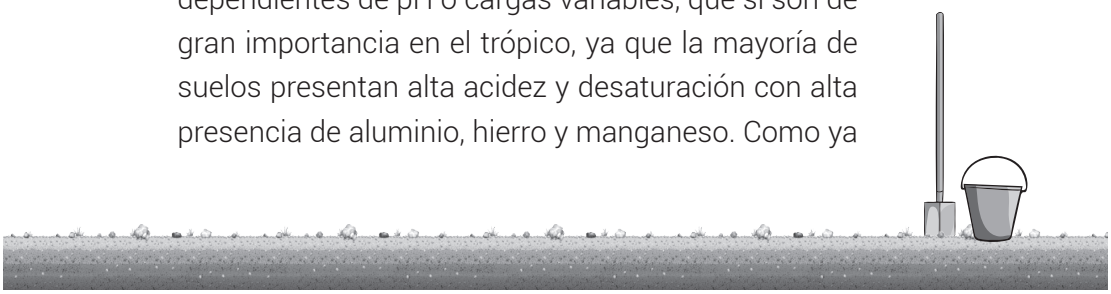
$1.000\ Kg\ M^{-3} = \mathbf{X} / 2.000\ M^3$

$\mathbf{X} = 1.000\ Kg\ \cancel{M^{-3}} \times 2.000\ \cancel{M^3} = 2 \times 10^6\ Kg\ ha^{-1}$

Entonces, se deduce que en una hectárea se tiene 2.000.000 Kg de suelo, con una densidad aparente de 1 g cm^{-3} y una profundidad de la muestra de suelos de 20 cm. Con este valor en kilogramos por hectárea puede determinarse, por ejemplo, los kilos de potasio (K) que existen en un suelo. Esto se discutirá más adelante en el tema de unidades de conversión.

3.3. CIC (Capacidad de Intercambio Catiónico)

La capacidad de intercambio catiónico es la capacidad que tiene el suelo de retener cationes. Es importante entender que para que dicha retención se presente, el suelo debe tener un número significativo de cargas para poder adsorber dichos cationes. Pueden presentarse dos tipos de cargas: las permanentes, que para el trópico no tienen gran interés, ya que se presentan en alta proporción en clima templado; y las cargas dependientes de pH o cargas variables, que sí son de gran importancia en el trópico, ya que la mayoría de suelos presentan alta acidez y desaturación con alta presencia de aluminio, hierro y manganeso. Como ya



Profundidad (cm)	CTC Efectiva		CTC pH 7,0	
	SPC	SPD	SPC	SPD
	$mmol_c kg^{+1}$			
0-2	34,0 a B	62,9 a A	96,7 a B	126 a A
2-4	35,4 a B	51,4 b A	99,3 a B	123,2 a A
4-6	34,8 a B	44,7 bc A	98,2 a A	112,2 a A
6-8	35,3 a B	41,4 cd A	100,6 a B	115,4 a A
8-10	36,2 a A	38,4 cd A	98,8 a A	107,8 a A
10-15	35,2 a A	38,4 cd A	99,9 a A	110,0 a A
15-20	34,8 a A	36,6 d A	96,4 a A	103,9 a A

Fuente: Ernani (2006).

Tabla 5. Valores de CIC efectiva y CIC pH 7 y su diferencia con respecto a la profundidad y el tipo de sistema de manejo en sistema de siembra directa (SPD) y sistema de labranza convencional (SPC).

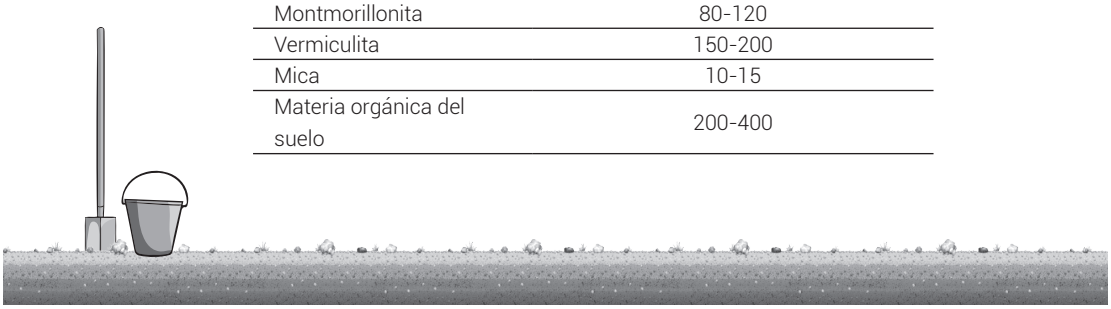
se mencionó, existen dos tipos de CIC, una que es CIC pH 7,0, en la cual se puede usar acetato de NH4+ y CIC efectiva, o sea al pH del suelo (no a pH 7,0)

En la tabla 5 se puede observar que independientemente del manejo (Sistema de siembra directa [SPD] o Sistema de siembra convencional [SPC]) la CIC efectiva (Real) es mucho menor que la CIC a pH 7,0. Esto debido a que en los suelos del trópico, que son ácidos, la mayoría de las cargas del suelo están ocupadas por hidrogeniones y aluminio y no por calcio, magnesio y potasio, como sí ocurre a pH alcalinos o neutro, como lo es la condición de pH 7,0.

Tabla 6. Capacidad de intercambio catiónico (CIC) media de algunos arcillominerales y de la materia orgánica.

A continuación, se describen los valores de CIC de acuerdo con el tipo de arcilla y de la materia orgánica.

Componente sólido	CIC ($Cmol_{(+)}$/Kg)
Caulinita	3-5
Montmorillonita	80-120
Vermiculita	150-200
Mica	10-15
Materia orgánica del suelo	200-400



3.4. Fósforo (P)

Es un elemento que es inmóvil en el suelo y por ende el manejo agronómico es difícil de implementar si no se tiene las herramientas y el conocimiento de la dinámica de este elemento en el sistema suelo-planta-atmósfera. Lo primero que hay que considerar es el método de solución extractora a usar; por ejemplo, se debe trabajar con Olsen u Olsen modificado en pH alcalinos y Bray II en suelos ácidos para no sobreestimar valores, ya que sus reactivos son ácidos que pueden disolver parte de este fósforo que está precipitado formando fosfatos de calcio, por ejemplo. A continuación, se describe el nivel crítico para fósforo determinado por Bray II (tabla 7).

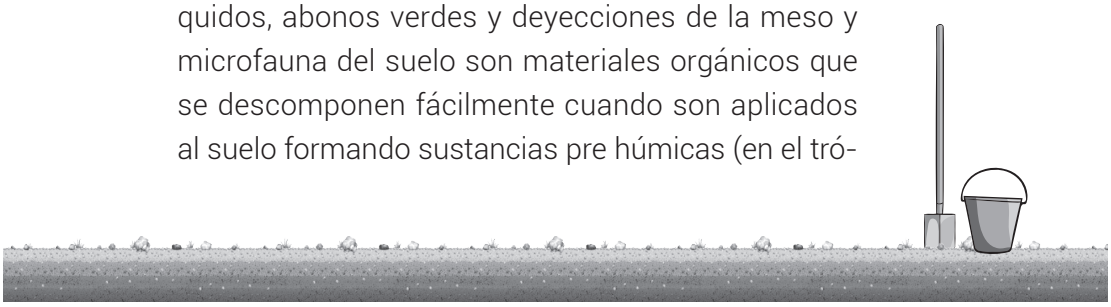
Tabla 7. Nivel de suficiencia y deficiencia para la interpretación de análisis de suelos en fase intercambiable (Microfertisa, 2008).

Elemento	Unidad	Bajo	Medio	Ideal	Alto
P	ppm ($mg.Kg^{-1}$)	<15	15-25	25-40	>40

3.5. Materia Orgánica (M.O)

Es toda sustancia muerta en el suelo, que provenga de plantas, microorganismos, excreciones animales (de la fauna terrestre), de la meso y macro fauna muerta. Las raíces vivas y animales que viven en y sobre el suelo no constituyen materia orgánica.

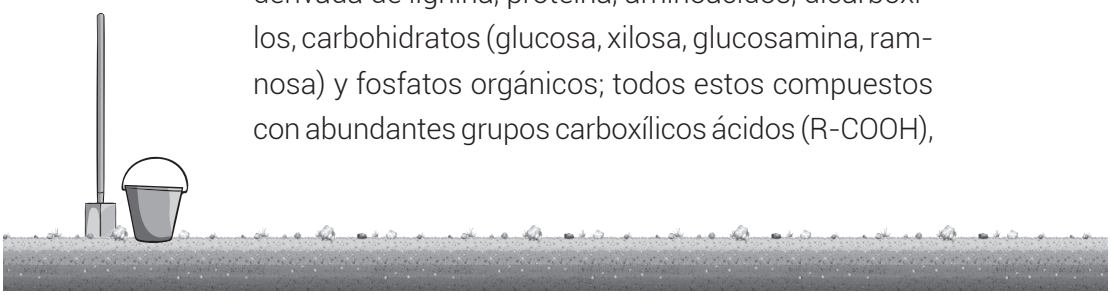
Los residuos de cosechas, estiércoles sólidos y líquidos, abonos verdes y deyecciones de la meso y microfauna del suelo son materiales orgánicos que se descomponen fácilmente cuando son aplicados al suelo formando sustancias pre húmicas (en el tró-



pico) y liberando elementos nutritivos para las plantas, especialmente nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio, magnesio, hierro, manganeso y boro. Los residuos vegetales con mayor contenido de lignina (la lignina tiene una estructura química muy compleja) son descompuestos muy lentamente por hongos y especialmente actinomicetos que son los únicos que logran romper estos suelos estructurales tan complejos; pero en ese proceso liberan sustancias antibióticas y solubilizadoras de formas minerales no disponibles para la nutrición de los vegetales.

En la degradación biológica intervienen varios procesos y factores, como la relación C/N, la relación C/P, el pH, la saturación de aluminio, el balance nutricional, el drenaje, la aireación, el contenido de humedad, la temperatura, la textura, la estructura, el nivel freático, entre otros. El material procedente de la descomposición biológica de la materia orgánica es un compuesto orgánico amorfo, en estado coloidal, estable, de color castaño a negro, sin vestigios de la estructura anatómica del material del que se deriva. Está formado por ácidos húmicos pardos y grises, ácidos fúlvicos y huminas, principalmente. En su composición, contienen carbono en un 40-60%, 30-40% de oxígeno, 4-5% de hidrógeno y 4-6% de nitrógeno.

Su macromolécula es muy compleja y, básicamente, derivada de lignina, proteína, aminoácidos, dicarboxilos, carbohidratos (glucosa, xilosa, glucosamina, ramnosa) y fosfatos orgánicos; todos estos compuestos con abundantes grupos carboxílicos ácidos (R-COOH),

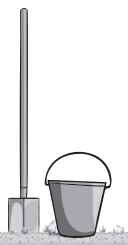


acéticos (RCOCH3), metoxilos (R-O-CH3), hidroxilos (R-OH), aminas (R-NH2), y carbónicos (R-O) que, dependiendo del pH del medio, desarrollan una alta capacidad de intercambio de cationes (CIC), entre 150 y 258 meq/100 g de sustancia húmica.

En clima templado, la mayor fracción de materia orgánica se encuentra humificada, debido a que la descomposición es muy lenta en esas latitudes. Antes se pensaba que el humus tendría que acumularse en cualquier suelo del mundo entero, lo que, infelizmente, no es verdad. Así, en los suelos tropicales, una concentración mayor de humus indica condiciones deficientes de descomposición, clima frío, acidez elevada en el suelo, falta o exceso de humedad, desbalance nutricional, etc. Por mucho tiempo solo se supo que el humus era una sustancia marrón oscura, quebradiza, más o menos rica en nitrógeno, calcio y fósforo, y que se formaba de restos orgánicos, no obstante, sin presentar la estructura de estos. Más tarde, se descubrió que eran las ligninas las que daban origen al humus, por ser de difícil descomposición, y por eso más lenta, dependiendo de la acción de los hongos y los actinomicetos.

Tabla 8. Nivel en porcentaje de Carbono Orgánico (C.O) en relación al clima (Microfertisa, 2008).

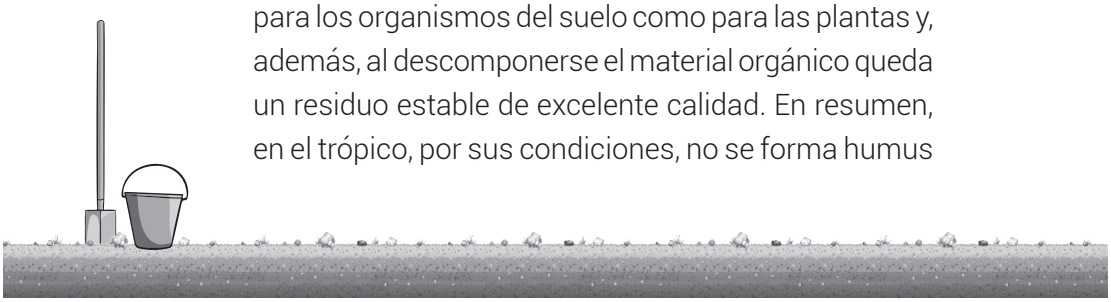
Método	Clima	Nivel de Interpretación			
Carbono orgánico (Walkley-Black).		Bajo	Medio	Ideal	Alto
Materia Orgánica = C.O x 1,724	Frío	< 2,9	3-5,7	5,8-7	>7
	Medio	< 1,7	1,8-2,9	3-4	>4
	Cálido	< 1,1	1,2-2,3	2,4-2,5	>2,5



Las ligninas siempre se descomponen, en un primer periodo, por hongos y actinomicetos. Estos hongos, como *Epicocurm nigrum,* producen el color oscuro típico de fenoles y melaninas. En medio semi-aerobio, la descomposición continúa por hongos. En condiciones aerobias y clima suficientemente cálido, es continuada por bacterias. Estos son descompuestos muy eficientes, no quedando nada más que CO_2, agua y minerales. Por eso se distingue entre el humus de consumo, o materia orgánica de fácil descomposición, y el humus de reserva, la materia de difícil descomposición y que, por lo mismo, se acumula en el suelo.

En las condiciones ecológicas predominantes en los suelos tropicales es casi imposible aumentar el contenido de materia orgánica del suelo en forma permanente, debido a la alta temperatura y humedad que originan una rápida oxidación de los residuos vegetales y animales que se depositen en el suelo. Sin embargo, es muy beneficioso, desde el punto de vista químico, físico y biológico, conservar la materia orgánica existente mediante adiciones periódicas, residuos de cosechas, abonos verdes incorporados, compost artificialmente preparado en condiciones controladas a partir de restos de tejidos vegetales y animales, y adición de excretas animales bien descompuestas.

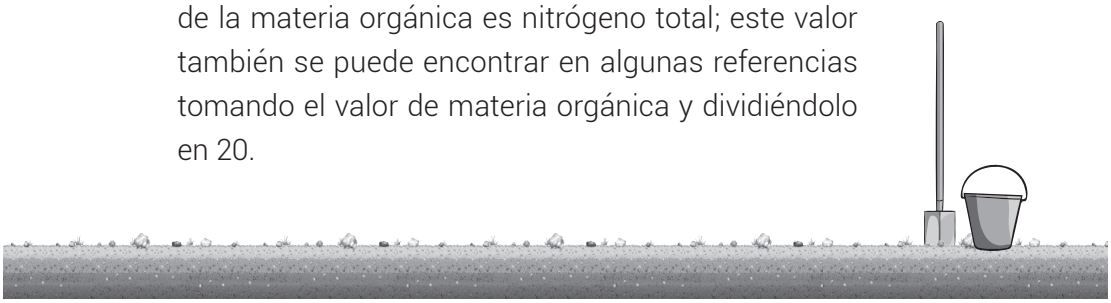
Estos materiales contienen elementos nutritivos tanto para los organismos del suelo como para las plantas y, además, al descomponerse el material orgánico queda un residuo estable de excelente calidad. En resumen, en el trópico, por sus condiciones, no se forma humus



propiamente dicho, pero sí un producto intermediario de la descomposición bacteriana, los ácidos poliurónicos, un producto incoloro o blancuzco, incapaz de dar color al suelo pero que sí lo flocula e imprime mejoras físicas, químicas y biológicas.

La noción equivocada sobre materia orgánica se debe al modo de analizarla, determinando el tenor de carbono en un suelo, suponiendo que este, en su totalidad, estaría representado por humus, ácidos húmicos y humatos. De lo anterior se concluye, por lo tanto, que siempre debe ser de alto valor para el suelo. Pero como en las zonas tropicales justamente los suelos con mayor acumulación de materia orgánica y mayor tenor de carbono no son los mejores para la agricultura, se deduce que la materia orgánica no tiene valor para los suelos tropicales y subtropicales, a los que ni siquiera consigue dar color oscuro, como resultado de la formación de melaninas y fenoles en la descomposición biológica de la materia orgánica.

En la materia orgánica del suelo, esta presenta un promedio de 58% de carbono (por eso el valor de conversión de 1.724, 100/58); existe en parte como hojas y raíces muertas, en parte como productos intermediarios de la descomposición, como ácidos poliurónicos y en parte a veces como sustancias húmicas. También es importante establecer que aproximadamente el 5% de la materia orgánica es nitrógeno total; este valor también se puede encontrar en algunas referencias tomando el valor de materia orgánica y dividiéndolo en 20.

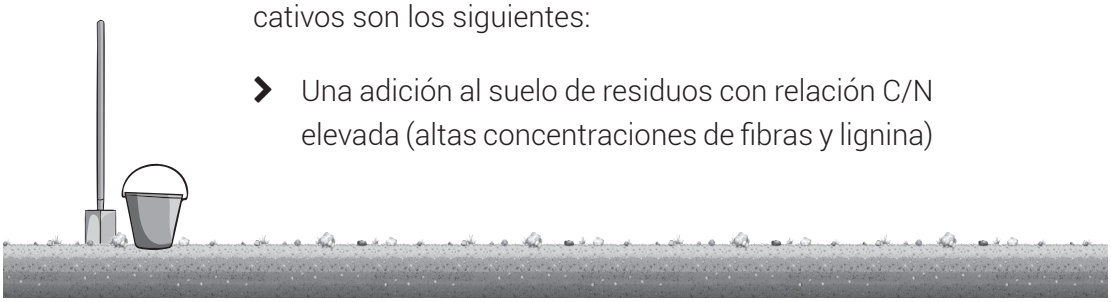


En la primera fase de la descomposición de los residuos orgánicos se producen las sustancias que darán agregación al suelo y mejoras en lo químico y biológico. Lo que posee la fuerza agregante, en este caso, no es el humus, pero sí es el producto intermediario de la descomposición bacteriana, los ácidos poliurónicos. Es obvio que la evaluación del carbono en el suelo no nos puede dar información alguna sobre el efecto que tendrá sobre sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

La materia orgánica del suelo viene expresada en porcentaje; si de un suelo, por ejemplo, se obtiene en el reporte del laboratorio (resultado de análisis de suelos) un contenido de materia orgánica de 3%, quiere decir que por cada 100 kilos de suelo hay 3 kilos de materia orgánica. La calificación de materia orgánica debe interpretarse de acuerdo con el clima, puesto que lo normal es que haya contenidos mayores a medida que disminuye la temperatura, debido a que hay una disminución en la acción que ejercen los microorganismos del suelo sobre los residuos orgánicos, y por esto hay acumulación en zonas más altas. En suelos derivados de cenizas volcánicas también existe acumulación.

Relación C/N: La proporción C/N (carbono/nitrógeno) en la materia orgánica del suelo es un factor importante sobre varios aspectos, de los cuales los más significativos son los siguientes:

- Una adición al suelo de residuos con relación C/N elevada (altas concentraciones de fibras y lignina)

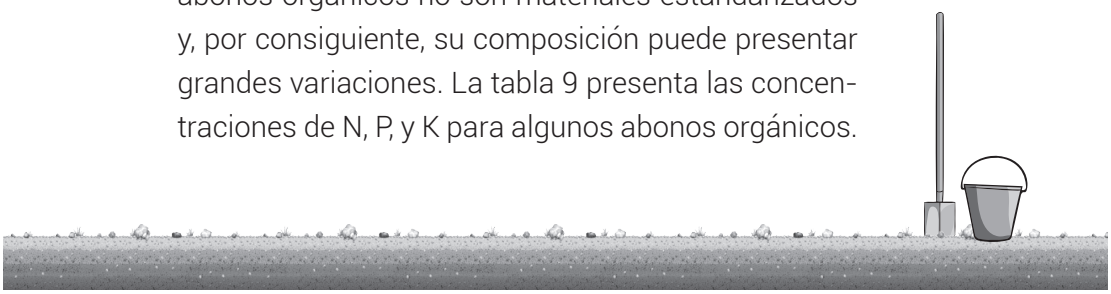


motiva a la competición por el nitrógeno disponible entre los microorganismos y las plantas.

- Residuos con relación C/N baja (leguminosas), pueden favorecer el desarrollo microbiológico en el proceso de descomposición, implicando una mayor cantidad de N mineralizado.

Recomendación de abonos orgánicos: La recomendación para la aplicación de abonos orgánicos puede ser calculada siguiendo diversos criterios partiendo de que el nitrógeno (N) es el nutriente más demandado por la mayoría de los cultivos y en las fertilizaciones, pero que también puede ser el que puede provocar mayores problemas de contaminación de fuentes hídricas (nitrato y amonio). Se recomienda hacer la aplicación de abonos orgánicos con base en la concentración de Nitrógeno del abono y en la proporción de Nitrógeno presente, que será recuperado por el cultivo después de realizar la aplicación de dicho abono, utilizándose siempre la masa seca como base para el cálculo.

La concentración de Nitrógeno debe ser determinada en análisis de laboratorio (ver capítulo 2 para la determinación de nitrógeno total). Si esto no fuera posible, el valor puede ser estimado por medio de tablas disponibles en varias fuentes, recordando que, en comparación con los fertilizantes de síntesis química, los abonos orgánicos no son materiales estandarizados y, por consiguiente, su composición puede presentar grandes variaciones. La tabla 9 presenta las concentraciones de N, P, y K para algunos abonos orgánicos.



Abono orgánico	Unidades	N	P_2O_5	K_2O
	%			
Estiércol bovino	65,3	3,1	1,8	2,1
Estiércol equino	70.5	1,8	1,0	1,4
Estiércol ovino	65,4	2,8	1,7	2,0
Estiércol de cerdo	78,0	3,2	2,4	2,7
Estiércol de gallina	55,3	4,0	4,7	2,0
Torta de ricino	-	5,4	1,9	1,5
Abono de basura urbana	-	3,4	1,2	0,3
Vinaza de melaza	-	0,8	0,2	6,0
Vinaza de mezcla	-	0,5	0,2	3,1
Vinaza de caldo	-	0,3	0,2	1,5
Lixiviado	-	4,0	4,0	2,5

Tabla 9. Humedad y concentraciones de (N, P2O5 y K2O) en diversos abonos orgánicos (Ribeiro *et al.,* 1999).

Al final, las ventajas de la aplicación de abonos orgánicos son las siguientes:

- Aumenta la CIC.
- Mejora la agregación del suelo: Actúa como agente cementante de partículas del suelo, formando agregados bastante estables. La materia orgánica puede retener de 4 a 6 veces más agua que su propio peso, disminuyendo la erosión.
- Disminuye la plasticidad y cohesión: disminuye el efecto negativo de la consistencia plástica y pegajosidad de los suelos arcillosos mojados.
- Temperatura: Debido a la propiedad de almacenaje de agua, la materia orgánica es más conductora de calor, disminuyendo las oscilaciones de temperatura durante el día.

3.6. Bases intercambiables

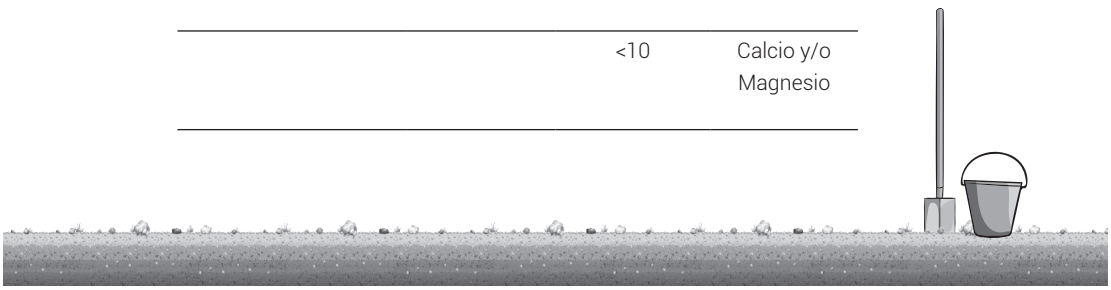
Las bases intercambiables están conformadas por los elementos nutricionales de Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^{+} y Na^{+}, que son

importantes para las plantas por ser elementos esenciales para ellas, a excepción del sodio (Na^+), el cual tiene importancia en suelos salino-sódicos o sódicos con pH superiores a 6. Las bases intercambiables son fundamentales porque hacen parte de la CIC, y son la base de la fertilidad potencial de un suelo; además, con un adecuado manejo estos elementos pueden contribuir indirectamente a reducir la acidez, deslocando los elementos que conforman la acidez intercambiable ($H^+ + Al^{+3}$), y dejando esas cargas para que sean ocupadas por dichas bases.

Algo importante para tener en cuenta es no solo los valores críticos de cada elemento, sino también sus relaciones ya que, al ser cationes, pueden presentarse antagonismos cuando estos se encuentran en rangos muy altos. En la tabla 10 se explica las relaciones entre los elementos y cuál se puede encontrar limitado de acuerdo con la condición en el suelo.

Tabla 10. Niveles de interpretación de relaciones iónicas en resultados de análisis de suelos. Adaptado de Castro y Gómez (2010).

Relaciones Iónicas	Ideal	Rango Crítico	Deficiencia
Ca/Mg	3-4	<3	Calcio
		>4	Magnesio
Mg/K	6-8	>10	Potasio
		<5	Magnesio
Na/K	0,5-1	>1	Potasio
Ca/K	12-15	>15	Potasio
		<10	Calcio
Ca+Mg/K	12-20	>25	Potasio
		<10	Calcio y/o Magnesio



3.7. Elementos menores

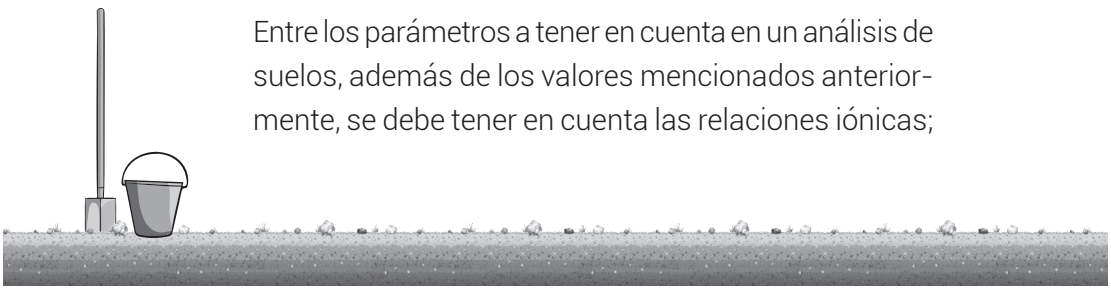
Son tan importantes como los macronutrientes, y de suma relevancia en la nutrición de la planta, aunque no requieran grandes cantidades. Para el manejo de los elementos menores en la recomendación es necesario entender que dicha recomendación debe ser sumamente cuidadosa, debido al rango estrecho que hay entre la deficiencia, la suficiencia del elemento y su posible toxicidad (los elementos menores se expresan en ppm, por presentarse en el suelo en bajas concentraciones); por esto, y por muchas más ventajas, es que los planes de fertilización deben contemplar los micronutrientes que han servido para mejorar los rendimientos de los cultivos (Ley del mínimo). A continuación, en la tabla 11 se describen los rangos generales de los elementos menores:

Tabla 11. Niveles generales de elementos menores en la interpretación de análisis de suelos en fase intercambiable. Adaptado de Microfertisa (2008).

Elementos menores (Olsen/AA)	Unidad	Bajo	Medio	Ideal	Alto
Fe	ppm ($mg.Kg^{-1}$)	<30	30-50	50-100	>100
Mn	ppm ($mg.Kg^{-1}$)	<10	10-15	15-20	>20
Cu	ppm ($mg.Kg^{-1}$)	<1	1-2	2-3	>3
B	ppm ($mg.Kg^{-1}$)	<0,3	0,3-0,4	0,4-0,6	>0,6
Zn	ppm ($mg.Kg^{-1}$)	<2	2-3	3-4	>4

3.8. Relaciones iónicas

Entre los parámetros a tener en cuenta en un análisis de suelos, además de los valores mencionados anteriormente, se debe tener en cuenta las relaciones iónicas;



entre ellas las relaciones entre cationes tales como Ca/Mg, Ca/K, Mg/K y K/(Ca + Mg)½. De igual forma, otras relaciones que deben guardar cierta proporción, ya que tienen importancia a nivel nutricional para la gran mayoría de las culturas, son, por ejemplo, P/Zn, dos elementos importantes en el desarrollo radicular de la planta (energético y hormonal) y la relación Ca/B, importante en la formación de la rigidez de la pared celular o del fortalecimiento de la lámela media de las células, ya que el calcio participa en la formación de pectatos de calcio y el boro de Cis-Boratos.

Otra relación significativa es la que se da entre N/S y Fe/Mn, importante en los procesos de la fotosíntesis (activación de metionina); para ello, hay que tener en cuenta conceptos como sinergismo, antagonismos y sinergismos negativos (Ca/B), entre los elementos nutricionales (tabla 12), ya que dependen estrictamente de estas relaciones tanto en el suelo como en la planta, como ocurre con N/S, debido a que el azufre está íntimamente correlacionado con el metabolismo del nitrógeno, convirtiéndolo de N-aminoácidos (no proteico) en Nitrógeno-Proteico; el azufre (S) participa de estructuras orgánicas e inorgánicas en las plantas y de diversas reacciones enzimáticas y la falta de este elemento puede traer perjuicios en la síntesis proteica, como un acúmulo de nitrógeno, promoviendo la reducción de la concentración de proteínas en las plantas y en el crecimiento vegetal.



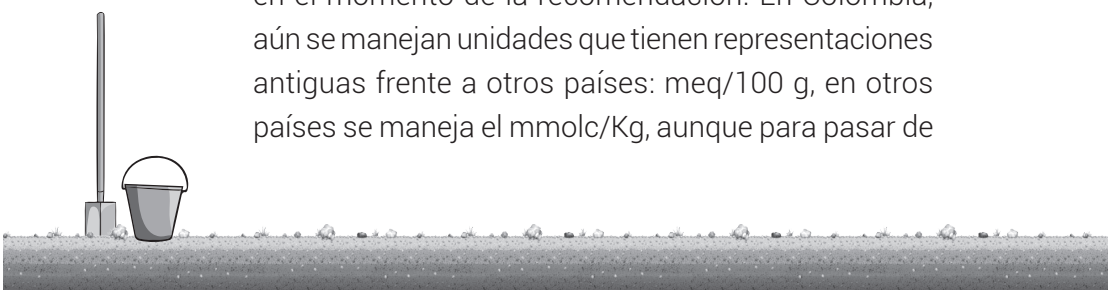
Relaciones iónicas	Ideal	Rango crítico	Deficiencia
Ca/B	1.000-2.000	<1.000	Calcio
		>2.000	Boro
Fe/Mn	8-10	>10	Manganeso
		<8	Hierro
P/Zn	8-10	>12	Zinc
		<8	Fósforo
Fe/Zn	13-15	>15	Zinc
		<13	Hierro

Tabla 12. Relaciones entre los nutrientes menores de gran importancia en el análisis de suelos. Adaptado de Castro y Gómez (2010).

Estas relaciones deben ser calculadas utilizándose unidades iguales de expresión de resultados; por ejemplo, el calcio y el boro presentan en el análisis de suelos dos unidades diferentes. El calcio se expresa en meq/100 gramos o $Cmol_{(+)}$/Kg, y el boro es expresado en ppm (partes por millón); en este caso, los dos elementos deben tener la misma unidad para que se pueda realizar la relación, que para Ca/B debe estar entre 1.500 a 2.000 en la mayoría de las culturas.

3.9. Unidades empleadas en el análisis de suelos

La conversión de unidades es un factor importante que la persona que vaya a interpretar un análisis de suelos debe tener en cuenta, ya que le permite tanto al profesional como al productor entender cuánto se tiene de cada elemento (cantidad) y su posterior facilidad en el momento de la recomendación. En Colombia, aún se manejan unidades que tienen representaciones antiguas frente a otros países: meq/100 g, en otros países se maneja el mmolc/Kg, aunque para pasar de



una unidad a otra existan los factores de conversión, que para este ejemplo sería 10. De estas unidades se va a hablar a continuación, aunque hay que aclarar que todos los laboratorios que determinan análisis de suelos utilizan las mismas unidades; de igual manera, hay que mencionar que a pesar de que las unidades son las mismas, el método puede cambiar y, por consiguiente, también el nivel de interpretación en el análisis de suelos; por ejemplo, la tabla para fósforo determinado con Mehlich es diferente a la tabla de interpretación para el método de Bray II.

Así, por ejemplo, uno de los parámetros para tener en cuenta son las relaciones iónicas, una de las cuales es la relación Ca/B; para poder realizar esta relación hay que saber que el calcio se expresa en meq/100 g y el boro en ppm, así que no será fácil contemplar esta relación si no se tiene los conocimientos previos en conversión de unidades expresadas en el análisis de suelos. Otra unidad importante es $Kg.ha^{-1}$, ya que le permite al productor, al técnico, tecnólogo, profesional, profesor, investigador, etc., saber las cantidades existentes en el suelo y las que se debe aportar mediante la fertilización; además, la unidad en Kg es muy conocida, ya que es de uso cotidiano, lo que facilitará la explicación. A continuación (tabla 13), se hará un ejercicio de ejemplo con las 4 unidades más conocidas en el análisis de suelos:



Unidad	Elemento
%	Nitrógeno, carbono orgánico, materia orgánica
Miliequivalente/100 gramos o $Cmol_{(+)}$/Kg	Calcio, magnesio, potasio, sodio, CIC, H^+ y aluminio intercambiable
ppm (partes por millón)	Boro, zinc, hierro, manganeso, cobre, molibdeno, cloro, níquel, y todos los elementos pesados y trazas.

Tabla 13. Unidades de conversión en el análisis de suelos.

- **Porcentaje** (% o g del elemento/100 g de suelo)

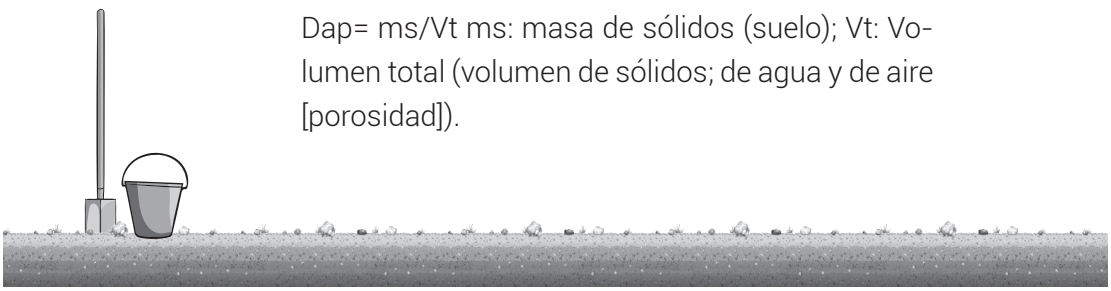
- **ppm** (partes por millón o mg del elemento/Kg de suelo): Esta unidad tiene en cuenta la diferencia que hay de mg de un elemento en 1.000.000 de mg de suelo, pero para temas prácticos, y además porque la muestra que se envía a laboratorio es de 1 kilogramo, se soma este valor:

  1 kilogramo de suelo = 1.000.000 de mg de suelo

  1 mg del elemento: 1.000.000 de mg de suelo o sea 1mg del elemento: 1 Kg de suelo.

- **Kg del elemento/Hectárea**: Para esta unidad es importante tener en cuenta la densidad aparente y la profundidad de la muestra de suelo.

  Dap= ms/Vt ms: masa de sólidos (suelo); Vt: Volumen total (volumen de sólidos; de agua y de aire [porosidad]).



Ejemplo: Pasar 1,5 meq de Calcio/100 gramos de suelo a:

- Ppm (mg kg^{-1})
- % (g 100 g^{-1})
- $Kg.ha^{-1}$

a)

$$\frac{1{,}5\ \cancel{meq\ Ca}}{100\ \cancel{g}} \ X\ \frac{20\ \textbf{mg Ca}}{1\ \cancel{meq\ Ca}} \ X\ \frac{100\ g}{0{,}1\ \textbf{\textit{Kg}}} = \textbf{300 ppm}$$

1 eq-g de Calcio: PM/V

PM: Peso Molecular; **V**: Valencia

PM/V: 40/2 = 20 gramos

1 meq: (PM/V)/1.000; o sea que: 20 gramos/1.000 = 0,02 g de Calcio o 20 mg de Calcio

b)

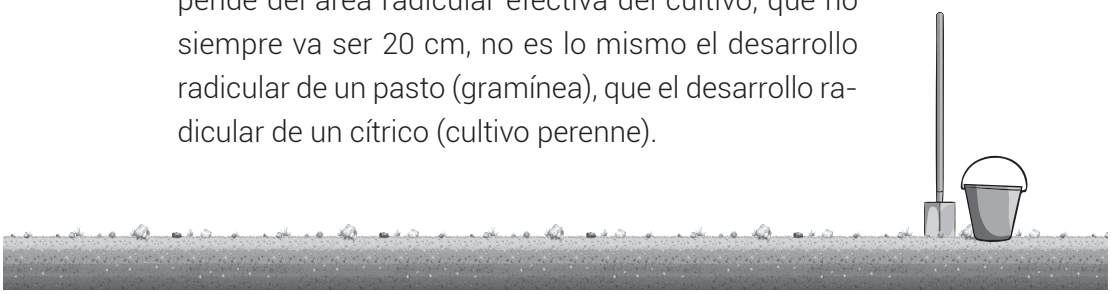
$$\frac{1{,}5\ \cancel{meq\ Ca}}{100\ \cancel{g}} \ X\ \frac{0{,}02\ \textbf{g Ca}}{1\ \cancel{meq\ Ca}} = \textbf{0,03 \%}$$

c)

$$\frac{1{,}5\ \cancel{meq\ Ca}}{100\ \cancel{g}} \ X\ \frac{0{,}02\ \cancel{g\ Ca}}{1\ \cancel{meq\ Ca}} \ X\ \frac{1\ \textbf{kg Ca}}{1x\ 103\ \cancel{g\ Ca}} \ X\ \frac{100\ \cancel{g}}{0{,}1\ \cancel{kg}} \ X\ \frac{2 \times 106\ \cancel{Kg}}{\textbf{1 ha}} = \textbf{600 Kg Ca/Ha}$$

Dap: 1 g cm^{-3}

Profundidad: 20 cm, la profundidad de la muestra depende del área radicular efectiva del cultivo, que no siempre va ser 20 cm, no es lo mismo el desarrollo radicular de un pasto (gramínea), que el desarrollo radicular de un cítrico (cultivo perenne).



Bibliografía

Arévalo, G. E. y M. Sánchez (2014). "Métodos Analíticos del Laboratorio de Suelos de Zamorano". Documento Interno de trabajo. Zamorano, Honduras.

Babelis, A. G. y Liotta, T. H. M. (2005). "Recuperación de suelos salinos". *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria–INTA. EEA San Juan.*

Calderón, F. y Pavlova, M. (1999). "Metodologías para análisis químico de suelos". *Labs. Dr. Calderón. Colombia*. Recuperado de http://www. drcalderonlabs. com/.

Castellanos, R. J. Z. (2000). *Manual de Interpretación de Análisis de Suelos y Aguas*. México: Intagri Gto.

Constantinidis, C. (1970). "Bonifica ed Irrigazione". *Edagrícola*.

Embrapa, Centro Nacional de Pesquisa de Solos. (1997). "Manual de métodos de análise de solo". Rio de Janeiro.

Esqueda Coronado, M. H., Melgoza Castillo, A., Sosa Cerecedo, M., Carrillo Romo, R. y Jiménez Castro, J. (2005). "Emergencia y sobrevivencia de gramíneas con diferentes secuencias de humedad/

sequía en tres tipos de suelo". *Técnica pecuaria en México*, 43(1).

Flores, D. L., Alcalá M., J. R. (2010). *Manual de Procedimientos Analíticos. Laboratorio de Física de Suelos.* México: Universidad Nacional Autónoma México.

Gurovich, L. A. (1985). *Fundamentos y diseño de sistemas de riego* (No. 59). Iica.

Herber, L. G. (2011). *Conductividad Eléctrica aparente como herramienta para delimitar Zonas de Manejo Sitio Específico en Maíz (Zea mays) en la Provincia de Corrientes* (Doctoral dissertation, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales).

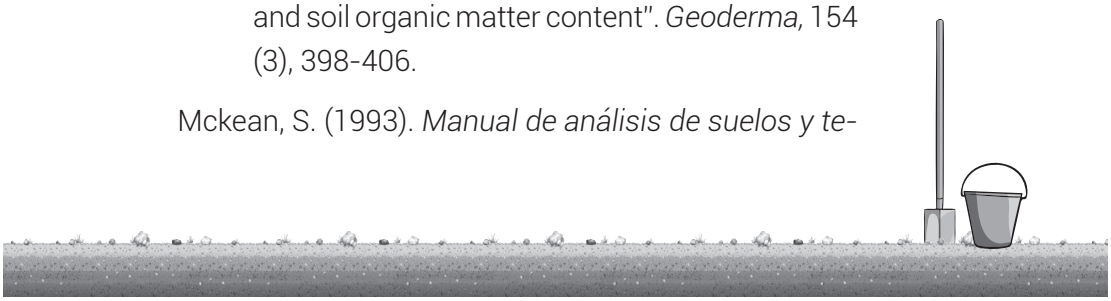
Hernández, A., Ascanio, M., Morales, M., Bojórquez, I., García, N. y García, D. (2008). *El suelo: Fundamentos sobre su formación, los cambios globales y su manejo*. Univ. Autónoma de Nayarit.

IGAC. (2006). *Métodos analíticos de laboratorio de suelos*. Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) - Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE).

Jackson, M. (1976). *Análisis químicos de los suelos.* Barcelona: Editorial Omega.

Keller, T., Håkansson, I. (2010*).* "Estimation of reference bulk density from soil particle size distribution and soil organic matter content". *Geoderma,* 154 (3), 398-406.

Mckean, S. (1993). *Manual de análisis de suelos y te-*



jido vegetal: una guía teórica y práctica de metodologías. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

Méndez, I. D. (2002). *Disminución del riesgo de compactación de suelos agrícolas por inadecuado manejo de maquinaria en Coahuila*. Buenavista, Saltillo, Coahuila.

Mineral, M. D. N. (2000). *Optimización de la fertilización nitrogenada: procedimientos de análisis de suelo, toma de muestra y elección del tipo de fertilizante*, 6, 73-84.

Natural Resources Conservation Service, Soils, United States Deparment of Agriculture (2016). Soil Health Assessment. Recuperado de http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/health/assessment/.

Osorio, W. y Casamitjana, M. (2011). "Toma de muestras de suelo para evaluar la fertilidad del suelo". *Suelos Ecuatoriales,* 41(1), 23-28.

Pérez-López, E. (2013). "Análisis de fertilidad de suelos en el laboratorio de Química del Recinto de Grecia, Sede de Occidente, Universidad de Costa Rica". *InterSedes: Revista de las Sedes Regionales,* 14(29).

Proffitt, T. (2014). Assessing soil quality and interpreting soil test results. Recuperado de www.winewa.asn.au

Rhoades, J. (1982). "Cation Exchange Capacity". En: A. L. Page (ed.). *Methods of Soil Analysis. Parte 2.*

Agronomy Monograph Nº 9. ASA & SSSA. Madison, WI, 178-190.

Richards, L. (1970). *Diagnóstico y rehabilitación de suelos salinos y sódicos*. México: Centro Regional de Ayuda Técnica.

Rubio, A. M. (2010). "La densidad aparente en suelos forestales del Parque Natural Los Alcornocales". Proyecto fin de carrera para optar al título de Ingeniero Técnico Agrícola, especialidad en explotaciones agropecuarias. España: Universidad de Sevilla.

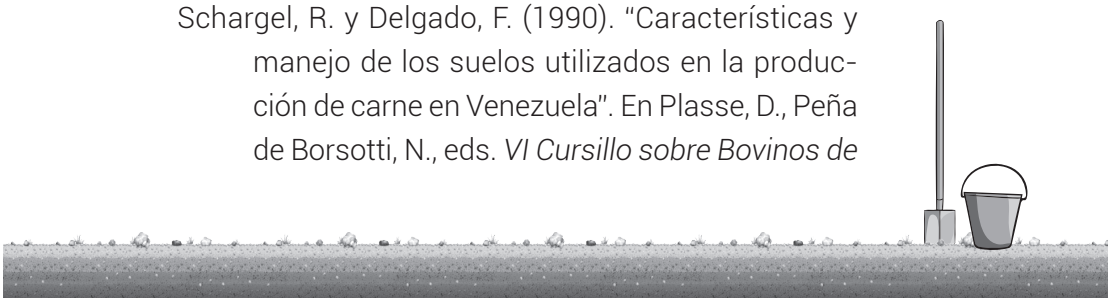
Ruf, T., Schmidt, A., Delfosse, P. y Emmerling, C. (2017). "Harvest date of Miscanthus x giganteus affects nutrient cycling, biomass development and soil quality". *Biomass and Bioenergy*, 100, 62-73.

Salazar-Porras, L. M. (2015). "Calibración de dos métodos de diagnóstico de la fertilidad de suelos cultivados con yuca (*Manihot esculenta Crantz*) en el trópico húmedo de Costa Rica".

Sancho, H. (1999). "Curvas de absorción de nutrientes: importancia y uso en los programas de fertilización". *Informaciones agronómicas*, 36, 11-13.

Sarkar, D. y Haldar, A. (2005). *Physical and Chemical Methods in Soil Analisys*. Nueva Delhi: New Age International Pvt. ltd., Publishers.

Schargel, R. y Delgado, F. (1990). "Características y manejo de los suelos utilizados en la producción de carne en Venezuela". En Plasse, D., Peña de Borsotti, N., eds. *VI Cursillo sobre Bovinos de*



Carne. FCV-UCV, Maracay,187-220.

Silva Mojica, F. (2001). *Fertilidad de suelos: diagnóstico y control.* Bogotá: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo.

Soil Survey Staff (2014). "Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual". *Soil Survey Investigations Report* No. 51, Version 2.0. R. Burt and Soil Survey Staff (ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.

Taboada, M. y Álvarez, C. R. (2008). *Fertilidad física de los suelos*. Buenos Aires (Argentina): Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía.

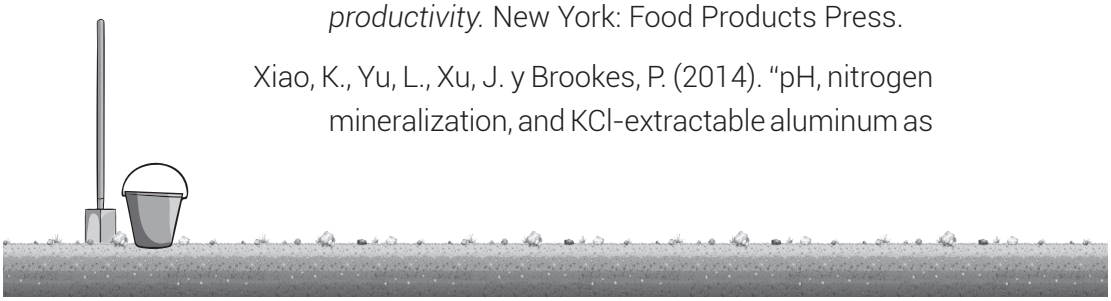
Thompson, L. M. y Troeh, F. R. (1988). *Los suelos y su fertilidad*. Ed. Reverté. Cuarta. Barcelona-Bogotá-Buenos Aires-Caracas-México.

Trejo, J. A. V. (2002). *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. Instituto Nacional de Ecología.

Vinhal-Freitas, I. C., Corrêa, G. F., Wendling. B., Bobul'ská, L. y Ferreira, A. S. (2017). "Soil textural class plays a major role in evaluating the effects of land use on soil quality indicators". *Ecological Indicators*, *74,* 182–190.

Wolf, B., Snyder, G. (2003). *Sustainable soils; the place of organic matter in sustainable soils and their productivity.* New York: Food Products Press.

Xiao, K., Yu, L., Xu, J. y Brookes, P. (2014). "pH, nitrogen mineralization, and KCl-extractable aluminum as



affected by initial soil pH and rate of vetch residue application: results from a laboratory study". *Journal of Soils & Sediments: Protection, Risk Assessment, & Remediation*, 14 (9), 1513-1525.



Muestreo de suelos, técnicas de laboratorio e interpretación de análisis de suelos se terminó de imprimir en Panamericana Formas e Impresos S.A., en noviembre de 2017.