



“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”

Trócaire
Working for a just world.

CIAT
Centro Internacional de Agricultura Tropical
International Center for Tropical Agriculture
Consultative Group on International Agricultural Research

Guía para el uso de indicadores de calidad de suelo



Documentada por: **Reynaldo Bismarck Mendoza Corrales**

Managua, Nicaragua,

Enero, 2014



“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”

Trócaire
Working for a just world.

Guía para el uso de indicadores de calidad de suelo



Documentada por: Reynaldo Bismarck Mendoza Corrales

Managua, Nicaragua,

Enero, 2014

© Universidad Nacional Agraria

Facultad de Recursos naturales y del Ambiente

Km. 11.5 Carretera Norte, Managua, Nicaragua

Teléfonos: 2233-1501, 2233-1899, 2233-1871

Fax: 2233-1439

400 Ejemplares

® Todos los derechos reservados

2013

Reynaldo Bismarck Mendoza Corrales

rmendoza@una.edu.ni

Presentación

La presente guía resulta de la necesidad de documentar experiencias vinculadas a iniciativas productivas amigables con el ambiente, realizadas por grupos de agricultores y agricultoras en la región centroamericana. Las cuales, han evidenciado que conservar y aumentar el contenido de materia orgánica en los suelos garantiza tanto sostenibilidad productiva, como aumento de la capacidad del sistema para poder adaptarse y mitigar los efectos negativos del cambio climático. Por ejemplo, la alianza “Manejo Integrado de Suelos” en Centro América (MIS), la Red SICTA, la alianza TROCAIRE, el grupo de investigación para el desarrollo participativo integral rural (UNA-DEPARTIR), y la alianza CARE-MARENA-PIMCHAS entre otras, han utilizado indicadores sencillos de calidad de suelo para valorar la efectividad de diferentes sistemas de manejo.

La guía pretende mejorar la comunicación entre los actores que participan en procesos de extensión y/o asistencia técnica en el tema de manejo de suelos. Es un documento metodológico que orienta la aplicación en campo de indicadores sencillos de calidad de suelo para monitorear cambios en las propiedades de los suelos, con fines de manejo eficiente de los recursos suelos, agua y nutrientes, tanto a escala de parcelas como de cuenca o paisaje. Es una guía dirigida a técnicos, extensionistas, estudiantes de ciencias agrarias y recursos naturales, líderes comunitarios y productores capacitados en el tema de calidad de suelos.

La estructura de la guía inicia con aspectos conceptuales sobre suelos, continúa con la parte procedimental y de interpretación datos de campo y laboratorio. Las propiedades físicas se relacionan a procesos de almacenamiento, transporte y retención de agua en el suelo. Las químico-biológicas a la liberación de energía y suministro de materia orgánica en los suelos. El conocimiento local se expresa a través del el uso de plantas indicadoras y la aplicación de mapas de localización de nutrientes en los tejidos vegetales. Al final se presentan ejemplos de análisis de calidad de suelos para identificar acciones de manejo sostenible de la tierra. En anexos se incluyen tablas de conversión de unidades, y etapas fisiológicas de diferentes cultivos, para actividades de manejo integral de suelos y cultivos.

Agradezco a las familias de agricultores y técnicos que brindaron información para la presente guía: asimismo, a los revisores del documento: Gustavo Valverde y César Aguirre (UNA), así como a las instituciones TROCAIRE, CIAT, y la UNA por hacer posible su publicación.

Abreviaturas

CARE	Agencia Internacional humanitaria (Cooperative for Assistance and Relief Everywhere)
CECOOPSEMEIN	Central de Cooperativa de Servicios Múltiples de Exportaciones e Importaciones
CABAL. S.A	Grupo Cabal S.A. (Consultoría para el Desarrollo Sostenible)
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical
Crop Wat 4	Programa para irrigación de la FAO
ENEL	Empresa Nicaragüense de Electricidad
ETP	Tasa de Evapotranspiración Potencial
FAO	Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentos
GEI	Gases de efecto Invernadero
INTA	Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria
IPADE-Riesgo	Instituto para la Promoción de la Democracia-Programa Riesgo
IPRA	Proyecto de Investigación Participativa en la Agricultura
IPNI	International Plant Nutrition Institute
ITC	Instituto técnico de Candelaria Honduras
LABSA	Laboratorio de Suelos y Agua (UNA)
LAQUISA	Laboratorios Químicos S.A.
MAGFOR	Ministerio Agropecuario y Forestal
MARENA	Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Nicaragua
MCN-Somoto	Movimiento Comunal Nicaraguense
MIP	Manejo Integrado de Plagas
MIS	Consorcio para el Manejo Integrado de Suelos en CA
MOS	Contenido de Materia Orgánica en los suelos
NuMMas	Nutrient Management Supports System
PIMCHAS	Proyecto Integral para el Manejo de Cuencas Hidrográficas
Red SICTA	Red de innovación tecnológica para fortalecer el Sistema de Integrado Centroamericano de Tecnología Agrícola. (SICTA).
TROCAIRE	Agencia Católica Irlandesa para el Desarrollo
UNA	Universidad Nacional Agraria

Contenido

Presentación.....	ii
Abreviaturas.....	iii
Contenido.....	iv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. INDICADORES LOCALES DE CALIDAD DE SUELOS.....	2
III. INDICADORES DE LA FERTILIDAD FÍSICA DE LOS SUELOS.....	8
3.1 Textura de suelo.....	8
3.2 Densidad aparente (Da) relación peso volumen del suelo.....	9
3.3 Compactación del suelo.....	11
3.4 Color de suelo.....	12
3.5 Relación suelo-agua y calidad de suelos.....	13
3.5.1 Infiltración de agua en el suelo.....	13
3.5.2 Capacidad de campo y punto de marchitez.....	15
3.5.3 Conservación de agua en el suelo.....	15
IV. INDICADORES DE LA FERTILIDAD QUÍMICA DEL SUELO.....	16
4.1 Reacción del suelo (pH).....	16
4.2 Nutrientes esenciales para plantas.....	19
4.2.1 Diagnóstico visual de deficiencia de nutrientes en tejidos foliares.....	23
4.3 La Materia Orgánica del Suelo (MOS).....	27
4.3.1 Métodos de campo para estimar la materia orgánica.....	27
4.3.2. Fertilización orgánica.....	28
V. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE CAMPO Y LABORATORIO.....	29
5.1 Generalidades.....	29
5.2 Ejemplos de cálculo de demanda de nutrientes a partir de resultados de laboratorio....	30
VI. REFERENCIAS.....	37
VII. ANEXOS.....	42

I. INTRODUCCIÓN

Los suelos son sistemas multifuncionales complejos y auto-organizados (Lavelle & Spain, 2001; Barrios, 2007), donde ocurren procesos biológicos, físicos y químicos que les permiten evolucionar. Estos procesos proporcionan numerosos bienes y servicios ecosistémicos, entre los cuales se tienen el suministro de nutrientes para las plantas (Blum et al., 1997), control de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), secuestro de carbono, desintoxicación y protección de las plantas contra las plagas, filtrado, purificación y almacenamiento de agua, entre otros (Lavelle *et al.*, 2006).

Sobre este cuerpo natural descansa la infraestructura humana y es usado como materia prima en muchas actividades. Su constitución ideal está basada en el volumen, y consiste de 45 a 48% de partículas minerales, 2 a 5% de materia orgánica, 25% de aire y 25% de agua. La formación de un centímetro de suelo puede tardar entre 100 y 1000 años, sin embargo, se puede perder en un ciclo de cultivo por el mal manejo.

La fertilidad de suelos consiste en la capacidad de poder suministrar condiciones ambientales y nutrientes necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas. Es una cualidad resultante de la interacción entre las características físicas, químicas y biológicas del mismo; por ejemplo, un suelo puede estar provisto de suficientes elementos minerales, pero si no tiene buenas condiciones físicas, la fertilidad es pobre para las plantas y viceversa. Asimismo, el clima juega un papel importante y determinante; por ejemplo, se puede tener un suelo fértil y si las temperaturas son extremas, la planta puede sufrir aborto floral.

La calidad del suelo se entiende como la capacidad del suelo para funcionar, dentro de un uso de la tierra y ecosistemas delimitados, para mantener una productividad biológica, calidad ambiental y promover la salud de plantas, animales y seres humanos. Esta comprende componentes físicos, químicos y biológicos del suelo y sus interacciones (Doran & Parkin, 1994). En general, un suelo de buena calidad provee bienes y beneficios a través de los servicios que proporcionan los ecosistemas y que el hombre puede recibir por su bienestar (Daily et al., 1997). Estos servicios son muy dependientes de la presencia de fauna y de los procesos biológicos (Lavelle et al., 2006). Un suelo saludable, es aquel que suple satisfactoriamente los requerimientos de nutrimentos y condiciones físico ambientales para que las plantas produzcan sanamente sin mucha ayuda de agroquímicos.

Mientras que un suelo enfermo o degradado es aquel cuya capacidad de producir fue reducida drásticamente por malas prácticas, y requiere de muchos insumos externos para producir lo esperado.

Entre los aspectos relacionados con el mal manejo de los suelos, agricultores(as) de diferentes regiones de Nicaragua mencionan los siguientes: i) Fraccionada asistencia técnica e investigación para el manejo integral de suelos, ii) Degradación de tierras por usos inapropiados en

manejo de suelos, agua y cultivos, iii) Pocas opciones para enfrentar los desafíos del cambio climático y la restauración de los recursos naturales y iv) Muy pocos productores, extensionistas y líderes comunitarios capacitados en el tema de calidad de suelos.

El objetivo de esta Guía es contribuir al manejo adecuado y restauración de los suelos, poniendo a disposición herramientas sencillas de evaluación de la calidad de este recurso, que permitan generar información útil para la toma de decisiones a diferentes escalas para mejorar la efectividad de la asistencia técnica y facilitar el trabajo en campo.

El proceso metodológico para su elaboración incluyó: i) la documentación y análisis de las experiencias en el uso de indicadores de calidad de suelo en la región centroamericana; ii) la consulta a expertos de suelos, del país y de la región; y la iii) validación de la propuesta de guía, por expertos de la Universidad Nacional Agraria y por técnicos del programa agro-alimentario del Ministerio de Agricultura y Ganadería en Pueblo Nuevo, Estelí, Nicaragua.

II. INDICADORES LOCALES DE CALIDAD DE SUELOS

Actualmente, para satisfacer la demanda creciente de alimentos, se requiere de sistemas de prácticas ecoeficientes que permitan estimular la actividad biológica en los suelos y la participación de los agricultores para desarrollar verdaderas estrategias de agricultura sostenible. Los indicadores de calidad de suelos son aplicados exitosamente en procesos de diagnóstico, extensión e investigación participativa, a escala de parcela, finca y paisaje. El propósito de usarlos es fortalecer el proceso de enseñanza-aprendizaje entre la comunidad técnica y los agricultores, así como mejorar el proceso de empoderamiento al introducir o rescatar buenas prácticas agrícolas y agropecuarias, ya que se trata de métodos sencillos para valorar el estado de los suelos en campo, información que se correlaciona con aquella obtenida en el laboratorio.

El Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) ha venido promoviendo el uso de indicadores locales de calidad de suelos, entendidos como una serie de descriptores obtenidos por la observación sistemática y cíclica de los agricultores (as), lo cual se relaciona a una condición de calidad o deterioro del suelo para su uso potencial. Mediante su utilización se puede evaluar la respuesta de un suelo a un uso determinado y establecer un manejo en base a sus limitantes, evitando procesos degradativos.

De acuerdo con Doran & Safley, (1997); Beare *et al.*, (1997), los principales atributos de los indicadores de calidad de suelo, para que sean útiles para una variedad de usuarios y tomadores de decisión son:

- a. Ser fáciles y prácticos de utilizar en condiciones de campo
- b. Ser relativamente precisos y fáciles de interpretar
- c. Ser relativamente económicos
- d. Integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

- e. Reflejar los atributos de sostenibilidad que se quieren medir.
- f. Ser sensitivos a variaciones de clima y manejo.
- g. Ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo (métodos sencillos).
- h. Poder escalonar, ser replicables y fáciles de entender.
- i. Ser sensitivos a los cambios en el suelo que ocurren como resultado de la degradación antropogénica.
- j. Cuando sea posible, ser componentes de una base de datos del suelo ya existente (Doran & Parkin, 1994).

La aplicación de algunos principios de la agroecología, ayuda a fortalecer el análisis integral de los sistemas productivos. Asimismo, es necesario previo a un proceso de intervención asegurar una evaluación histórica de la finca o comunidad, donde los actores locales comparen el pasado y presente del estado de los recursos naturales. Esta acción permite lograr un rescate del conocimiento local y mayor empoderamiento, mediante la utilización de indicadores locales. Un resumen propuesto por Doran & Parkin, 1994, para interpretar los indicadores es presentado en Tabla 1.

Agricultores en la región utilizan indicadores inteligentes de calidad de suelo para su toma de decisiones, entre los más utilizados están: i) los asociados a la presencia de plantas que pueden indicar un estado de calidad (Figura 1), ii) los relacionados a presencia de macro fauna o animalitos en el suelo (Figura 2), y iii) los asociados a propiedades de los suelos y su ubicación en el paisaje (Tabla 1; Figura 3). La coloración y drenaje del suelo, se asocian a potenciales de uso agropecuario. Por ejemplo, la presencia de la planta (*Rauvolfia tetraphylla* L.) conocida como “comida de culebra” se asocia a una fuerte deficiencia de fósforo en el occidente de Nicaragua; y la presencia de (*Sida acuta*), o “escoba lisa” a la ocurrencia de compactación por sobre pastoreo del ganado.

El proceso de diagnóstico, monitoreo y evaluación de una intervención tecnológica empleando indicadores de calidad de suelos, requiere establecer escalas de evaluación para poder interpretar y comparar los mismos. En Nicaragua se ha desarrollado localmente una escala cualitativa del **Uno** al **Tres** (Tabla 2), con la siguiente interpretación: Suelos de calidad **Uno**, indica suelos de buena calidad; **Dos** suelos de calidad regular; y **Tres**, suelos de pobre calidad (ver ejemplo en Tabla 2). Estos criterios son aplicables tanto a la escala de parcela y finca, como a nivel de micro cuenca o paisaje.

Un aspecto importante durante el uso de indicadores locales y/o técnicos, es la correcta selección de sitios de muestreo. Si la escala de trabajo, es a nivel de parcela, se toman muestras de suelos de áreas homogéneas; si es a nivel de comunidad o micro cuenca, lo recomendable es hacer el muestreo mediante transectos a doble cara o laderas, pasando por las áreas ribereñas, para identificar el efecto de los diferentes usos de la tierra en la calidad de los suelos (ver en Figura 3).

Tabla 1. Conjunto de indicadores físicos y químicos propuesto para interpretar y monitorear los cambios que ocurren en el suelo (Doran & Parkin, 1994; Larson & Pierce, 1994).

Propiedad	Relación con la condición y función del suelo	Valores o unidades relevantes ecológicamente, para evaluación
Físicos		
Textura	Retención y transporte de agua y compuestos químicos; erosión del suelo	% de arena, limo y arcilla; pérdida del sitio o posición en el paisaje
Espesor de la capa arable o superficial	Estima la productividad y erosión potencial	Centímetros o metros
Infiltración de agua en el suelo	Potencial de escorrentía superficial, lavado de sales y productividad, infiere áreas de recarga hídrica en cuencas	Minutos por 25.4 mm de agua, y en mm por hora
Densidad aparente (Da)	Infiere problemas de compactación inducido por la labranza y el pisoteo del ganado	En toneladas por metro cúbico y gramos por centímetros cúbicos
Resistencia mecánica del suelo a la penetración	Se reflejan cambios en la compactación de los suelos, o cualquier otra restricción a la penetración de las raíces	Golpes por cada 5 cm de profundidad, y MPa por centímetros de profundidad
Capacidad retención de agua	Relación con la retención de agua, transporte, y erosividad; humedad aprovechable, textura y materia orgánica	%, (cm /cm), cm de humedad aprovechable/30 cm; intensidad de precipitación.
Químicos		
Contenido de materia orgánica en el suelo	Define disponibilidad de nutrientes en el suelo; estabilidad; y potencial de erosión	Porcentaje de materia orgánica, kg de Carbono orgánico y de Nitrógeno por hectárea
pH	Define la actividad química por presencia o ausencia de sales y la actividad biológica	Comparación entre límite superiores e inferior para la actividad vegetal y microbiana; el cálculo es basado en una relación 1:2.5 agua y suelo
Contenido de Nitrógeno, Fósforo y Potasio (N,P,K)	Nutrientes disponibles en el suelo para la planta, pérdida potencial de N; productividad e indicadores de la calidad ambiental.	Las unidades en laboratorio: %, ppm, y meq/100g. En campo se expresan en kg por hectárea; niveles suficientes para el desarrollo de cultivos

 <p>Verdolaga (<i>Portulaca oleracea</i>) Indica buena relación entre MOS y drenaje</p>	 <p>Verdolaga (<i>Portulaca oleracea</i>) Indica buena relación entre MOS y drenaje</p>
 <p>Jalacate (<i>Tithoniarotundifolia, Hemsl. A. Gray</i>) Indica suelo con altos contenidos de MOS, ligeramente altos en fósforo</p>	 <p>Totolquelite (<i>Melanthera SP, Melanthera aspera</i>) Indica buena relación entre MOS y drenaje</p>
 <p>Escoba lisa (<i>Sida acuta</i>), asociada a problemas de compactación.</p>	 <p>Comida de Culebra (<i>Rauvolfia tetraphylla L.</i>) Indica: Deficiencia de fósforo en el suelo.</p>

Figura 1. Ejemplo de plantas indicadoras de calidad de suelos, con contenidos medio y alto de materia orgánica, identificadas por agricultores de la comunidad La China en Sébaco, Nicaragua, 2009.

<p>“Lombriz de tierra” (<i>Lumbricus terrestre. Chao</i>) Indica suelo de buena calidad físico química y biológica. Mientras excava para hacer túneles ingieren partículas de suelo y cualquier resto orgánico. Con ello remueven, airean y enriquecen el suelo al ascender fósforo y potasio del subsuelo y al expulsar sus propios desechos nitrogenados.</p>	
<p>“Termitas del suelo” <i>Coptotermes sp.</i> Indica buena calidad química del suelo; pequeñas colonias construyen nidos, galerías y túneles en el suelo, mejorando su estructura y composición química mediante la ruptura de la superficie de la madera, considerada como especie ingeniero, también vive en el suelo y en la madera podrida.</p>	
<p>“Cien pías” <i>Geophilus sp.</i> Indica buena calidad general del suelo; Depredadores de la hojarasca y vive en la capa superficial del suelo, influencia las comunidades y especies que tienen impacto en la producción de biomasa.</p>	
<p>“Hormiga ganadera” “Galga” <i>Crematogaster sp.</i> Indica una buena calidad biológica del suelo; Abdomen en forma de corazón, utiliza los pulgones o cochinillas para su melaza que segregan para depredar.</p>	

Figura 2. Ejemplo de macro fauna como indicadores de calidad de suelos reconocidos en La Danta–Somotillo y micro cuencas del Río Estelí, en Nicaragua, 2010, 2011. Fuentes: Rousseau, 2011; Romero, Y. H. 2012.

Tabla 2. Criterios locales de calidad de suelo seleccionados en Orocuina-Somoto (2011), para monitoreo de calidad de suelo en ensayos productivos de pastos, hortalizas y granos básicos. Proyecto UNA-TROCAIRE, 2012.

Indicador local de calidad de suelo	Criterios y escala de calidad		
	1 (buena)	2 (regular)	3 (pobre)
Pendiente en arado	De 1 a 8 %	De 8 a 12 %	Mayor de 12%
Pendiente en falda	De 1 a 10%	De 10 a 20%	Mayor de 20%
Profundidad de suelo	Mayor de 30 cm	Entre 20 y 30 cm	Menor de 20 cm
Espesor orgánico	Mayor de 10 cm	Entre 5 y 10 cm	Menor de 5 cm
Textura para maíz y frijol	Intermedia con un poco de arcilla	Con más arcilla que la primera	Pegajosa y jabonosa húmeda, polvosa o muy pesada en seco
Infiltración de agua en el suelo	Rápida Menos de 3 minutos por pulgada de agua.	Moderada por pulgada de agua.	Lenta Más de 6 minutos por pulgada de agua.
Acidez (pH del suelo)	Entre 6 y 6,5	Entre 5 y 6	Mayor de 6.5
Materia Orgánica	Mayor de 4 %	Entre 2 y 4 %	Menor de 2%
Contenido de fósforo (P)	Mayor de 12 ppm	Entre 8 y 12 ppm	Menor de 8 ppm

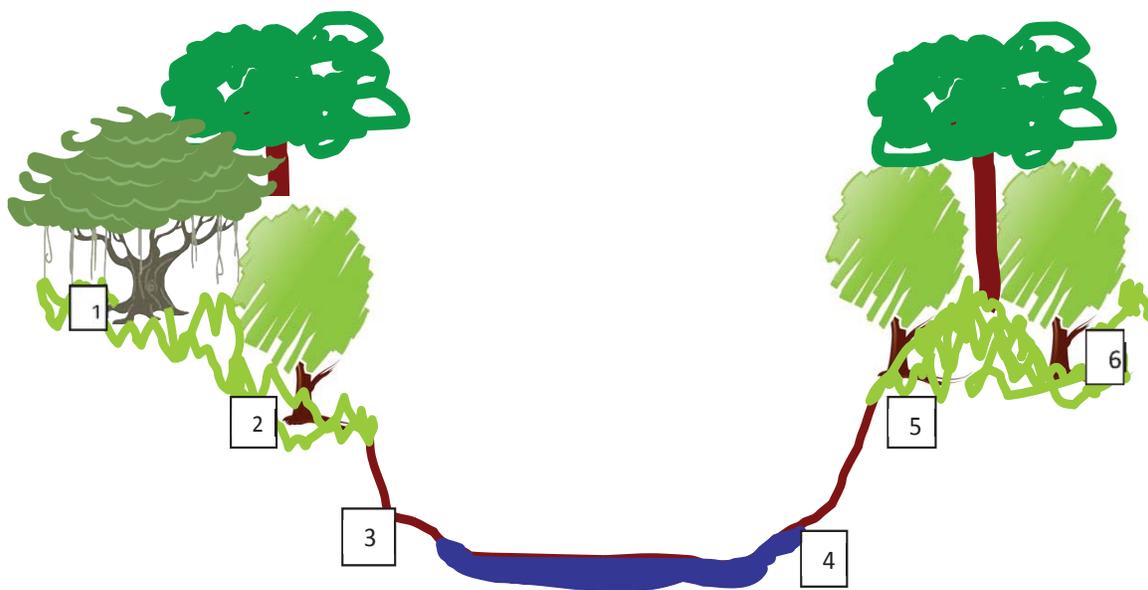


Figura 3. Sistema de muestreo de suelo por transecto, para diagnóstico y monitoreo de calidad de suelos a escala de micro cuenca o paisaje (Informe intermedio CABAL, SA, 2010; para proyecto GEF-NI-1005).

III. INDICADORES DE LA FERTILIDAD FÍSICA DE LOS SUELOS

La capacidad de los suelos para aceptar, mantener y liberar agua es un proceso fundamental para la actividad biológica, la disponibilidad de nutrientes, el control de erosión, la estabilidad de agregados y la movilidad del agua en el suelo. El suelo acepta, retiene y transmite agua a las plantas, así como puede restringir el crecimiento de las raíces. Por ejemplo, la infiltración o movimiento del agua dentro del perfil y el desarrollo radicular, están relacionadas al arreglo de las partículas y poros, a la presencia y estabilidad de agregados, profundidad del suelo superficial, capacidad de retener agua y al estado de compactación por razones de manejo (labranza o sobre pisoteo del ganado) o naturales. Los indicadores más utilizados se describen a continuación:

3.1 Textura de suelo

Es la proporción de arena, limo y arcilla de un suelo, expresada en porcentaje. La clase textural ayuda a inferir la respuesta que puede manifestar el suelo frente a un manejo determinado, tal como la labranza o su comportamiento frente al riego. Esta respuesta está también relacionada a la distribución y tamaños de partículas, la estabilidad de los agregados o terrones y su capacidad de retener agua. En campo, la textura se determina por el método del tacto (Figura 4); en la Tabla 1 se incluye una serie de características, que resultan útiles para estimar la clase textural mediante el tacto.

Arcilla	Limo	Arena
Las partículas de arcilla tienen menos de 0.002 mm de diámetro; son tan pequeñas que únicamente se pueden ver al microscopio de electrones.	El limo se encuentra entre 0.002 y 0.05 mm de diámetro; sólo se puede ver al microscopio. En estado seco el limo se parece a la harina o al talco.	La arena tiene diámetro entre 0.5 y 2 mm, sus partículas se pueden ver a simple vista. Al frotar entre los dedos dan una sensación rasposa.
		
Mojada siempre se siente pegajosa y se puede hacer rollitos de por lo menos 5 cm de largo. Es adhesiva, cohesiva y más plástica que el limo. Retiene mucha agua y demora en secarse.	En húmedo es jabonoso; con él se pueden hacer rollitos, pero se parten fácilmente. No retiene agua por períodos prolongados. Es menos adhesivo que la arcilla y es muy poco plástico.	Se satura con poca cantidad de agua y se seca rápidamente al aire; al secarse se disgrega rápidamente. No presenta adhesividad.

Figura 4. Determinación de la textura de suelo mediante el método del tacto

3.2 Densidad aparente (Da) o relación peso volumen del suelo

El suelo como cuerpo poroso tiene dos densidades; la densidad real que se refiere a la densidad media de sus partículas sólidas, y la densidad aparente, que además de las partículas sólidas toma en cuenta el volumen de poros o espacios vacíos. Esta depende de las densidades de las partículas de suelo (arena, limo, arcilla y materia orgánica) y su arreglo estructural. La densidad aparente (Da) es una propiedad dinámica que varía con la condición estructural del suelo; por tanto, puede ser alterada por los cultivares, pisoteo de animales, tipos de labranzas, maquinaria agrícola y clima, por ejemplo las gotas de lluvia pueden provocar erosión por salpicadura (Arshad *et al.*, 1996). Las capas de suelos compactados tienen altos valores de densidad aparente, lo cual restringe el crecimiento radicular, e inhibe el movimiento de agua y aire a través del suelo (Tabla 4).

La densidad aparente es un dato necesario para convertir los resultados de los análisis de suelos hechos en el laboratorio (ppm, meq/100g, % en peso) a valores de peso volumétrico del suelo. Adicionalmente, estos valores son requeridos para calcular dosis de fertilización, y expresar los contenidos porcentuales de agua a peso gravimétrico, y de porcentaje a volumen volumétrico (Tabla 5), ya que es conocido que la densidad del agua es 1 g/cm³.

La porosidad total (Pt), puede ser obtenida de la densidad aparente (Da), como se expresa en la ecuación 1, la cual es usada para determinar el porcentaje de poros saturados de agua; también se asocia a la actividad microbiana predominante en un suelo.

$$\text{Ec. 1: Porosidad total (\%)} = \left(1 - \frac{D_a}{2.65}\right) \times 100, \text{ donde } D_a \text{ es la densidad aparente}$$

Tabla 3. Relación del tamaño de partículas y la porosidad en el suelo

Clase textural	Densidad aparente (g/cm ³)	Porosidad (%)
Arenosa	1.55	42
Franco arenosa	1.4	48
Franca	1.2	55
Franco limosa	1.15	56
Arcillosa	1.05	60
Agregados de arcilla	1.00	62

Los rangos de las densidades de los minerales oscilan entre 2.5 y 2.8 g/cm³; mientras que la materia orgánica es usualmente menor a 1 g/cm³; mientras que los valores típicos de densidad aparente oscilan entre 1.0 y 1.4 g/cm³, y generalmente incrementan con la profundidad en el perfil del suelo (Arshad *et al.*, 1996). La densidad aparente puede servir como un indicador de compactación y relativa restricción de crecimiento radicular (Tabla 4).

Tabla 4. Relación entre densidad aparente, textura de los suelos y crecimiento radicular

Textura de suelo	Valor de Da ideal (g/cm ³)	Valor de Da que podría afectar el crecimiento radicular (g/cm ³)	Valor de Da que podría restringir el crecimiento radicular (g/cm ³)
Arenosa, franco arenosa	< 1.6	1.69	> 1.8
Franco arenosa, franco	< 1.4	1.63	>1.8
Franco arcillo arenosa, franco, franco arcillosa	< 1.4	1.60	>1.75
Limosa, franco limosa	< 1.3	1.60	>1.75
Franco limosa, franco arcillo limosa	< 1.4	1.55	>1.65
Arcillo arenosa, arcillo limosa, franco arcillosa (35-45 arcilla)	< 1.1	1.49	>1.58
Arcillosa (>45% de arcilla)	< 1.1	1.39	>1.47

Tabla 5. Peso del suelo de una hectárea (10000 m²) y una manzana (7026 m²), para espesores de 10 y 20 cm, y con diferentes densidades aparentes.

Densidad aparente (g/cm ³)	Peso de la hectárea en kg		Peso de la manzana en kg	
	10 cm de espesor	20 cm de espesor	10 cm de espesor	20 cm de espesor
0.8	800000	1,600000	562080	1,124160
0.9	900000	1,800000	632340	1,264680
1.0	1,000000	2,000000	702600	1,405200
1.1	1,1000000	2,200000	762860	1,525720
1.2	1,200000	2,400000	843120	1.686240
1.3	1,300000	2,600000	913380	1,826760
1.4	1,400000	2,800000	983640	1,967280

Nota: Este cálculo se obtiene de multiplicar el espesor (en metros) por el área (hectárea o manzana, en metros) y luego por la densidad aparente. Por ejemplo, (ver línea de color rojo en Tabla 3): 0.2 m (espesor) por 10000 m² (una ha) por 1000 kg/m³ (densidad aparente)= 2000000 kg/ha.

3.3 Compactación del suelo

La compactación afecta el crecimiento de las raíces, así como la disponibilidad de agua y aire en el suelo. Es causada primordialmente por el pisoteo de los animales, uso de equipos agrícolas para el laboreo, tráfico vehicular y humano. En general, existe alta relación entre la resistencia del suelo a la penetración y la compactación (Baver *et al.*, 1972).

La resistencia a la penetración es definida como el trabajo hecho por el suelo para detener el movimiento de un instrumento y el desarrollo radicular. El equipo más utilizado es el penetrómetro de golpe (Figura 5); su principio de funcionamiento está basado en determinar de la cantidad de impactos (energía requerida por unidad de profundidad) necesarios para que la punta del penetrómetro se introduzca en el suelo a una profundidad determinada, (Campbell & Hunter, 1986; Godwin *et al.*, 1991). La escala de interpretación se presenta en Tabla 6.

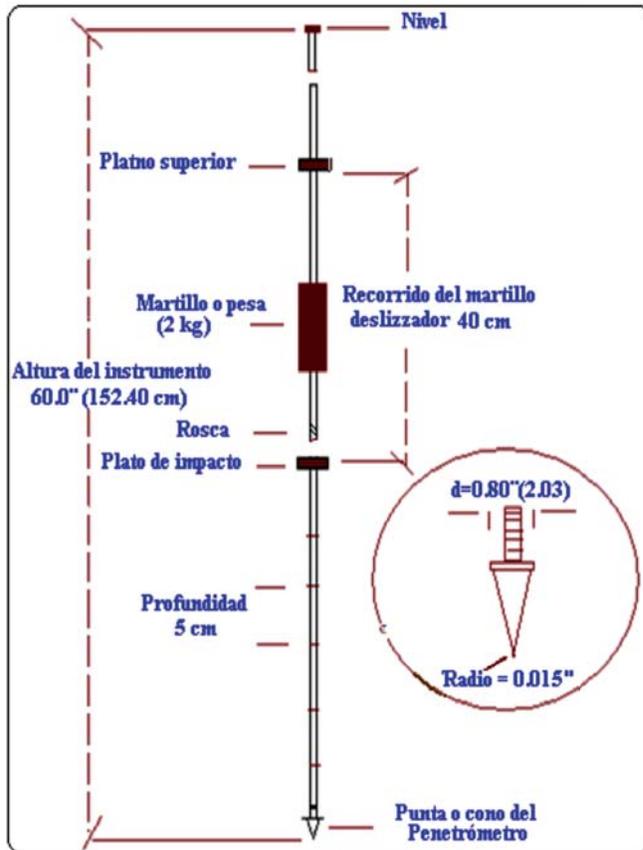
Si no se cuenta con un penetrómetro, la compactación se puede determinar en un cara o corte de la calicata, con dimensiones de un pie de ancho por dos pies de profundidad, picando con una navaja de arriba hacia abajo para identificar el espesor compactado.

El penetrómetro de bolsillo, es otro equipo que se puede utilizar para suelos de texturas livianas e intermedias, el cual está comercialmente disponible y su uso es descrito por Bradford (1986). La interpretación de los resultados se hace mediante las clases de resistencia a la penetración descritas en la Tabla 6.

Tabla 6. Clases de resistencia a la penetración

Clases	Número de golpes para 30 cm espesor	Resistencia mecánica (Joule)	Resistencia a la penetración (MPa)
Extremadamente baja	1	7.84	<0.01
Muy baja	2	15.68	- 0.1
Baja	8	62.72	0.1 – 1
Moderada	24	188.16	1 – 2
Alta	34	265.56	2 – 4
Muy alta	50	392	4 – 8
Extremadamente alta	>50	> 392	>8

Fuente: Adaptado de Soil Survey Staff, (2009); Arshad, Lowery & Grossman, (1996)



$$\text{Ec. 2: } R_s = \frac{W_s}{P_d}$$

$$\text{Ec. 3: } V = (1/2) mv^2, \\ V=2.8 \text{ m/s}$$

$$\text{Ec. 4: } W_s = \frac{1}{2} mv^2$$

$$\text{KE} = W_s = 7.84 \text{ J}$$

Dónde:

R_s = Resistencia del suelo (N)

W_s = Trabajo realizado por el suelo (J)

P_d = Distancia que recorre el penetrómetro (m)

V = Velocidad (m/s)

KE = Energía cinética

Figura 5. Penetrómetro de golpe, y las ecuaciones para transformar el número de golpes a unidades de energía (Joul).

3.4 Color de suelo

El color es una propiedad muy utilizada por ser fácilmente observable, debido a que de ella se pueden deducir rasgos importantes. Se determina mediante su comparación con los colores estándar establecidos en la Tabla de colores Munsell. Los colores más comunes son:

- Color oscuro o negro: normalmente debido a la materia orgánica (cuanto más oscuro es el horizonte superficial más contenido en materia orgánica se le supone. Cuando está localizado en nódulos y películas se le atribuye a los compuestos de hierro y, sobre todo, de manganeso.
- Color blancuzco: debido a los carbonatos o al yeso o sales más solubles, que pueden estar presentes en el suelo.
- Colores pardos amarillentos: debido a óxidos de hierro hidratados y unidos a la arcilla y a la materia orgánica.
- Colores rojos: óxidos férricos tipo hematitas, comunes en nuestro medio donde ocurre periodos de intensa y larga sequía.

- Colores grises verdosos/azulados: se atribuyen a compuestos ferrosos o arcillas saturadas con Fe^{++} , en condiciones de suelos saturados con agua.

El color puede ser homogéneo en un horizonte, pero también se pueden presentar combinaciones o manchas.

3.5 Relación suelo-agua y calidad de suelos.

El agua juega un rol importante en los procesos de formación y evolución de los suelos con el tiempo. La interacción suelo y agua es compleja, cuando el agua se mueve a través del suelo desplaza elementos químicos y partículas finas a los horizontes inferiores del perfil, puede ser retenida por medio de fuerzas adhesivas, proceso fundamental para soportar la actividad biológica en el suelo y el crecimiento de las plantas. Cuando el suelo se satura de agua, ocurre el desplazamiento del aire provocando que muchos organismos incluyendo las plantas sufren stress por la deficiencia de oxígeno. Tanto las plantas como los micro organismos requieren óptimos niveles de agua y oxígeno; en este sentido, la relación agua y aire es crítica. Linn & Doran, (1984) notaron que la actividad microbiana bajo diferentes sistemas de labranza, parece estar cercanamente relacionada al porcentaje de poros llenos o saturados (60%), por ende la aireación es muy importante.

3.5.1 Infiltración de agua en el suelo

La infiltración es el proceso de penetración del agua en el suelo; la velocidad de la misma depende del tipo de suelo, la estructura o grado de agregación y del contenido de agua en el mismo. Dado que ésta es afectada por el contenido de humedad al momento del muestreo, es importante hacerlo en condiciones similares cuando se comparan velocidades de infiltración de diferentes sitios.

La interpretación de los resultados de una prueba de infiltración de agua en el suelo está asociada a los siguientes parámetros: i) tipo de textura o material en la sub superficie del suelo (Tabla 7) potencial de escorrentía superficial en una determinada área (Tabla 8). Este último requiere conocer la frecuencia de las lluvias con intensidades mayores a las tasas de infiltración ocurren en la zona.

Tabla 7. Tasas de infiltración estable por grupos texturales. Fuente: Hillel, 1980, Adaptado por Mendoza 2013, no publicado).

Tipo de textura	Tasa de Infiltración estable (pul/h)	Tasa de Infiltración (min/pul)
De arenosa a franco arenosa	> 6	< 10
franca	6 - 2	10 - 30
Franco arcillo limosa	2 - 0.8	30 - 75
Franco limosa	0.8 - 0.4	75 - 150
Suelos arcillosos	< 0.4	> 150

Tabla 8. Clases y tasas de infiltración y su relación con el potencial de erosión de suelos

Tasas de infiltración (min/pul)	Tasa de infiltración (pul/h)	Tasa de infiltración mm/h	Clase de infiltración	Tasa de erosión potencial	Potencial de escorrentía superficial
<3	20	508	Muy rápida	1 mm	Mínima
3-10	6 a 20	152 a 508	Rápida	4 mm	Leve
10 a 30	2 a 6	50 a 152	Moderadamente rápida	10 mm	Moderada
30 a 100	0.6 a 2	15 a 50	Moderada	20 mm	Severa
100 a 300	0.2 a 0.6	5 a 15	Moderadamente lenta	30 mm	Muy severa
300 a 1000	0.06 a 0.2	1.5 a 5	Lenta	40 mm	Alta
1000 a 40000	0.0015 a 0.06	0.03 a 1.5	Muy lenta	50 mm	Muy alta
40000	< 0.0015	<0.04	Impermeable	+50 mm	Extremadamente alto

Fuente: Hillel (1980), FAO, 1984.

El método del cilindro es el más utilizado para determinar la velocidad de infiltración; para ello se requiere de conocer volumen del cilindro, el cual se calcula mediante las ecuaciones 5, y 6. Para calcular la lámina de una pulgada de agua a infiltrar (Figura 6), en condición seca, se requiere de dos pruebas de infiltración: la primera lámina humedece el suelo y la segunda brinda el dato de infiltración estable. En condiciones de suelo húmedo (época lluviosa), basta con una sola prueba. La mejor manera de determinar la velocidad de infiltración es cuando el suelo está cerca o a capacidad de campo, lo que usualmente ocurre entre 12 a 48 horas después que el suelo ha sido saturado de agua.

La mejor manera de determinar la velocidad de infiltración es cuando el suelo está cerca o a capacidad de campo, lo que usualmente ocurre entre 12 a 48 horas después que el suelo ha sido saturado de agua.



$$\text{Ec. 5 } A_c = \pi * r^2$$

$$\text{Ec. 6 } V = A_c * H,$$

Dónde:

A_c = Área del cilindro,
 π = 3.1416

r = Radio del cilindro (D/2)

V = Volumen del cilindro (cm³),

H = Altura lámina de agua (2.54 cm)

Figura 6. Kit de infiltración de agua en el suelo y ecuaciones para determinar volumen de agua a infiltrar.

3.5.2 Capacidad de campo y punto de marchitez

La capacidad de campo o agua aprovechable es la cantidad de agua retenida por el suelo después de haber sido saturado mediante riego o lluvia intensa. Generalmente el suelo se drena de 12 a 48 horas, dependiendo principalmente del tipo de textura; por ejemplo, los suelos de texturas francas o medias toman 12 horas para drenarse, pero los arcillosos o pesados toman 48 horas.

La capacidad de campo puede ser utilizada como un sinónimo de retención de humedad, y depende básicamente de los contenidos de materia orgánica del suelo, densidad aparente, textura y la posición en el relieve. Al incrementar los contenidos de materia orgánica en los suelos (MOS), se mejora la agregación y se desarrollan más macro poros, resultado un incremento en la porosidad y la retención de agua por el suelo.

En el laboratorio la capacidad de campo se determina en ollas de presión en las cuales se someten las muestras de suelos a tensiones de 10 a 33 kPa; mientras que para determinar el punto de marchitez permanente, se someten a tensiones de 1500 kPa. El punto de marchitez permanente, es el nivel de humedad por debajo del punto requerido de agua por la planta para realizar su transpiración. Ambos indicadores son necesarios para establecer la demanda y el calendario de riego en cultivos.

3.5.3 Conservación de agua en el suelo

En esta guía la conservación del agua se refiere a las medidas para almacenar este líquido dentro del sistema suelo, lo cual permite incrementar la cantidad de agua en los acuíferos, manantiales y ríos; esto se ve favorecido por prácticas que incrementan las tasas de infiltración de agua en los suelos, tales como el aumento de la cobertura vegetal y las prácticas de conservación de suelos en las zonas de recarga. La manera más eficiente de evaluar los flujos de agua en un sistema, es realizando balances hídricos, donde la humedad del suelo, la precipitación, la escorrentía y los caudales de aguas sub superficiales se tienen que monitorear.

El monitoreo de la humedad del suelo se realiza determinando la humedad en una muestra de suelo (Ecuación 7). El muestreo se puede realizar con un cilindro de área o volumen conocido, el mismo utilizado para determinar densidad aparente. Los materiales requeridos son: un cilindro, un palín para extraer el cilindro una vez enterrado, bolsas seguras para depositar la muestra de suelo y un horno para su secado.

$$\text{Ec. 7. } H = \left[\frac{\text{PSH} - \text{PSS}}{\text{PSS}} \right] \times 100, \text{ donde PSH: peso de suelo húmedo y PSS: peso de suelo seco.}$$

Es importante mencionar que se requiere contar con pluviómetros, en fincas ubicadas en diferentes partes de la micro cuenca, para cuantificar el agua de lluvia caída; el registro se realiza diariamente a las 7 am. El pluviómetro debe instalarse cerca de la vivienda, en un área despejada de árboles u otras barreras, y a una altura libre 150 cm o sea de la boca de captación a la superficie del suelo.

IV. INDICADORES DE LA FERTILIDAD QUÍMICA DEL SUELO

La capacidad de los suelos para aceptar, mantener y liberar energía es un proceso fundamental para los umbrales biológicos y la actividad química de los suelos, la disponibilidad de nutrientes y la productividad de los ecosistemas. La fertilidad química se refiere a la capacidad que tiene el suelo de proveer nutrientes esenciales a las plantas; está relacionada a la disponibilidad de nutrientes esenciales, factores ambientales y sociales relacionado al manejo. Los indicadores más usados para evaluar se detallan a continuación:

4.1 Reacción del suelo (pH)

El pH del suelo definido como el logaritmo inverso de la actividad de iones hidrógeno en la solución del suelo, es una propiedad que tiene influencia directa e indirecta en procesos químicos y biológicos, disponibilidad de nutrientes y en la actividad microbiana. El rango de pH en los suelos oscila entre 4 y 10; el laboratorio de suelos de la UNA usa la clasificación propuesta por Quintana *et al.*, 1983. (Tabla 9).

En la práctica, el cambio de una unidad de pH representa un cambio de diez veces la cantidad de acidez o basicidad, es decir un suelo con pH 6 tiene 10 veces más H⁺ activo que un suelo con pH 7. Esto significa que la necesidad de encalar aumenta en forma muy rápida a medida que el pH baja. En los rangos extremos de pH aumenta la disponibilidad de ciertos elementos (Figura 8), los cuales llegan a ser perjudiciales para las plantas y micro organismos.

El rango de pH de los suelos oscila entre 5 y 7 (Figura 7); el óptimo para la mayoría de cultivos oscila entre 6 y 7., mientras que para la mayoría de microorganismos el rango óptimo oscila entre 5 y 8 (Tabla 10; Figura 8). En este sentido, el pH puede ser un importante parámetro para la relativa predominancia y actividad de diferentes grupos de microorganismos asociados a procesos clave como el reciclaje de nutrientes; por ejemplo, la nitrificación, desnitrificación, está determinado por la presencia de ciertos tipos de bacterias.

Tabla 9. Rangos de pH y su clasificación para Nicaragua (Fuente: Quintana, et al., 1983)

Rango de pH (H ₂ O)	Clasificación
< 4.5	Extremadamente ácido
4.6 – 5.2	Muy fuertemente ácido
5.2 – 5.6	Fuertemente ácido
5.6 – 6.2	Medianamente ácido
6.2 – 6.6	Ligeramente ácido
6.6 – 6.8	Muy ligeramente ácido
6.8 – 7.2	Neutro
7.2 – 7.4	Muy ligeramente alcalino
7.4 – 7.8	Ligeramente alcalino
7.8 – 8.4	Medianamente alcalino
8.4 - 8.8	Fuertemente alcalino
8.8 – 9.4	Muy frecuentemente alcalino
> 9.4	Extremadamente alcalino

	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Óptimo para la mayoría de cultivos					■	■			
Suelos con mal drenaje y contienen sulfuro	■	■	■						
Suelos húmedos forestales del Río San Juan				■	■				
Suelos con pasturas en áreas sub húmedos				■	■				
Suelos con pasturas en áreas semiáridos					■	■	■		
Suelos volcánicos del Pacífico de Nicaragua					■	■	■		
Suelos de altura con cafetales en Apanás, Jinotega				■	■				
Suelos que contienen exceso de sales en forma de Ca ⁺⁺							■		
Suelos que contienen exceso de sales en forma de Na ⁺							■	■	■

Figura 7. Rangos de pH en suelos tropicales de Nicaragua, según registros del Laboratorio de Suelos y Agua de la UNA y LAQUISA, 2000-2010 (no publicados).

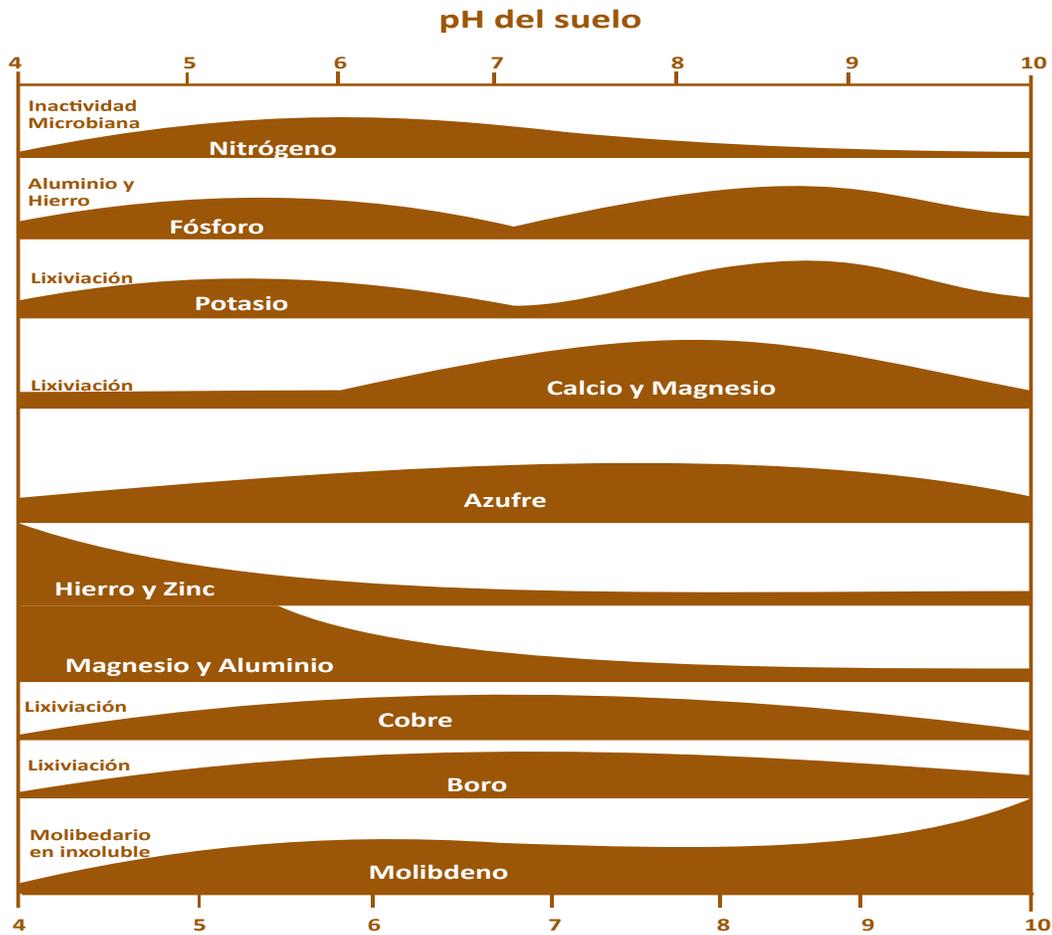


Figura 8. Disponibilidad de nutrientes para las plantas en relación con el pH (Troeh & Thompson, 1993).

Tabla 10. Valores mínimos, máximos y óptimos de pH para diferentes grupos de microorganismos y procesos bioquímicos (después de Paul & Clark, 1989; Bender & Conrad, 1995; Killham, 1994)

Grupo-Proceso	Rango	Optimo
Bacterias:	5 - 9	7
Nitrificación-desnitrificación	6 - 8	6.5 – 8
NH ₃ , inhibición de NO ₂ Oxidación	> 8	-
S-Oxidante	1 – 8	2 – 6
CH ₄ -Oxidante	4 – 9	6.6 – 7.5
Actinomicetos	6.5 – 9.5	8
Hongos	2 – 7	5
Bacteria verde azules	6 – 9	>7
Protozoos	5 - 9	7

4.2 Nutrientes esenciales para plantas

Las plantas obtienen del suelo al menos 13 elementos minerales, clasificados de la siguiente manera en función de las cantidades requeridas:

- Macronutrientes primarios: Nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K)
- Macronutrientes secundarios: Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Azufre (S).
- Micronutrientes u oligoelementos: Hierro (Fe), Zinc (Zn), Manganeso (Mn), Boro (B), Cobre (Cu), Molibdeno (Mo), Cloro (Cl), los cuales se requieren en pequeñísimas cantidades.

Conocer el contenido de nutrientes en los suelos es importante para predecir la productividad de los cultivos; esta es una información clave para realizar un plan de fertilización, que indique las dosis apropiadas desde el punto de vista productivo y ambiental. El principal desafío para los agricultores es mantener los niveles de nutrientes en rangos deseables para optimizar el crecimiento de las plantas, esto implica contar un plan de fertilización adecuada para evitar contaminación ambiental. En esta guía solo se abordarán los macronutrientes esenciales (NPK), dada su relevancia en la agricultura.

El nitrógeno (N) es un nutriente requerido en grandes cantidades por las plantas, en vista que ayuda al crecimiento y a mejorar las cosechas; aunque se encuentra en grandes cantidades en el aire (en forma gaseosa), en el suelo su disponibilidad es baja y depende principalmente de la descomposición de la materia orgánica. Su deficiencia es reconocida por los productores, cuando dicen que la tierra está cansada o agotada. Las plantas lo toman en forma de NH_4^+ ó NO_3^- .

El cálculo del contenido de este nutriente en el suelo inicia multiplicando el peso de la hectárea a una profundidad determinada (ver ejemplo en la Tabla 5) por el porcentaje de MOS (Tabla 11), dividido entre 100 para que el resultado quede expresado en kg/ha. De esa cantidad se determina el 5%, que corresponde al nitrógeno total contenido en la materia orgánica; a este resultado se le aplica 2 % que representa la tasa de mineralización promedia en condiciones tropicales, el resultado obtenido es la cantidad de nitrógeno disponible para las plantas (Tabla 11).

Otra forma de determinar el contenido de N es multiplicar el peso de suelo (correspondiente a un espesor y D_a determinada) por el contenido porcentual de materia orgánica y luego se divide el resultado entre 20 para obtener el nitrógeno total; este dato se multiplica por 0.02, que es la porción de nitrógeno disponible anualmente (Tabla 12). Un ejemplo se observa en Tabla 12, en fila resaltada en negrilla; una hectárea de suelo a 20 cm de profundidad con D_a de 1g/cm^3 tiene un peso de 2000000 kg/ha (peso suelo), que multiplicado por 0.04 (% de MOS) nos da 80000 kg de MOS, este dato dividido entre 20 indica el nitrógeno total (5 %), luego éste se multiplica por 0.02 (2%) y el resultado de 80 kg corresponde al nitrógeno disponible.

Tabla 11. Cálculo del contenido de materia orgánica (MOS), nitrógeno total y nitrógeno disponible en kg/ha para un contenido de 4% de materia orgánica, para diferentes densidades aparentes y espesores de suelos de 10 y 20 cm.

Densidad aparente (g/cm ³)	Cálculo para un espesor de 10 cm en (kg/ha)			Cálculo para un espesor de 20 cm en (kg/ha)		
	Materia orgánica	Nitrógeno Total	Nitrógeno disponible	Materia orgánica	Nitrógeno Total	Nitrógeno disponible
0.8	32000	1600	32	64000	3200	64
0.9	36000	1800	36	72000	3600	72
1.0	40000	2000	40	80000	4000	80
1.1	44000	2200	44	88000	4400	88
1.2	48000	2400	48	96000	4800	96
1.3	52000	2600	52	104000	5200	104

El Fósforo (P) es un elemento mineral requerido en grandes cantidades por las plantas para su crecimiento y desarrollo; las plantas lo toman en forma de HPO_4^{2-} y H_2PO_4^- . Este elemento no es abundante en el suelo, ni se encuentra en formas disponibles para las plantas; se dice que en la naturaleza, solo el 2 % de fósforo forma parte de las rocas, mientras que el 98% proviene de la materia orgánica. La disponibilidad de este elemento depende del tipo de suelo; por ejemplo, en suelos de origen volcánico el P puede estar “fijado” en los minerales del suelo y por tanto no está disponible para las plantas. El método que utiliza el laboratorio de suelos de la UNA para determinar el contenido de P disponible, es Olsen *et al.*, (1954); y los niveles críticos de este elemento para suelo de Nicaragua, es de 12 ppm (Quintana *et al.*, 1992).

Para calcular las dosis de fósforo a aplicar (Tabla 12), primeramente se convierte el dato dado en partes por millón (ppm) a kilogramos por hectárea. Un microgramo por gramo de suelo ($\mu\text{g/g}$) o ppm, se refiere a la millonésima parte de un gramo del nutriente contenida en un gramo de suelo; es decir, que en una hectárea de suelo a 20 cm de profundidad cuyo peso es de 2000000 de kg, un resultado de laboratorio de 1 ppm de P equivale a 2 kg de P por hectárea, ya que por cada millón de kg de suelos hay 1 kg de P (Tabla 13). El dato obtenido corresponde a P elemental, luego este se multiplica por 2.29 para convertirlo en P_2O_5 , que es como viene en los fertilizantes comerciales.

Tabla 12. Cálculo del contenido de fósforo en forma elemental y P₂O₅ en kg por hectárea, a partir de un resultado de laboratorio de 12 ppm, para diferentes profundidades de suelos y densidad aparente.

Densidad aparente (g/cm ³)	a 10 cm de espesor		a 20 cm de espesor	
	12 ppm P equivale a... kg/ha de P elemental	12 ppm P equivale a... kg/ha de P ₂ O ₅	12 ppm P equivale a... kg/ha de P elemental	12 ppm de P equivale... a kg/ha de P ₂ O ₅
0.8	9.6	21.98	19.2	43.96
0.9	10.8	24.73	21.6	49.46
1.0	10.0	27.48	24.0	54.96
1.1	13,2	30.22	26.4	60.45
1.2	14.4	32.97	28.8	65.95
1.3	15.6	35.72	31.2	71.44

Ejemplo: En la línea 3 los valores que aparecen en negrilla se obtiene de la siguiente forma: 2000000000 g/ha (peso suelo) * 12 (ppm de P ó µg/g) = 24000000000 µg, esto se divide entre 1000000 (para convertirlo g) = 24000g, luego se divide entre 1000 (para convertirlo a kg) = 24 kg de P elemental. Finalmente se multiplica por 2.29 (para convertir el P elemental a P₂O₅) = 54.96 kg/ha de P₂O₅.

El Potasio (K) es un macro nutriente esencial para la calidad de los productos de las plantas; ayuda a la formación de tallos fuertes y vigorosos, a la formación de azúcares almidones y aceites, protege a las plantas de enfermedades, y mejora la calidad de las cosechas. Se encuentra en mayor cantidad en suelos volcánicos de la región del Pacífico y Central de Nicaragua. Los sistemas radiculares de las plantas lo absorben en forma de K₂O. Cultivos tales como el banano, el tomate y la papa requieren más potasio que cualquier otro nutriente mineral. El método utilizado por el laboratorio de suelos de la UNA para determinar el contenido de K disponible, es Olsen *et al.*, (1954); estudios de Quintana *et al.*, (1992) indican que el nivel crítico de este elemento en suelos de Nicaragua es menor a 0.3 meq por 100 g de suelo, determinado mediante Acetato de NH₄⁺ pH7 1N.

Para calcular la dosis de fertilización de este elemento a partir de resultados de laboratorio, primeramente se tiene que convertir las unidades expresadas en meq/100 ml suelo) a kilogramos por hectárea; la unidad meq/100 ml expresa la relación entre el peso atómico del nutriente especificado en miligramo (mg), contenido en 100 ml o g de suelo. Esta conversión implica conocer el peso del espesor de suelo a fertilizar (Tabla 13) y el peso atómico del K (39 mg), para llegar a obtener el resultado en kg/ha (Tabla 13); el resultado obtenido en forma de potasio elemental, se multiplica por 1.2 para convertirlo en K₂O (forma en que viene en los fertilizantes comerciales).

Tabla 13. Cálculo del contenido de Potasio elemental y en forma de K₂O en kg por hectárea, a partir de 0.3 meq/100g de suelo, para diferentes densidades aparentes y espesores de 10 y 20 cm

Densidad aparente (g/cm ³)	A 10 cm de espesor		A 20 cm de espesor	
	Potasio elemental kg/ha de K	Potasio en forma de K ₂ O en kg/ha	Potasio elemental kg/ha de K	Potasio en forma de K ₂ O en kg/ha
0.8	93.6	112.32	187.2	264.64
0.9	100.3	120.36	200.6	240.72
1.0	117	140.4	234	280.8
1.1	128.7	154.44	257.4	308.88
1.2	140.4	168.48	280.8	336.96
1.3	152.1	182.52	304.2	365.04
1.4	163.8	196.56	327.6	393.12

Ejemplo: el dato resaltado en negrilla en la línea 3 se obtuvo al multiplicar 2000000000 g/ha (peso suelo) * 0.30 meq/100g = 6000000 meq de K * 39 mg/meq (valencia del K) = 234000000 mg; esto se divide entre 1000000 (para convertirlo a kg) = 234 kg de K/ha. Finalmente, el resultado 234 kg de K/ha * 1.2 (para convertirlo a K₂O) = 280.8 kg/ha K₂O.

El Calcio (Ca) es requerido en mayor proporción por las plantas dicotiledóneas que las monocotiledóneas. El contenido en la materia seca oscilan entre 0.5 - 2 % y de 0.15 -0.5 %, respectivamente. Este elemento esencial, se almacena en los tejidos como pectato de calcio, siendo el mayor constituyente de la laminilla media. Participa en la elongación y división celular, permeabilidad de las membranas y activación de algunas enzimas críticas para el desarrollo (Brady & Weil, 2002).

Asimismo, el Ca juega un papel fundamental en la estructura del suelo, siendo el catión que predomina en el complejo adsorbente de suelos no ácidos o de aquellos donde el aluminio es el catión predominante. En suelos ácidos, la recuperación de niveles adecuados de Ca se realiza mediante la práctica de encalado, que eleva el contenido de calcio intercambiable en las partículas coloidales. El método utilizado por LABSA-UNA para determinar su disponibilidad en el suelo, es Acetato de amonio 1 N pH 7. Las fuentes de este nutriente se encuentran en los minerales ricos en carbonatos de calcio: la calcita (CaCO₃), y la dolomita (Ca Mg (C₂O₆)).

El Magnesio (Mg) en las plantas se encuentra en cantidades menores a las del Ca (0.15-0.75% de materia seca). Este nutriente forma parte de la molécula de clorofila, por lo que se encuentra íntimamente involucrado en la fotosíntesis; además, participa en la síntesis de aceites y proteínas, y la actividad de enzimática del metabolismo energético.

Es más común la deficiencia de Mg que la de Ca, aun a niveles de pH apropiados. El síntoma de deficiencia más característico se ve como clorosis internerval en las hojas viejas (Figura 11), ya que a diferencia del calcio es un elemento móvil en la planta. Es muy común la deficiencia de Mg, en suelos arenosos o suelos de baja CIC. El método utilizado por LABSA-UNA para determinar su disponibilidad en el suelo, es Acetato de amonio 1 N pH 7. La fuente principal de Mg es la Dolomita ($\text{Ca Mg (C}_2\text{O}_6$).

El Azufre (S) es otro elemento esencial para el desarrollo de las plantas. Es un componente básico de las proteínas, por lo tanto, deficiencias del mismo se traducen en inhibición de la síntesis proteica. La fuente de origen más importante está constituida por los sulfuros de metales contenidos en las rocas plutónicas, las que al sufrir procesos de meteorización se oxidan y liberan sulfatos.

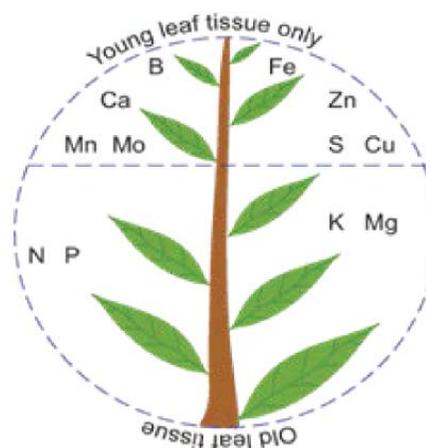
Hay plantas en las que se encuentra en menor o igual concentración que el fósforo, tal es el caso de la papa, frijol y maíz. Las plantas absorben sulfatos, algunos aminoácidos y a veces SO_2 atmosférico por difusión gaseosa a través de las hojas, sintetizando proteínas y otros compuestos azufrados.

El contenido de azufre en los suelos oscila entre 0,02 y 0,2%. No obstante, en suelos orgánicos se pueden presentar contenidos de hasta 1% de S; contenidos elevados también se pueden encontrar en suelos salinos de regiones áridas y en suelos calcáreos, donde los sulfatos de calcio aparecen mezclados con los carbonatos. En los horizontes superficiales se encuentran altos valores de S orgánico y bajos de sulfatos, ya que se acumulan en el subsuelo. La fuente principal de este elemento es el yeso ($\text{SO}_4 \text{ Ca.2H}_2\text{O}$). El método usado en el LABSA para determinar su disponibilidad, es el método del doble ácido.

4.2.1 Diagnóstico visual de deficiencia de nutrientes en tejidos foliares

El Instituto Internacional para la Nutrición de Plantas (IPNI) brinda una colección extensa de imágenes de tejidos vegetales de cultivos, con deficiencias de nutrientes, tomadas de parcelas experimentales y campos de cultivos en diferentes partes del mundo. Esta colección facilita identificar dichas deficiencias en campo y a partir de ello corregir problemas de fertilidad.

En la Figura 9 se muestra un mapa general de la localización de nutrientes en hojas jóvenes y viejas de una planta. Las sintomatologías de deficiencia de elementos mayores se presentan en la Figura 10, y para los elementos secundarios y micronutrientes se presentan en las Figuras 11 y 12.



Sin embargo, hay que tener presente que las decoloraciones en las hojas de cultivos y daños en frutos suele ser confuso, ya que pueden estar asociados a otras causas, tales como déficit de agua, altas temperaturas o enfermedades. Por ejemplo, un daño en el fruto de tomate podría estar asociado a altas temperaturas que provoca alta evaporación del suelo o daños por insectos. En este caso el problema no se resuelve con aplicación de ciertos nutrientes, sino usando plástico, mulch para reducir la evaporación del suelo o usar micro túneles si el problema es ocasionado por ataque de insectos.

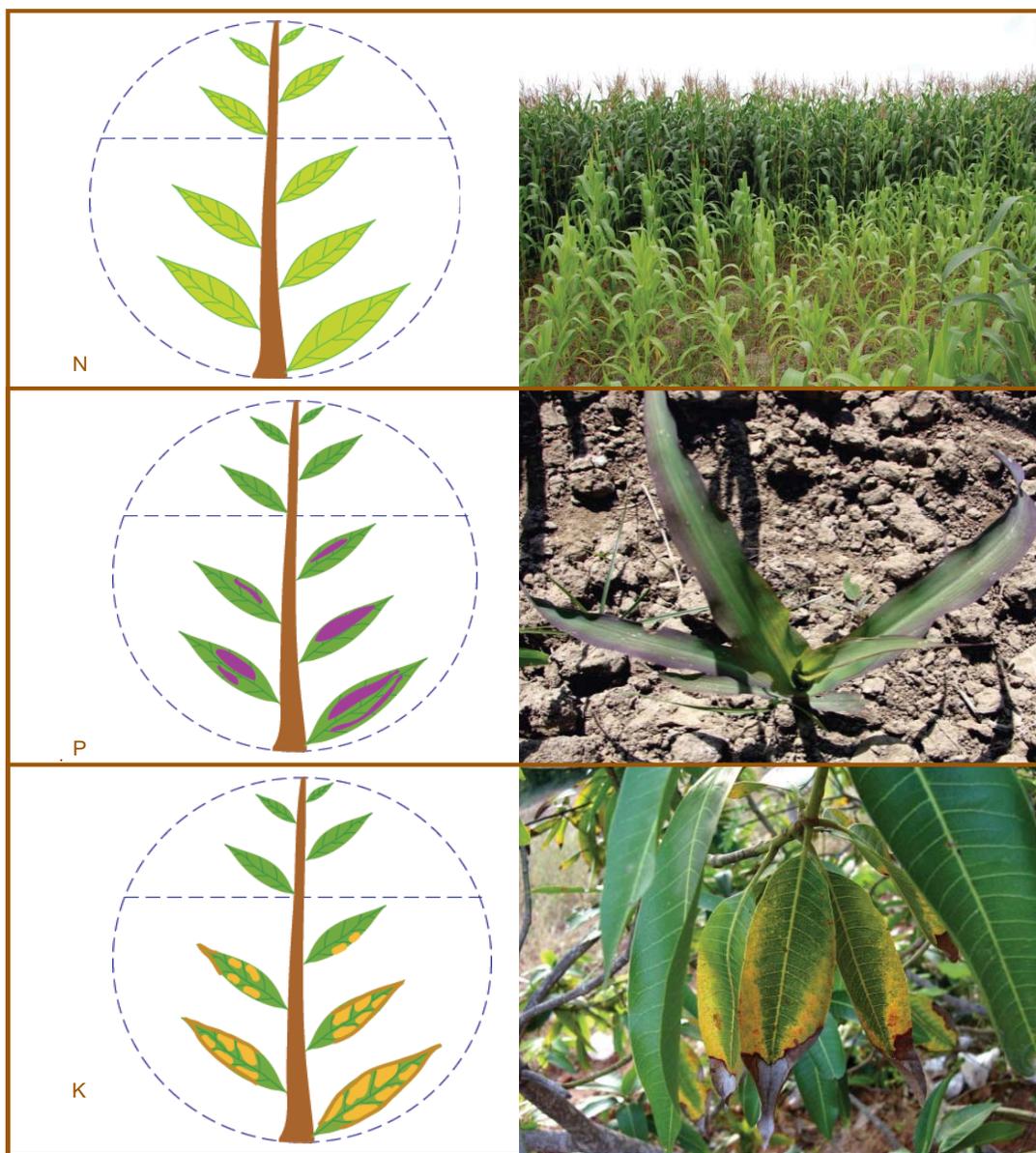


Figura 10. Localización de síntomas de deficiencia de nutrientes primarios nitrógeno (N), fósforo (), y potasio (K) en tejidos foliares de plantas. Fuente: IPNI, 2011

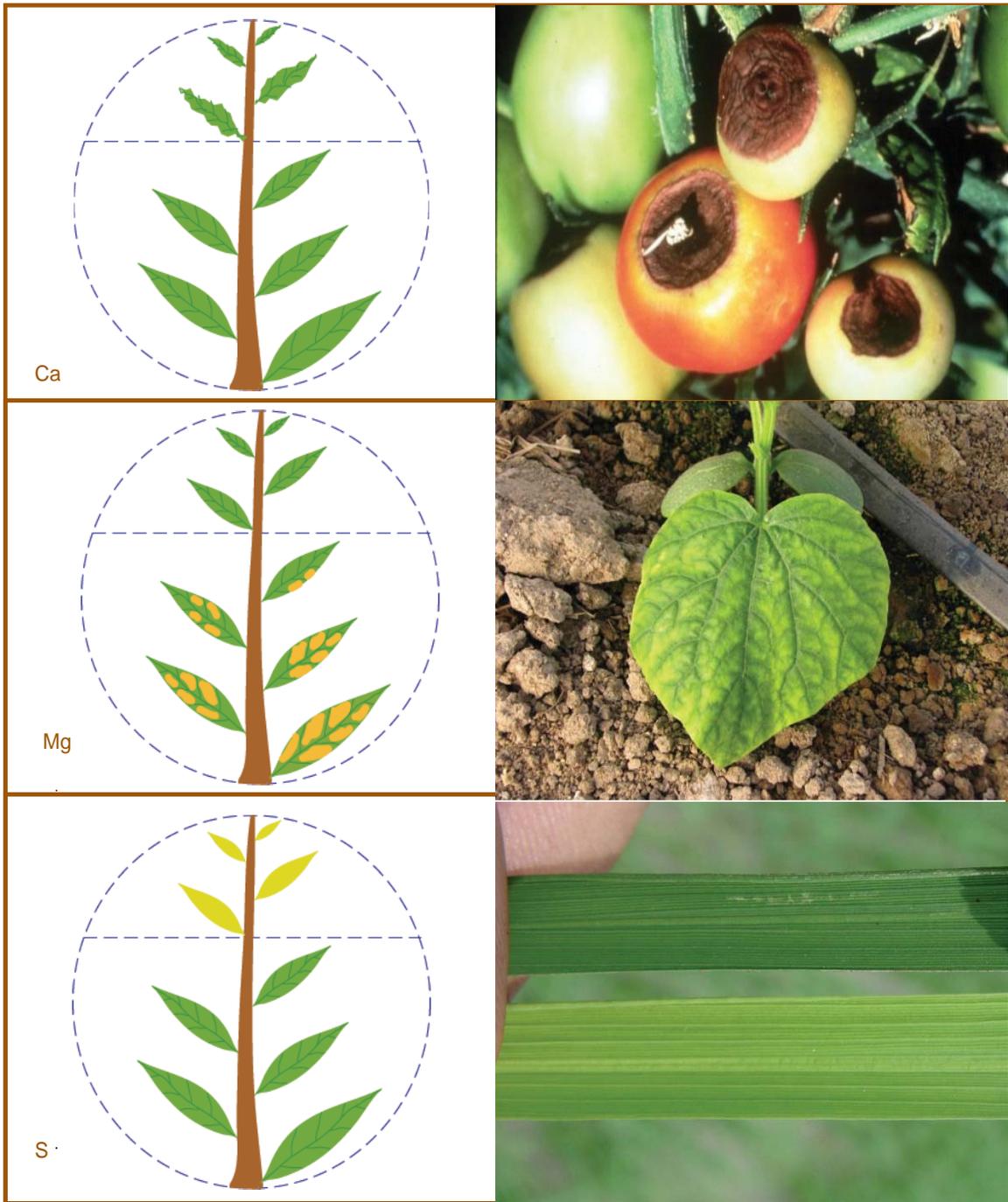


Figura 11. Localización de deficiencia de nutrientes secundarios, calcio (Ca), magnesio (Mg), y azufre (S) en tejidos foliares de plantas. Fuente: IPNI, 2011

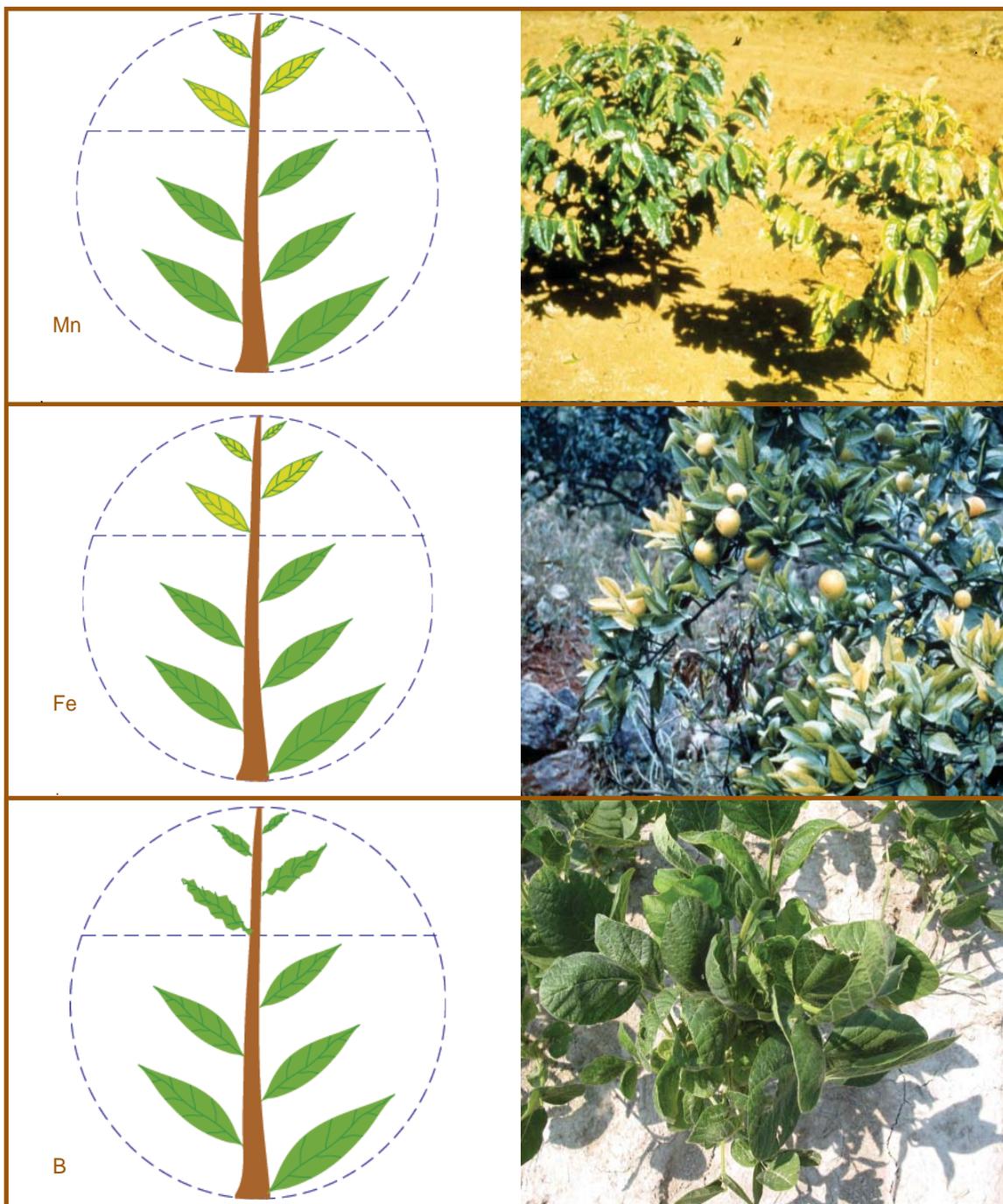


Figura 12. Localización de deficiencia de micro-nutrientes, manganeso (Mn), hierro (Fe), y boro (B) en tejidos foliares de plantas. Fuente: IPNI, 2011.

4.3 La Materia Orgánica del Suelo (MOS)

La materia orgánica es definida como la fracción orgánica del suelo, que incluye residuos vegetales y animales en los suelos; ésta ha sido considerada el factor clave de la calidad de un suelo -dado que afecta sus propiedades físicas y químicas, y es el principal reservorio de CO₂ en el planeta-, en vista que es la principal fuente de nutrientes para las plantas, mantiene la capa arable, facilita la infiltración y la retención de humedad, reduce la erosión inducida por el agua de lluvia, viento, labranza, y controla la eficacia de las aplicaciones de pesticidas y fertilizantes (Magdoff, 1992).

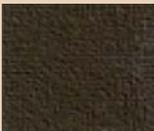
Por otro lado, un incremento del contenido de materia orgánica en los suelos permite aumentar la población y variedad de organismos (biodiversidad), por tanto, se incrementa el control biológico de plagas y enfermedades de las plantas. En el laboratorio de suelos de la UNA se usa el método de Walkley-Black (Bremner, 1965), para determinar el contenido de materia orgánica.

4.3.1 Métodos de campo para estimar la materia orgánica

Color del espesor superficial del suelo

Por lo general, el espesor de color oscuro de la capa superficial de los suelos llamada también capa productiva u horizonte agrícola, está asociado a la presencia de materia orgánica. Sobre este espesor descansa la productividad de la mayoría de cultivos; por tanto, conocer dicha capa ayuda a los agricultores a decidir como conservarla o mejorarla, si se encuentra en proceso de deterioro.

En esa dirección, el Servicio de Extensión de la Universidad de Illinois -USA, desarrolló para suelos minerales una tabla de colores, asociados a los contenidos de MOS (Figura 13). Este método es factible de validar en suelos volcánicos del pacífico de Nicaragua, y podría desarrollarse una guía similar para suelos de las regiones central y atlántica.

ORGANIC MATTER		COLOR
Average	Range	(moist soil)
5%	3½to 7%	
3½%	2½to 4%	
2½%	2to 3%	
2%	1½to 2½%	
1½%	1to 2%	

(Strong sunlight may eventually cause these colors to fade slightly)

Figura 13. Tabla de colores para estimar materia orgánica en suelos de Illinois.

Reacción del suelo al agua oxigenada (H₂O₂)

Para esta prueba de campo, se toma una porción de suelo y se coloca en un recipiente pequeño, por ejemplo, un beaker de 100 ml, luego se agrega agua oxigenada (H₂O₂, 30 % vol) sobre la muestra de suelo. Aquí se observa la efervescencia y se aplican los siguientes criterios: alta efervescencia indica alto contenido de MOS y baja efervescencia indica bajo contenido de MOS.

4.3.2. Fertilización orgánica

Una estrategia de manejo sostenible de los suelos, es sin duda conservar los niveles de MOS por encima de un 4%. Sin embargo, la ausencia de prácticas de conservación de suelos y la no restitución de nutrientes vía residuos, reduce la incorporación de MOS ofrecida por la vegetación previa. Esta reducción afecta la disponibilidad de nutrientes, y tiende a que el suelo se degrade irreversiblemente. Ante dicha problemática, el uso de la fertilización orgánica es obligatoria; para ello existe una diversidad de fuentes (Tabla 14 y 15), con diferentes contenidos nutricionales, pero que en su mayoría son fundamentales para aumentar la resiliencia de los suelos y la fertilidad física de los mismos.

Tabla 14. Composición química de estiércoles. Fuente: LAQUISA, 2010

Estiércol	(%) Humedad	(%) MOS	(%) Nitrógeno	(%) Fósforo	(%) Potasio
Vaca	83.2	17-25	1.67	1.08	0.56
Caballo	74	30	2.31	1.15	1.30
Oveja	64	-	3.81	1.63	1.25
Cerdo	80	-	3.73	4.52	2.89
Gallina	53	30-35	6.11	5.21	3.20

Tabla 15. Contenido de NPK de los principales abonos orgánicos, por tonelada de producto.

Fuente: LABSA-UNA, 2010

Tipo de abono	kg de N	kg de P ₂ O ₅	kg de K ₂ O
Estiércol de Vaca	16.7	10.8	5.6
Estiércol de caballo	23.1	11.5	13.0
Estiércol de oveja	38.1	16.3	12.5
Estiércol de cerdo	37.3	45.2	28.9
Estiércol de gallina	61.1	52.1	32.0
Compost	13.9	6.7	6.9
Compost-heno alfalfa	25.0	50.0	21.0
Compost-paja- cereales	5.0	2.0	11.0
Compost-follaje- papa	4.0	1.6	3.0
Compost-pulpa- café	17.0	1.8	20.0
Compost-corteza- árboles	5.0	3.0	2.0
Compost-follaje- leguminosas	12.0	8.0	16.0
Compost-mezcla- rastrojos	10.4	15.0	13.0
Humus de lombriz	15.4	2.1	4.6
Bioabono	0.40	0.4	1.1

V. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE CAMPO Y LABORATORIO

5.1 Generalidades

Los análisis de suelos en laboratorio se utilizan para determinar el contenido de nutrientes, que permite precisar la dosis de fertilizante requerida para maximizar el rendimiento, así como para restituir un poco los nutrientes extraídos. Los aspectos que se requieren conocer son (Ecuación 8): el requerimiento nutricional del cultivo bajo análisis (Tabla 16), la cantidad de nutrientes en el suelo obtenido mediante el análisis de laboratorio y la eficiencia del fertilizante. Además, se demanda conocer los niveles críticos de fertilización para los suelos de Nicaragua (Tabla 17). La ecuación funciona si los restantes factores ambientales y de manejo son óptimos.

$$Ec. 8: Dosis = \frac{Demanda - Suministro}{Eficiencia\ del\ fertilizante} * 100$$

Tabla 16. Requerimiento de nutrientes (kg/ha) para diferentes tipos de cultivos, de acuerdo al rendimiento esperado en kg por hectárea Fuente: IPNI

Cultivo	Rendimiento (ton/ha)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg O	S
Maíz Dulce	6	120	50	120	50	25
Maíz	3.5	85	35	70	30	20
Arroz(inundación)	6	100	50	160	20	10
Arroz de secano	4	60	30	80	15	8
Sorgo	2.5	70	30	60	25	15
Yuca	15	60	40	125	20	10
Papa	40	175	80	310	40	20
Papa dulce	40	190	75	340	65	
Remolacha azúcar	45	200	90	300	90	35
Zanahoria	3	125	55	200	30	
Coliflor	50	250	100	350	30	
Pepino	40	70	50	120	60	
Cebolla y Ajo	35	120	50	160	15	20
Espinaca	25	120	45	200	35	
Tomate	50	140	65	190	250	30
Frijol	1.5	80	30	60	25	20
Banano	40	250	60	1000	140	15
Cítricos	30	270	60	350	50	30
Piña	50	185	55	350	110	20
Maní	2	170	30	110	20	15
Soya	3	220	40	170	40	20
Cacao	1	40	15	90	10	
Café	1.5	120	30	130	20	30

Cultivo	Rendimiento (ton/ha)	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg O	S
Tabaco hoja seca	2	130	20	240	25	10
Caña de azúcar	100	130	90	340	80	60
Pasto tropical ¹	40	90	23	120	19	8
Plátano	8	40	10	120	40	15
Cocos	10,000 Unid.	130	60	200	50	15
Palma aceitera	25	190	60	300	100	30

Fuente: IPNI

Tabla 17. Interpretación de los niveles críticos de nutrientes en suelos de Nicaragua, utilizado en el Laboratorio de suelos de la UNA

Nutriente	Unidades	Pobre	Medio	Alto	Método
pH		5.5	5.5-6.6	>6.6	En agua, 1:2.5
Materia Orgánica	%	< 2.0	2.0-4.0	>4.0	Walkley and Black
Nitrógeno (N)	%	< 0.07	0.07-0.15	>0.15	Basado en % de MOS
Fósforo (P)	ppm	< 10	10-12	>12	Olsen, 2.5:25
Potasio (K)	meq/100g	<0.2	0.2-0.3	>0.3	Acetato de amonio 1 N pH 7
Calcio (Ca)	meq/100g	< 2.5	2.5-5.5	>5.5	Acetato de amonio 1 N pH 7
Magnesio (Mg)	meq/100g	<0.3	0.3-1.0	>1.0	Acetato de amonio 1 N pH 7
Hierro (Fe)	ppm	<10	11-100	>100	Olsen
Cobre (Cu)	ppm	<2	3-20	>20	Olsen
Zinc (Zn)	ppm	<3	3.1-10	>10	Olsen
Manganeso (Mn)	ppm	<5	6-50	>50	Olsen
Azufre (S)	ppm	<20	21-36	>36	Colorimétrico extraído en agua
Boro (B)	ppm	< 0.1	0.2-0.5	>0.5	Extracción por agua caliente. Método del doble ácido

Fuente: Quintana et., al. 1982

Los niveles promedios de eficiencia de los fertilizantes son: N= 50%, P= 30%, y K= 60%.

5.2 Ejemplos de cálculo de demanda de nutrientes a partir de resultados de laboratorio

En base a la información de los resultados de análisis de laboratorio expresados en Tabla 18, y el diagnóstico de calidad de suelo, determine: 1) La cantidad nutrientes presentes en el suelo, 2) La dosis apropiada para el buen manejo de nutrientes, y 3) identifique las acciones de conservación de suelos para los tres casos de estudio.

Tabla 18. Resultados de laboratorio de análisis de suelos de 3 parcelas de productores

Productor	Espesor (cm)	Da (g/cm ³)	MOS (%)	P (ppm)	pH 1:2.5	K (meq/100g)
i) Enrique Sánchez	20	1.0	3.32	1.5	6.01	0.4
ii) Amafaldo Martínez	20	1.1	1.7	24.7	7.32	1.38
iii) María Mejía Reyes	20	1.1	5.65	45.4	5.52	0.57

a) **El señor Enrique Sánchez** es un agricultor de la comunidad Las Jaguas en el municipio de Ciudad Antigua, quien desea mejorar el rendimiento de frijol de secano en condiciones de ladera. El diagnóstico de la parcela presenta suelos superficiales con espesores entre 30 y 40 cm, pendiente entre 40 y 50%, una tasa de infiltración moderadamente alta de 120 min por pulgada (25.4 mm), textura franco limosa, con poca presencia de piedras en la superficie. Los rendimientos promedios en frijol oscilan entre 12 y 15 qq /mz. Elevación 800 m, con una precipitación promedio de 1000 mm anuales

Para el cálculo del nitrógeno disponible se aplica la Ecuación 9, haciendo uso de la información presentada en la Tabla 12, donde se indica el cálculo de MOS en base a un contenido del 4%. En base a esta información, si un contenido de 4% de MOS representa 80 kg/ha de nitrógeno disponible, ¿Cuál es el contenido de nitrógeno disponible para el 3.32% de MOS que presenta la parcela bajo estudio?.

El cálculo indica que la parcela de Don Enrique Sánchez da un resultado de 66.4 kg/ha de Nitrógeno disponible anualmente, tal como se demuestra en la siguiente ecuación.

$$Ec. 9. x = \frac{3.32\% * 80 \text{ kg N/ha}}{4\%} = 66.4 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ de Nitrógeno disponible en el suelo}$$

El dato de nitrógeno disponible anualmente se divide entre 12 y se multiplica por el ciclo que dura el cultivo, que en frijol es de 3 meses. De esta manera el nitrógeno disponible durante el ciclo de este cultivo es de 16.6 kg/ha.

Luego, se procede a aplicar la Ecuación 8, para determinar la dosis requerida, el cálculo indica que se requiere adicionar 126.8 kg/ha.

$$Ec. 8. Dosis = \frac{80 \frac{\text{kg N}}{\text{ha}} - 16.6 \frac{\text{kg N}}{\text{ha}}}{50\%} * 100 = 126.8 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} N$$

Si un quintal de urea al 46% de nitrógeno contiene 20.9 kg de nitrógeno disponible, la dosis de 126.8 kg equivalen a 6.06 qq/ha o 4.26 qq/mz de Urea. Esto para una producción esperada de 23 qq/mz.

El cálculo del contenido de fósforo en forma de P_2O_5 , se hace mediante la Ecuación 10, haciendo uso de la información presentada en la Tabla 13, donde se ubica el cálculo de fósforo en forma elemental y en P_2O_5 . De esta manera, si para un contenido de 12 ppm de P a un espesor de 20 cm de suelo se obtienen 54.96 kg/ha de P_2O_5 , ¿Cuál es el contenido de fósforo disponible para el resultado de 1.5 ppm encontrado en la parcela?. El cálculo indica 6.87 kg/ha de P_2O_5 disponible para el cultivo en la parcela de Don Enrique Sánchez.

$$Ec. 10. x = \frac{1.5 \text{ ppm } P_2O_5 * 54.96 \text{ kg/ha } P_2O_5}{12 \text{ ppm } P_2O_5} = 6.87 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ de } P_2O_5 \text{ disponible en suelo}$$

El contenido de fósforo requerido por el cultivo de frijol es de 30 kg/ha de P_2O_5 , y lo que tiene el suelo es 6.87 kg/ha, por tanto se requiere adicionar 77.1 kg/ha de P_2O_5 . Si un quintal de fertilizante 18-46-0 contiene 20.9 kg de P_2O_5 , se necesitaría 3.68 qq/ha ó 2.59 qq/mz, de acuerdo a rendimiento esperado de 23 qq de frijol por manzana.

$$Ec. 8. Dosis = \frac{30 \frac{\text{kg } P_2O_5}{\text{ha}} - 6.87 \frac{\text{kg } P_2O_5}{\text{ha}}}{30\%} * 100 = 77.1 \frac{\text{kg } P_2O_5}{\text{ha}}$$

Para el cálculo del contenido de potasio en forma de K_2O (Ecuación 11) se hace uso de la información presentada en la Tabla 14, referida a la disponibilidad de K en forma elemental y en K_2O para diferentes densidades aparentes. Si en base a estos cálculos, un contenido de 0.3 meq/100g de K en un espesor de 20 cm de suelo, equivale a 280.8 kg/ha de K_2O , ¿Cuál es el contenido de potasio disponible para un contenido de 0.4 meq/100g?. El cálculo indica 374.4 kg/ha de K_2O disponible para el cultivo, en la parcela de Don Enrique Sánchez

$$Ec. 11. x = \frac{0.4 \text{ meq K} * 280.8 \text{ kg } K_2O/\text{ha}}{0.3 \text{ meq K}} = 374.4 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ de } K_2O \text{ disponible en suelo}$$

Según este resultado, el suelo tiene 5 veces lo requerido por el cultivo de frijol (60 kg/ha de K_2O), por lo que no es necesario aplicar fertilizante que contenga este elemento.

Por último, dado que la tasa de infiltración es moderadamente lenta, el potencial de erosión laminar es muy severa y la pendiente del terreno es mayor al 40%, se recomienda abandonar el uso de labranza con bueyes, implementar la siembra al espeque, establecer barreras vivas e incorporar árboles, para iniciar a introducir los sistemas agroforestales.

b) **El señor Amafaldo Martínez** es un horticultor de la comunidad La China, en el municipio de Sébaco, quien desea mejorar los rendimientos del cultivo de tomate utilizando riego por goteo. El diagnóstico de parcela presenta suelos vérticos, con un espesores entre 30 y 40 cm, pendiente menor de 5 %, contenido de MOS menor al 3%, una tasa de infiltración de 35 minutos por pulgada de agua, textura franco arcillosa. Capa de suelo compactada entre los 20 y 30 cm (promedio 20 golpes por 10 cm). Elevación de 500 m, con una precipitación promedio de 600 mm anuales.

Para el cálculo del nitrógeno disponible se aplica la Ecuación 9, haciendo uso de la información presentada en la Tabla 13, donde se indica el cálculo de MOS en base a un contenido de 4%. En base a esa información, si un contenido de 4% de MOS representa 80 kg/ha de Nitrógeno disponible, ¿Cuál es el contenido de nitrógeno disponible para el 1.7% de MOS que presenta la parcela bajo estudio?, considerando una densidad aparente de 1.1 g/cm³, a una profundidad de 20 cm.

El cálculo indica que la parcela de Don Amafaldo Martínez tiene 37.4 kg/ha de nitrógeno total en el suelo, tal y como se demuestra en la siguiente ecuación.

$$\text{Ec. 9 } x = \frac{1.7\% * 88 \frac{\text{kg N}}{\text{ha}}}{4\%} = 37.4 \frac{\text{kg N}}{\text{ha}} \text{ de Nitrógeno t presente en suelo}$$

El dato de nitrógeno disponible anualmente se divide entre 12 y se multiplica por el ciclo que dura el cultivo, que en tomate es de 4 meses. De esta manera el nitrógeno disponible para tomate sería 12.46 kg/ha de N.

Luego se procede a aplicar la Ecuación 8, para determinar la dosis requerida; el cálculo indica que se requiere adicionar 255.08 kg/ha de N.

$$\text{Ec. 8. Dosis} = \frac{140 \frac{\text{kg N}}{\text{ha}} - 12.46 \frac{\text{kg N}}{\text{ha}}}{50\%} * 100 = 255.08 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ de N}$$

Si un quintal de urea contiene 20.9 kg de nitrógeno, se requiere aplicar 12.20 qq de urea por hectárea, o 8.57 qq/mz de Urea. Esto para una producción esperada de 50 ton/ha de tomate. El cálculo del contenido de fósforo en forma de P₂O₅, se hace mediante la Ecuación 10, haciendo uso de la información presentada en la Tabla 13, donde se ubica el cálculo de fósforo en forma elemental y en P₂O₅. De esta manera, si para un contenido de 12 ppm de P a una espesor de 20 cm de suelo, se obtienen 124.42 kg/ha de P₂O₅, ¿Cuál es el contenido de fósforo disponible para el resultado de 24.7 ppm de fósforo encontrado en la parcela?. El cálculo indica 124.42 kg/ha de P₂O₅ disponible para el cultivo en la parcela de Don Amafaldo Martínez.

$$\text{Ec.10 } x = \frac{24.7 \text{ppm P}_2\text{O}_5 * 60.45 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}}{12 \text{ ppm P}_2\text{O}_5} = 124.42 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ de P}_2\text{O}_5 \text{ disponible en suelo}$$

El contenido de fósforo requerido por el tomate es de 65 kg/ha de P₂O₅, y lo que tiene el suelo 2 veces lo requerido (124.4 kg/ha) en forma de P₂O₅, por tanto no se requiere adicionar fertilizante, para esperar un rendimiento de 50 ton/ha o 35 toneladas por manzana.

$$\text{Ec. 8. Dosis} = \frac{65 \frac{\text{kg P}_2\text{O}_5}{\text{ha}} - 124.42 \frac{\text{kg P}_2\text{O}_5}{\text{ha}}}{50\%} * 100 = -118.84 \frac{\text{kg}}{\text{ha}}$$

Para el cálculo del contenido de potasio en forma de K₂O (Ecuación 11) se hace uso de la información presentada en Tabla 14, referida a la disponibilidad de K en forma elemental y en K₂O para diferentes densidades aparentes. Si en base a estos cálculos, un contenido de 0.3

meq/100g de K en un espesor de 20 cm de suelo, equivale a 280.8 kg/ha de K₂O, ¿Cuál es el contenido de potasio disponible para un contenido de 1.38 meq/100g?. El cálculo indica 1420.8 kg/ha de K₂O disponible para el cultivo, en la parcela de Don Amafaldo Martínez.

$$\text{Ec. 11 } x = \frac{1.38 \text{ meq K} * 308.88 \text{ kg K}_2\text{O/ha}}{0.3 \text{ meq K}} = 1420.8 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ de K}_2\text{O disponible en suelo}$$

Según este resultado, el suelo tiene 7 veces lo requerido por el cultivo de tomate (190 kg/ha de K₂O), por lo que es necesario aplicar fertilizante que contenga potasio.

Por último, partiendo que la tasa de infiltración es moderadamente rápida, el potencial de erosión laminar es moderada (Tabla 9), la compactación es alta (Tabla 6) entre los 20 y 30 cm, y la pendiente del terreno es menor al 5%, se recomienda realizar una labranza profunda cada 3 años para romper la capa endurecida, incorporar residuos de cosecha y abonos orgánicos para mejorar la fertilidad del suelo.

c) **La señora María Mejía Reyes** de la comunidad Apacunca, en el municipio de Villanueva - Chinandega, desea mejorar el rendimiento del cultivo de maíz en arado de secano. El diagnóstico de la parcela presenta suelos vérticos, con un espesor mayor a 40 cm y 5.65% de materia orgánica, textura franco arcillosa, pendiente menor de 5 %, una tasa de infiltración de 2 min por pulgada, resistencia a la penetración 7 golpes a los 20 cm, pH de 5.52, el contenido de fósforo es de 45.4 ppm y el de potasio de 0.57 meq/100g. El rendimiento promedio en maíz oscila entre 30 y 40 qq/mz. La elevación es de 20 m y la precipitación promedio es de 1600 mm anuales.

Para el cálculo del nitrógeno disponible se aplica la Ecuación 9, haciendo uso de la información presentada en la Tabla 12, donde se indica el cálculo de MOS. En base a esta información, si un contenido de 4% de MOS representa 80 kg/ha de nitrógeno disponible, ¿Cuál es el contenido de nitrógeno disponible para 5.63% que presenta la parcela bajo estudio?, considerando una Da de 1.1 g/cm³ y un espesor de 20 cm de suelo.

El cálculo indica que la parcela de Doña María Mejía tiene 124.3 kg/ha de nitrógeno disponible anualmente, tal como se demuestra en la siguiente ecuación.

$$\text{Ec. 9 } x = \frac{5.65\% * 88 \text{ kg N/ha}}{4\%} = 124.3 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \text{ de Nitrógeno disponible en el suelo}$$

El dato de nitrógeno disponible anualmente se divide entre 12 y se multiplica por el ciclo que dura el cultivo, que en maíz es de 4 meses. De esta manera, el nitrógeno disponible para el tomate es 41.43 kg/ha de N.

Luego, se procede a aplicar la Ecuación 8 para determinar la dosis requerida; el cálculo indica que se requiere 87.14 kg/ha.

$$Ec. 8. Dosis = \frac{85 \frac{kg N}{ha} - 41.43 \frac{kg N}{ha}}{50\%} * 100 = 87.14 \frac{kg}{ha} de N$$

Si un quintal de Urea al 46% de nitrógeno contiene 20.9 kg de nitrógeno disponible, la dosis de 87.14 kg/ha equivale a 4.16 qq/ha o 2.92 qq/mz de Urea, para una producción esperada de 54 qq/mz.

El cálculo del contenido de fósforo en forma de P₂O₅ se hace mediante la Ecuación 10, haciendo uso de la información presentada en la Tabla 13, donde se ubica el cálculo de fósforo en forma elemental y en P₂O₅. De esta manera, si un contenido de 12 ppm de P a un espesor de 20 cm de suelo equivale a 54.96 kg/ha de P₂O₅, ¿Cuál es el contenido de fósforo disponible para un contenido 45.4 ppm encontrados en la parcela?. El cálculo indica una disponibilidad de 228.7 kg/ha de P₂O₅, para el cultivo de maíz en la parcela de Doña María Mejía.

$$Ec. 10 x = \frac{45.4 ppm P_2O_5 * 60.45 kgP_2O_5/ha}{12 ppm P_2O_5} = 228.7 \frac{kg}{ha} de P_2O_5 \text{ disponible en suelo}$$

El contenido de fósforo requerido por el cultivo de maíz es 35 kg/ha de P₂O₅, kg/ha, y según este análisis el suelo contiene 3.5 veces lo requerido (228.7 kg/ha) en forma de P₂O₅, por tanto no se requiere adicionar fertilizante con fósforo.

$$Dosis = \frac{65 \frac{kgP_2O_5}{ha} - 228.7 \frac{kgP_2O_5}{ha}}{50\%} * 100 = -327.4 \frac{kg}{ha} P_2O_5$$

Para el cálculo del contenido de potasio en forma de K₂O (Ecuación 11) se hace de la información presentada en la Tabla 14, referida a la disponibilidad de K en forma elemental y en K₂O para diferentes densidades aparentes. Si en base a estos cálculos, un contenido de 0.3 meq/100g de K en un espesor de 20 cm de suelo equivale a 280.8 kg/ha de K₂O, ¿Cuál es el contenido de potasio disponible para un contenido de 0.57 meq/100g?. El cálculo indica 586.8 kg/ha de K₂O disponible para el cultivo, en la parcela de Doña María Mejía.

$$Ec. 11 x = \frac{0.57 meq K * 308.88 kgK_2O /ha}{0.3 meq K} = 586.8 \frac{kg}{ha} de K_2O \text{ disponible en suelo}$$

Según este resultado, el suelo tiene 8.3 veces lo requerido por el cultivo de maíz (70 kg/ha de K₂O), por lo que no es necesario aplicar fertilizante que contenga potasio.

Por último, partiendo que la tasa de infiltración es rápida, con un potencial de erosión laminar leve (Tabla 7), alto contenido de MOS, con un pH fuertemente ácido, alto contenido fósforo, y con una compactación baja (Tabla 4) entre los 20 cm, en pendiente menor al 5%, se recomienda revisar el manejo de la fertilización basada en la acidez, para indicar el fertilizante más adecuado y la selección de cultivos apropiados.



Kit para evaluar indicadores de calidad de suelo en campo

VI. REFERENCIAS

- Alexander, J.D., 1941. Color chart for estimating organic matter in mineral soil in Illinois. University of Illinois at Urbana-Champaign College of Agriculture Cooperative Extension Service.
- Arshad, M.A., Lowery, B., and Grossman, B., 1996. Physical test for monitoring soil quality. In: J.W. Doran and A.J. Jones (eds.) Methods for assessing soil quality. Soil Sci. Soc. Am. Spec. Publ.49 SSSA. Madison. WI. 123 – 142p.
- Barrios, E., 2007. Soil Biota, ecosystems services and land productivity. J Elsevier: Ecological Economics, (64): 269-285.
- Batjes, N. H. 1996. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. European journal of soil science, 47(2), 151-163.
- Baver, L.D., Gardner, W.H., and Gardner, W.R. 1972. Soil Physics. 4th ed. New York: John Wiley & Sons, Inc
- Beare, M.H., Cameron, K.C., Williams, P.H., and Doscher, C., 1997. Soil Quality Monitoring for Sustainable Agriculture. Prac.5th N.Z Plants Protection Conf. 520-528. NZ. Plant Protection Soc.
- Bender, M., and Conrad, R., 1995. Effect of CH₄ concentrations and soil conditions on the induction of CH₄ oxidation activity. Soil Biol. Biochem. 27:1517-1527.
- Blum, W. E., Lal, R., Blum, W. H., Valentin, C., & Stewart, B. A., 1997. Basic concepts: degradation, resilience, and rehabilitation. Methods for assessment of soil degradation., 1-16.
- Brady, N., and Weil, R., 1999. The Nature and Properties of Soils. 12th Edition. Prentice Hall, Inc. New Jersey.
- Bradford, J.M., 1986. Penetrability. P.463-478. In: A. Klute (ed) Methods of soil analysis. Part 1 Physical and mineralogical methods. Agronomy No. 9. Am. Soc. Agron., Madison, WI.
- Bremner, J.M., 1965. Inorganic forms of nitrogen. Pp. 1179-1237. In: Black (ed.), Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9. American Society of Agronomy. Madison, Wisconsin.
- CABAL, SA., 2010. Informe intermedio de línea base en Áreas Sensibles Ambientalmente en la microcuenca Apanás. BID, ENEL.104 pp.

Cambardella, C., Doran, J.W., and Gajda, A., 1999. A simplified procedure for particulate organic matter by weight loss on ignition. In R. Lal, J.M. Kimble, and R.F. Follett (ed.). Soil Carbon Methods. CRC Press, Boca Raton, FL (In press).

Cambardella, C.A., and Elliott, E.T., 1992. Particulate Soil Organic-Matter Changes across a Grassland Cultivation Sequence. SoilSci. Soc. Am. J. 56:777-783.

Carvajal, J.F. 1984. Cafeto - cultivo y fertilización. 2da ed. Instituto Internacional de la Potasa y el Fósforo. Berna/Suiza.

Campbell, D.J., and Hunter, R. 1986. Drop-cone penetration in situ and on minimally disturbed soil cores. J. Soil Sci. 37:153-163.

Daily G.C., Alexander S., Ehrlich P.R., Goulder L., Lubchenco J., Matson P.A., Mooney H.A., Postel S., Schneider S.H., Tilman D. and Woodwell G.M., 1997. Ecosystems Services: Benefits Supplied to Human Societies by Natural Ecosystems. Issues Ecol., 2, pp. 1-18

Doran, J.W., and A.J. Jones. 1996. Methods for assessing soil quality. Soil Sci. Soc. Amer. Spec. Publ. 49. SSSA, Madison, WI.

Doran, J.W., and Safley, M., 1997. Defining and Assessing Soil Quality and Sustainable Productivity. In: "Biological Indicator of Soil Health", p. 1-228. Pankhurst, C., Doube, B.M., and Gupta, U.U.S.R. (eds), CAB International, Wallingford, U.K.

Doran, J.W., and Parkin, T.B., 1994. Defining and assessing soil quality. In: JW Doran; DC Coleman; DF Bezdicek & BA Stewart(eds.). Defining soil quality for a sustainable environment. SSSA Special Publication N° 35. Wisconsin, USA.

Dierolf, T., Fairhurst, T., and Mutert. E., 2001. Soil Fertility Kit: A toolkit for acid, upland soil fertility management in Southeast Asia, Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Food and Agriculture Organization, PT JasaKatom, and the International Plant Nutrition Institute (IPNI) formerly PPI/PPIC. p. 150.

FAO, 1984. Proteger y producir. Conservación del suelo para el desarrollo. Roma, Italia. Hudson, Norman. 1982. Conservación del suelo. Editorial Reverté, S.A. Barcelona, España. 355 pp
Gee, G.W., and Bauder, J.W., 1986. Particle-size Analysis. Chap. 15, p. 383-411. In Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Second Edition. A. Klute ed. Amer. Soc. of Agron., Madison, WI. Agronomy monograph no. 9 (2nd edition).

Godwin, R.J., Warner, N.L., and Smith, D.L.O. 1971. The development of a dynamic drop cone device for the assessment of soil strength and the effects of machinery traffic. J. Agric. Eng. 48: 123-131.

Hillel, D., 1980. Fundamentals of soil physics. Academic Press, Inc. (London) Ltd., ISBN: 0-12-348560-6 pp. 413pp.

International Soil Reference and Information Center (ISRIC). 1995. Procedure for Soil Analysis. L.P. van Reeuwijk (ed) 5th edition.

Jones, J.B. 1998. Plant Nutrition Manual. CRC Press, p. 149.

Killham, K., 1994. "Soil Ecology".. p. 24-28. Cambridge Uni. Press. Cambridge, UK.

Kort, J., and Turnock, R., 1999. Carbon reservoir and biomass in Canadian prairie shelterbelts. Agroforestry system 44: 175-186.

Larson, W. E., and Pierce, F.J., 1994. The dynamic of soil quality as a measure of sustainable management. p. 37-51. In J.W. Doran et al., (ed.) Defining soil quality for sustainable environment. SSSA Spec. Publ. 35, SSSA, Madison. WI.

Lal R., and Bruce, J.P., The potential world soil to sequester land mitigate the greenhouse effect. ELSEVIER. Environmental Science & Policy J. 2(1999) 177-185.

Lavelle P., Decaens T., Aubert M., Barot S., Blouin M., Bureau F., Margerie P., Mora P., and Rossi J.P., 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. European Journal of Biology. 42.S3-S15
Lavelle P, and Spain A.V., 2001. Soil Ecology. Kluwer Academic Publishers.

Linn D.M., and Doran J.W., 1984. Effect of water-filled pore space on carbon dioxide and nitrous oxide production in tilled and non-tilled soils. Soil Sci. Am. J. 48:1267-1272.

Munson, R. D., 1985. Potassium in Agriculture. American Society of Agronomy, Inc.

Nelson, D. W.; Elrick, D. E., and Tanji, K. K., 1992. Chemical Mobility and Reactivity in Soil Systems. SSSA Special Publication Number 11. American Society of Agronomy, Inc.

Orozco, L., y Brumer, C., 2002. Inventario forestal para bosques latifoliados en América Central. Capítulo 8, P 202-213. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Olsen, S.R., Cole, C.V., Watanable, F.S., and Dean, L.A., 1954. Estimation of available phosphorus in soil by extraction with sodium bicarbonate. USDA circular. 939. US Government Printing Office, Washington DC.

Olsen, S.R., and Sommers, L.E., 1982. Phosphorus In: A.L. Page, R.H. Miller (Eds). Methods of Soil Analysis. Part 2. 2nd ed. Agronomy Monograph 9, ASA and SSSA, Madison, WI, pp. 403-430.

Olsen, S.R., and Dean, L.A., 1965. Phosphorus, pp 1035-1049. In: "Methods of Soil Analysis" Black CA., (Ed). Agron No 9 Am SocAgronInc, Madison, Wisconsin.

Paul, E.A., and Clark, F.B., 1989. Soil microbiology and biochemistry. Academic Press. New York.

PASOLAC., 2006. Guía técnica de manejo y aprovechamiento de agua con fines agropecuarios. 30 pp.

Proyecto DEPARTIR., 2010. Implementación de Procesos Productivos, Comunidad Apacunca, Aquestalapa, Circuito y Jicota, Chinandega.

PPI., 1993. Nutri-facts Series: Agronomic information on nutrients for crops. Reference #97091/06137.

Quintana, J. O., 1992. Manual de Fertilidad para los suelos de Nicaragua. Editorial Primer Territorio Indígena Libre de América Ithaca, New York. Residencial Las Mercedes N° 19 – A . Managua Nicaragua.

Quintana, J.O., Blandón, J., Flores, A., y Mayorga, E., 1992. Manual de fertilización para suelos de Nicaragua. INDOCONSUL S. A. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua.

Romero, Y. H. 2012. Diversidad de macrofauna del suelo en la cuenca del Río Estelí, Nicaragua. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 80 pp.

Rousseau, L., 2011. Especies Indicadores de los servicios ecosistémicos, La Danta, Chinandega. Informe de prácticas. IRD-BIOEMCO-UPMC-CIAT. 40 pp

Rhoades, J.D., 1996. Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids P.417-435. In : D.L. Sparks (ed). Methods of soil analysis : part. 3-chemical methods. Book Serie no. 5 SSSA and ASA, Madison, WI.

Salinas I. M., y Rodríguez, J., 1995. La evapotranspiración potencial en Nicaragua. Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria (INTA). 36 p. Managua, Nicaragua.

Sikora, L.J., and Stott, D.E., 1996. Soil organic carbon and nitrogen. Chap. 9, p. 157-167. In Methods of Soil Analysis, Part 1. Physical and Mineralogical Methods. Second Edition. A. Klute ed. Amer. Soc. of Agron., Madison, WI. Agronomy monograph no. 9 (2nd edition).

Soil Survey Staff. 2009. Soil Survey Field and Laboratory Methods Manual. Soil Survey. Investigations Report No. 51, Version 1.0. R. Burt (ed.). U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.

Smith, J.L., and Doran, J.W., 1996. Measurement and Use of pH and Electrical Conductivity for Soil Quality Analysis. In *Methods for Assessing Soil Quality*; Doran, J.W.; Jones, A.J., (eds), p.169-185. Special publication number 49, SSSA. Madison, Wisconsin.

Smith F.W., 1986. Pasture Species. In: Router, D.J.; Robinson, J.B. (eds): *Plant Analysis- An Interpretation Manual*. Inkata, Melbourne, Australia.

Stevenson, F.J., and Cole, M.A., 1999. *Cycles of Soils*. John Wiley & Sons, Inc. Troeh, L.J. and L.M. Thompson. 1993. *Soil and soil fertility*. Oxford Univ. Press, New York.

Throeh, F.R., and Thompson, L.M., 1993. *Soil and Soil Fertility*. Oxford Univ. Press New York.

USDA., 1999. Soil quality test kit guide.

USDA., 1999. Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del suelo. <http://www.statlab.iastate.edu/survey/SQL/kit2.html>.

Unite State Department of Agricultural USDA. 1996. Soil Survey Laboratory. *Methods Manual Soil Survey Investigation Report No 42. Version 3.0* p 219-222.

Walkley, A., and Black I.A., 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 39:29-38.

VII. ANEXOS

Anexo 1. Expresión de unidades de medidas en diferentes sistemas

1N= 105dines	1J= 107 ergs	1Pa= 1Nm ²
Unidades de Miyazaki (1993) P 1,2		
SI. Unidades Básicas		
	Longitud -----	metro (m)
	Tiempo -----	segundos (s)
	Masa -----	kilogramos (kg)
	Temperatura -----	Kelvin (K)
Unidades Construídas del SI.		
	Velocidad -----	(m s ⁻¹)
	Fuerza (N) -----	Newton (m kg ⁻¹)
	Presión (Pa) -----	Pascal (m ⁻¹ kg ⁻²)
	Energía (l) -----	joule (m ² kgs ²)
Prefijos apropiados	Longitud para usar con unidades básicas del SI	
	(mm) -----	milímetro
	(cm) -----	centímetro
	(km) -----	kilómetro
Masa (g) -----	gramo	
	(Mg) -----	Mega gramo
Medidas tradicionales	Tiempo -----	minutos, horas
	Temperatura -----	°C

Unidades de longitud

1 metro = 10 dm; 1 metro =100 cm; 1 metro = 1000 mm, también en nuestro país se usa la vara la cual es igual a 33 pulgadas, y una vara es igual a 83.8 cm y una pulgada es igual a 2.54 cm.
Unidad de superficie o área

La unidad empleada es el metro cuadrado (m²), usándose también en nuestro país la vara cuadrada (v²).Para unidades de superficie en nuestro país se usa la hectárea y la manzana.

1 Hectárea (Ha) = 10,000 m² 1 Hectárea = 1.412 Manzanas

1 Manzana (Mz) =10,000 v² 1 Manzana = 7025.7924 m²

Otras unidades empleadas

1pie =12 pulgadas, 1pulgadas =2.54 cm, 1yarda =36 pulgadas=3 pies, 1 milla = 1609.3 metros, 1 metro = 39.37 pulgadas, 1 metro = 1.193 varas, 1 varas = 0.838 metros, 1 yarda = 0.9144 metros, 1 varas = 33 pulgadas

Anexo 1. Continuación. Conversiones de unidades expresadas en Sistema Internacional

Conversión columna 1 con columna 2, multiplicado por	Columna 1 SI unidad	Columna 2 non-SI unidad Longitud	Convertir columna 2 en columna 1, multiplicado por
0.621	kilómetro, km (10^3 m)	milla, mi	1.609
1.094	metro, m	yard, yd	0.914
3.28	metro, m	pie, ft	0.304
1.0	micrómetro, μm (10^{-6} m)	micrón, μ	1.0
3.94×10^{-2}	milímetro, mm (10^{-3} m)	Pulgada	25.4
10	Nanómetro, nm (10^{-9} m)	Ångstrom,	0.1
Área			
2.47	Hectárea, ha	Acre	0.405
0.386	Kilómetro cuadrado, km ² (10^3 m) ²	Milla cuadrada, mi ²	2.590
2.47×10^{-4}	Metro cuadrado, m ²	Acre	4.05×10^{-3}
10.76	Metro cuadrado, m ²	pie cuadrado, ft ²	9.29×10^{-2}
1.55×10^{-3}	Milímetro cuadrado, mm ² (10^{-3} m) ²	Pulgada cuadrada	645
Volumen			
35.3	metro cúbico, m ³	Pie cúbico, ft ³	2.83×10^{-2}
6.10×10^4	metro cúbico, m ³	Pulgada cuadrada	1.64×10^{-5}
3.53×10^{-2}	Litro, lt (10^{-3} m ³)	Pie cúbico	28.3
0.265	Litro, lt (10^{-3} m ³)	Galón	3.78
33.78	Litro, lt (10^{-3} m ³)	Onza, oz	2.96×10^{-2}
2.20×10^{-3}	gramos, g (10^{-3} kg)	Libra, lb.	454
3.52×10^{-2}	gramos, g (10^{-3} kg)	Onzas, oz	28.4
2.205	Kilogramos, kg	Libra, lbr.	0.454
0.01	Kilogramos, kg	quintal (métrico), qq	100
1.10×10^{-3}	Kilogramos, kg	Tonelada (2000 lb), ton	907
1.102	Mega gramos, Mg (tonelada)	tonelada (U.S.), ton	0.907
1.102	Tonelada, ton	tonelada (U.S.), ton	0.907
Rendimiento y Velocidad			
0.893	kilogramos por hectárea, kg ha ⁻¹	Libra por acre, lbAcre ⁻¹	1.12
107	Libra por hectárea, lb ha ⁻¹	galón por acre	9.35
893	toneladas por hectáreas, ton ha ⁻¹	Libra por acre, lbAcre ⁻¹	1.12×10^{-3}
893	Mega gramos por hectárea, Mg ha ⁻¹	Libra por acre, lbAcre ⁻¹	1.12×10^{-3}
0.446	Mega gramos por hectáreas, Mg ha ⁻¹	Tonelada (2000 lb), por acre, ton acre ⁻¹	2.24
2.24	metro por segundo, m s ⁻¹	milla por hora	0.447
Superficie Específica			
10	metro cuadrado por kilogramo, m ²	centímetro cuadrado por gramos, cm ² g ⁻¹	0.01
1000	metro cuadrado por kilogramo, m ²	milímetro cuadrados por gramos, mm ² g ⁻¹	0.001
Presión			
9.90	megaPascal, Mpa (10^6 Pa)	atmósfera	0.101
10	megaPascal, Mpa (10^6 Pa)	bar	0.1
1.00	megagramo por metro cúbico, Mg m ⁻³	gramos por centímetro cúbico, gcm ⁻³	1.00
2.09×10^{-2}	Pascal, Pa	Libra por pie cuadrado, lbft ⁻²	47.9
1.45×10^{-2}	Pascal, Pa	Libra por pulgada cuadrada, lbpulg ⁻²	6.90×10^{-3}
Temperatura			
1.00(K-273)	Kelvin, K	Celsius, °C	1.00(°C+273)
(9/5°C) + 32	Celsius, °C	Fahrenheit, °F	5/9(°F-32)
Energía, trabajo, cantidad de calor			
9.52×10^{-4}	Joule, J	British thermal unit, Btu	1.05×10^{-3}
0.239	Joule, J	Calorías, cal	4.19

10 ⁷	Joule, J	Erg	10 ⁷
0.735	Joule, J	pie-libra	1.36
2.387 x 10 ⁻³	Joule, J	Caloría por centímetro cuadrado	4.19 x 10 ⁴
10 ⁹	Newton, N	Caloría por centímetro cuadrado	10 ⁹
1.43 x 10 ⁻³	Watt por metro cuadrado, W m ⁻²	minuto (irradiance), cal cm ⁻² min ⁻¹	698
Transpiración y Fotosíntesis			
3.60 x 10 ⁻²	miligramo por metro cuadrado segundo mg m ⁻² s ⁻¹	gramo por decímetro cuadrado hora, g dm ⁻² h ⁻¹	27.8
5.56 x 10 ⁻³	miligramo (H ₂ O) por metro cuadrado segundo, mg m ⁻² s ⁻¹	micromole (H ₂ O) por centímetro cuadrado segundos, μmol cm ² s ⁻¹	180
10 ⁻⁴	miligramo por metro cuadrado segundo mg m ⁻² s ⁻¹	miligramo por centímetro cuadrado segundo, mg cm ² s ⁻¹	10 ⁴
35.97	miligramo por metro cuadrado segundo mg m ⁻² s ⁻¹	miligramo por decímetro cuadrado hora, mg dm ⁻² s ⁻¹	2.78 x 10 ²
Angulo Plano			
57.3	radian, rad	grados (ángulo) °	1.75 x 10 ⁻²
Conductividad Eléctrica, Electricidad y Magnetismo			
10	Siemen por metro, S m ²	Millimho por centímetro, mmho cm ⁻¹	0.1
10 ⁴	tesla, T	gauss, G	10 ⁻⁴
Medida de Agua			
9.73 x 10 ⁻³	metro cúbico, m ³	acre-pulgadas, acre-pulg.	102.8
9.81 x 10 ⁻³	metro cúbico por hora, m ³ h ⁻¹	pie cúbico por segundo, ft ³ s ⁻¹	101.9
4.40	metro cúbico por hora, m ³ h ⁻¹	Galones (U.S) por minuto, gal, min ⁻¹	0.227
8.11	hectárea-metros, ha-m	acre-pie, acre-ft	0.123
97.28	hectárea-metros, ha-m	acre-pulgadas, acre-pulg.	1.03 x 10 ⁻²
8.1 x 10 ⁻²	Hectárea-centímetro, ha-cm	acre-pie, acre-ft	12.33
Concentración			
1	centimol por kilogramo, cmol kg ⁻¹ (capacidad de cambiar el ion)	mili equivalente por 100 gramos, meq 100 g ⁻¹	1
0.1	Gramos por kilogramos, g. kg ⁻¹	porcentaje, %	10
1	miligramo por kilogramo, mg kg⁻¹	partes por millón, ppm	1

Anexo 2. Factores de conversión de nutrientes de planta en condiciones de laboratorio:

1	2	3	4
Multiplicar por	Elemental	Óxidos	Multiplicar por
2.29	P	P ₂ O ₅	0.437
1.20	K	K ₂ O	0.830
1.39	Ca	CaO	0.715
1.66	Mg	MgO	0.602

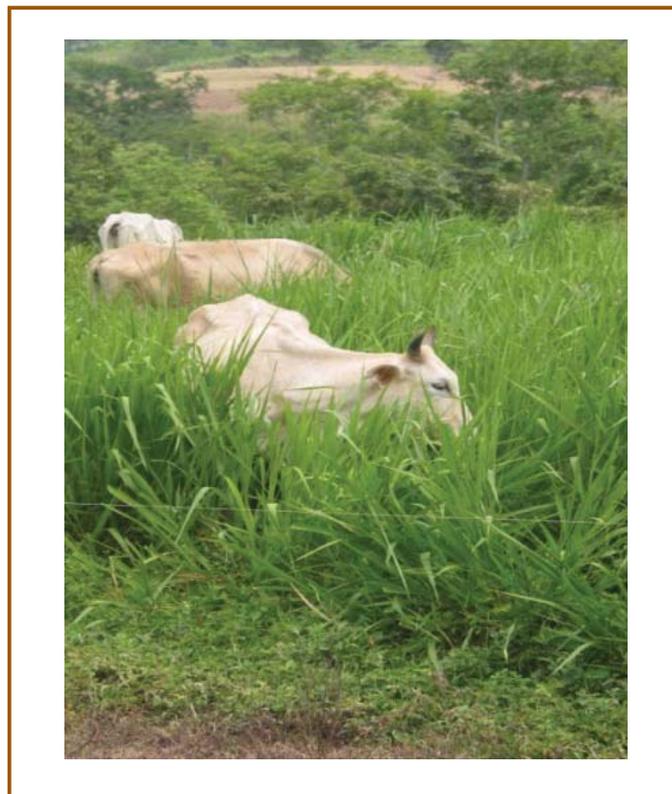
Si se quiere convertir de forma elemental a Óxidos se multiplica la columna 1 con la 2. Si se quiere pasar de óxidos a forma elemental se multiplica la columna 4 con la 3.

Anexo 3. Duración de las etapas de crecimiento para diferentes cultivos en el trópico. FAO

Cultivo	Inicial	Desarrollo	Intermedio	Final	Total
Brócoli	35	45	40	15	135
Repollo	40	60	50	15	165
Zanahoria	30	40	60	30	150
Coliflor	35	50	40	15	140
Apio	25	40	95	20	160
Lechuga	20	30	15	10	75
Cebolla	25	30	10	15	70
Rábano	5	10	15	5	35
Berenjena	30	40	40	20	130
Tomate	35	40	50	30	155
Melón	30	45	35	10	120
Pepino	20	30	30	20	120
Ayote	20	30	30	20	100
Calabacín	25	35	25	15	100
Sandía	10	30	30	30	110
Remolacha	15	25	20	10	70
Yuca	20	40	90	60	210
Papa	25	30	46	30	130
Camote	20	30	60	40	150
Frijol	20	30	30	10	90
Maní	25	35	45	25	130
Soya	15	15	40	15	85
Algodón	30	50	55	45	180
Girasol	25	35	45	25	130
Sorgo	20	30	30	10	90
Maíz	30	40	30	10	110
Sorgo	20	35	40	30	125
Arroz	30	30	60	30	150
Pastos	30	30	25	10	95
Pasto cortés	25	25	15	10	75
Caña de azúcar	30	50	180	60	320
Banana	120	90	120	60	390
Banana	120	60	180	5	365
Piña	60	120	600	10	790
Aguacate	45	60	90	30	225
Cítricos trasplante	45	60	90	30	225
Vivero forestal caducifolio	20	70	90	30	210



Servicios ecosistémicos evaluados en sistema agroforestales utilizando indicadores técnicos y locales de calidad de suelo. Micro cuenca La Danta*Somotillo 2011.





Proceso de capacitación en el uso de indicadores de calidad de suelo para evaluar efectos ecosistémicos de los sistemas agroforestales. Micro cuenca La Danta-Somotillo 2012.



Monitoreo en campo de la calidad de suelo para establecer ensayos de hortalizas con técnicas de cultivos protegidos, Sebaco 2010.



**“Por un Desarrollo Agrario
Integral y Sostenible”**