UNAH
UNIVERSIDAD AGRARIA DE LA HABANA

EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA

de la salud de los suelos y el estado nutricional de los cultivos

Dr.C. José Alfredo Herrera Altuve



CUBA FRUTA

Ministero degli Affari Esteri
e della Cooperazione Internazionale

AGENZIA ITALIANA
PER LA COOPERAZIONE
ALLO SVILUPPO

CRÉDITOS

La elaboración e impresión de esta publicación se ha realizado a través del proyecto: "Fortalecimiento de las cadenas de valor de piña y aguacate a nivel local – CubaFruta AID 011757", financiado por el Ministerio Italiano de Asuntos Exteriores y de la Cooperación Internacional (MAECI) e implementado por la Agencia Italiana de Cooperación para el Desarrollo (AICS) de conjunto con el Instituto de Investigaciones de Fruticultura Tropical (IIFT) y en colaboración con el Ministerio de la Agricultura (MINAG), el Grupo Empresarial Agrícola (GAG) y el Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia (IIIA).

Esta publicación fue realizada con la contribución de la Cooperación Italiana con la autoría del personal técnico de la Universidad Agraria de La Habana (UNAH) y de la Agencia Italiana de Cooperación para el Desarrollo – AICS. Los contenidos son de responsabilidad exclusiva del autor y no representan necesariamente el punto de vista del Ministerio Italiano de Asuntos Exteriores y de la Cooperación Internacional – MAECI o de la Agencia Italiana de Cooperación para el Desarrollo – AICS.

Se permite la reproducción total o parcial del contenido de esta publicación siempre y cuando se cuente con la autorización del autor y de la Agencia Italiana de Cooperación para el Desarrollo (AICS).

© Universidad Agraria de La Habana (UNAH) y Agencia Italiana de Cooperación para el Desarrollo (AICS).
Todos los derechos reservados.

Primera edición junio 2026.

UNAH: Universidad Agraria de la Habana, Autopista Nacional km 23 ½, San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba | https://www.unah.edu.cu

AICS: Edificio Someillán, Calle 17 / N y O, Vedado, La Habana | https://lavana.aics.gov.it

Edición y Producción: Cervantes – Producciones Digital S.R.L. | https://www.edicionescervantes.com

Para citar el documento: Herrera Altuve, J. A. (2026). *Evaluación organoléptica de la salud de los suelos y el estado nutricional de los cultivos*. Editado y complementado por la Universidad Agraria de La Habana y la Agencia Italiana de Cooperación para el Desarrollo (AICS) – sede de La Habana. Proyecto: "Fortalecimiento de las cadenas de valor de piña y aguacate a nivel local – CubaFruta AID 011757". Ministerio de la Agricultura, Cuba.

ISBN: 978-959-16-5219-5

Cu-ID: https://cu-id.com/book/978-959-16-5219-5





















Financiado por la Cooperación Italiana

PRÓLOGO

Una de las bases de los sistemas de manejo sostenible de los suelos y la nutrición de los cultivos, es el conocimiento del estado de la salud del suelo y la calidad de estos, ya que una declinación de esas condiciones tiene un decisivo impacto en el desarrollo y rendimiento y calidad de los cultivos, en los costos de producción y el incremento de los riesgos de erosión, que puede tener consecuencias en la sociedad y el medio ambiente. Por ello la capacidad y salud del suelo, es crítica para la supervivencia humana y es una de las tareas más importantes de los especialistas agropecuarios (Shepherd et al., 2008; Moebius-Clune et al., 2016).

La calidad del suelo es definida, simplemente, como la "capacidad de funcionar de un tipo de suelo específico", tomando en cuenta sus propiedades intrínsecas, así como su capacidad productiva y de amortiguadores ambientales. El concepto de calidad de suelos integra e interconecta los componentes y procesos biológicos, químicos y físicos de un suelo en una situación determinada (Astier-Calderón et al., 2002).

En general, la calidad se evalúa mediante la cuantificación de un grupo mínimo de datos de propiedades del suelo. Para estimar la capacidad del suelo se consideran múltiples funciones, como mantener la productividad, almacenar y reciclar nutrientes, regular y separar agua y flujo de solutos, así como filtrar y tamponar contra contaminantes (Bautista-Cruz et al., 2004).

La salud del suelo está definida por la *Global Soil Partnership* (GSP) y su Panel Técnico Intergubernamental de Suelos (ITPS), como la capacidad del suelo para sostener la productividad, diversidad y servicios ambientales de los ecosistemas terrestres (FAO, 2020).

La calidad y la salud del suelo son conceptos equivalentes, no siempre considerados sinónimos. La calidad debe interpretarse como la utilidad del suelo para un propósito específico en una escala amplia de tiempo, mientras que el estado de las propiedades dinámicas del suelo, en un tiempo particular constituyen la salud del suelo (Bautista-Cruz et al., 2004).

La evaluación de la calidad y la salud se puede realizar mediante tecnologías diferentes, tanto en laboratorios especializados, como directamente en los campos con la utilización de equipos más o menos sofisticados, incluyendo el uso de Geomática aplicada a los estudios de suelo y plantas.

Los métodos más sofisticados pueden estar lejos del alcance de especialistas y agricultores en regiones de recursos limitados, por lo que la FAO promueve, en esas condiciones, métodos menos exigentes como la Evaluación Visual de Suelos (EVS).

La evaluación visual permite obtener una idea primaria de la salud y calidad de los suelos y de las plantas en un sitio o región agropecuaria y poder comparar entre diferentes sitios o regiones.

Este manual tiene como objetivo facilitar la evaluación de la salud del suelo y la nutrición de los cultivos directamente en las áreas agrícolas. En este se integran las evaluaciones visuales con un intercambio de quienes manejan el sitio de trabajo, utilizando no solamente el sentido de la vista, utilizamos el concepto de análisis organoléptico, que pudiera también denominarse como evaluación sensorial, si se acepta que el aprender de los productores, especialistas de distintos niveles, decisores y la población en general tiene sentido.

Para facilitar el análisis, inicialmente se utiliza el método de Evaluación Visual de los Suelos (Shepherd et al., 2008), con un número manejable de indicadores y se adicionan además un grupo mayor de indicadores para explicar o confirmar los resultados obtenidos con la primera evaluación y se puedan identificar los factores limitantes del normal desarrollo de los cultivos. Para ello se utilizan, además, ideas del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y de otros organismos y especialistas, así como experiencias autóctonas.

Pero medir la calidad del suelo implica, además de medir los diferentes indicadores, el rendimiento de los cultivos, la carga animal en las áreas ganaderas o la fertilidad del suelo (Shepherd, 2010); a menudo no se presta suficiente atención a:

- El papel básico de la calidad del suelo en una producción eficiente y sostenida.
- El efecto de la calidad del suelo en el margen de beneficio bruto de la explotación
- La planificación a largo plazo necesaria para mantener una buena calidad del suelo.
- La necesidad de que los administradores de tierras puedan identificar y predecir los efectos de sus decisiones de gestión de la tierra a corto y medio plazo sobre la calidad del suelo

La evaluación de la salud y calidad del estado nutricional de los cultivos también excede el conocimiento de si una planta manifiesta síntomas de deficiencia o excesos de determinados nutrientes, o si encuentran en el suelo alimentos para su buen crecimiento y desarrollo o bases del rendimiento final; debe integrar todos los elementos que responden a la interacción suelo-planta-suministradores de nutrientes dentro de ese gran sistema que son el clima, los sistemas de cultivo y el tiempo.

Los indicadores de plantas amplían o califican la evaluación de la calidad del suelo para permitirle hacer causa y establecer vínculos entre las prácticas de gestión y las características del suelo. Tanto los indicadores del suelo como los indicadores de las plantas, EVS vincula el recurso natural (suelo) con el desempeño de las plantas y la rentabilidad de las empresas agrícolas. Por esta razón, la evaluación de la calidad del suelo no es una combinación de las puntuaciones de "suelo" y "planta" por separado y comparados (Shepherd, 2010).

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN 1

2. ORIENTACIONES PARA EL USO DEL MANUAL 5

3. INFORMACIONES GENERALES Y POSICIÓN FISIOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO 7

3.1. Caracterización del Lote o Sitio 7

3.2. Condiciones atmosféricas del clima y tiempo 7

3.3. Vegetación natural propia del sitio de trabajo 8

3.4. Indicadores propios de la actividad productiva del hombre 9

3.4.1. Uso de la tierra 9

3.4.2. Influencia humana 10

3.5. Geoforma y topografía (relieve) 11

3.5.1. Geoforma principal 11

3.5.2. Topografía y relieve 12

4. EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DE LOS SUELOS (EOS) 17

4.1. Evaluación Visual del Suelo (EVS) 21

5. INDICADORES FÍSICOS DEL SUELO QUE SE UTILIZAN EN LA EOS 31

5.1. Indicadores en la superficie del suelo 31

5.1.1. Encharcamiento o escurrimiento superficial 31

5.1.2. Costra superficial y sellado del suelo 33

5.1.3. Erosión del suelo (Eólica/hídrica) 35

5.1.4. Afloramientos rocosos 38

5.1.5. Pedregosidad superficial 40

5.1.6. Fragmentos gruesos superficiales y artefactos 41

5.1.7. Grietas superficiales 41

5.2. Indicadores en el perfil del suelo 42

5.2.1. Material de origen del suelo 42

5.2.2. Textura del suelo 44

5.2.3. Determinación de la clase textural 48

5.2.4. Estructura del suelo 56

5.2.5. Estabilidad de los agregados 58

5.2.6. Consistencia del suelo 59

5.2.7. Adhesividad 62

5.2.8. Plasticidad del suelo 62

5.2.9. Compactación 65

5.2.10. Pie de arado 66

5.2.11. Porosidad del suelo 66

5.2.12. Color del suelo 68

5.2.13. Número y color de los moteados del suelo ... 71
5.2.14. Delimitación de horizontes genéticos ... 73
5.2.15. Densidad aparente del suelo ... 76
5.2.16. Existencia de arcillas expansivas ... 77
5.2.17. Fragmentos rocosos y artefactos dentro del perfil ... 77
5.2.18. Revestimientos ... 78
5.2.19. Humedad del suelo ... 78
5.2.20. Repelencia al agua ... 81
6. INDICADORES QUÍMICOS DEL SUELO QUE SE UTILIZAN EN LA EOS **83**
6.1. pH del suelo ... 83
6.2. Condiciones reductoras ... 84
6.3. Presencia de sal ... 84
6.4. Arena blanqueada o descolorida ... 86
6.5. Presencia de carbonatos de cationes divalentes ... 86
6.6. Olor ... 88
7. INDICADORES BIOLÓGICOS DEL SUELO QUE SE UTILIZAN EN LA EOS **91**
7.1. Profundidad de los horizontes húmicos ... 91
7.2. Cobertura del suelo ... 91
7.3. Conteo de lombrices (Número y tamaño) ... 93
7.4. Profundidad de penetración de la raíz y profundidad efectiva ... 94
7.5. Grado de descomposición y humificación de la turba ... 97
7.6. Rasgos biológicos ... 97
8. INDICADORES PRINCIPALES DE DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS **101**
9. INDICADORES DE LA POSIBLE PÉRDIDA DE NUTRIENTES **105**
9.1. Grupo textural ... 106
9.2. Estructura del suelo ... 106
9.3. Cantidad y forma del fertilizante nitrogenado aplicado ... 106
10. EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DE LA SALUD NUTRICIONAL DE LOS CULTIVOS **109**
10.1. Diagnóstico visual de deficiencias y excesos de nutrientes en los cultivos ... 109
10.1.1. Particularidades de la ocurrencia de síntomas visuales en las plantas ... 109
10.1.2. Fotos de deficiencias y excesos en varios cultivos ... 112
10.2. Presencia de nódulos activos en las raíces de las leguminosas ... 120
10.2.1. Metodología de evaluación ... 121
11. INDICADORES INDIRECTOS DE LA SALUD DEL SUELO Y LA NUTRICIÓN DE LOS CULTIVOS DE ACUERDO AL COMPORTAMIENTO DE LAS PLANTAS **123**
11.1. Cultivo del maíz ... 123
11.1.1. Establecimiento del cultivo ... 124
11.1.2. Altura de la planta en la maduración ... 124
11.1.3. Color del follaje ... 125

11.1.4. Variabilidad en el comportamiento del cultivo a lo largo del surco 125
11.1.5. Desarrollo radical 126
11.1.6. Enfermedades de las raíces 127
11.1.7. Presencia de arvenses 127
11.1.8. Tamaño y forma de las mazorcas 129
11.1.9. Rendimiento del cultivo 130
11.1.10. Costos de producción 130
11.1.11. Encharcamiento superficial 131
12. PASTIZALES **135**
12.1. Calidad y salud de suelos sobre pastos 135
12.2. Calidad y salud de los pastos 136
12.2.1. Calidad del pasto 137
12.2.2. Composición del pasto 138
12.2.3. Tasa de crecimiento y rebrote de pastos 139
12.2.4. Color del pasto y desarrollo relativo a parches urinarios 139
12.2.5. Largo y densidad de las raíces 140
12.2.6. Nódulos en plantas de leguminosas 140
12.2.7. Utilización del pasto 141
12.2.8. Área de suelo desnudo 141
12.2.9. Estrés por sequía 142
12.2.10. Encharcamiento superficial 142
12.2.11. Presencia de arvenses en pastos 143
12.2.12. Capacidad de carga de ganado y uso de fertilizantes 144
12.2.13. Costo de producción para mantener la capacidad de carga de ganado 144
13. HUERTOS (FRUTALES) **147**
13.1. Evaluación visual de la salud y la calidad de los suelos dedicados a frutales 147
13.1.1 Profundidad de raíces 148
13.1.2. Erosión eólica/hídrica 149
13.2. Evaluación del comportamiento de los frutales y su relación con la salud del suelo y las plantas 149
13.2.1. Volumen de la copa del árbol 150
13.2.2. Densidad de la copa del árbol 151
13.2.3. Longitud de los brotes 151
13.2.4. Floración 152
13.2.5. Color de las hojas 152
13.2.6. Rendimiento 153
13.2.7. Variabilidad del comportamiento de las plantas a lo largo del surco 154
BIBLIOGRAFÍA **156**
ÍNDICE DE FIGURAS **159**
ÍNDICE DE TABLAS **163**



1. INTRODUCCIÓN

Las bases de un sistema agrícola sostenible de producción agropecuaria se fundamentan en un diagnóstico integral de las particularidades y el comportamiento de los sitios de trabajo. Este diagnóstico responde a las condiciones agroecológicas específicas de cada lugar y constituye el punto de partida para cualquier plan de manejo orientado a la sostenibilidad.

El análisis global del comportamiento de un cultivo en condiciones reales de campo, o diagnóstico del sistema de producción, es la herramienta primaria para evaluar su desempeño. Esta técnica se destina a identificar los factores que limitan el desarrollo normal de los cultivos en un área agrícola determinada. Su aplicación se basa en la inspección, generalmente visual, y en el intercambio directo con los agricultores. El diagnóstico de campo es como la medicina de guerra, ya que se ejerce en el lugar de los hechos y se dispone de pocos recursos. Los recursos por lo general son suficientes para salvar un cultivo. Además, se trata de una técnica accesible, por lo que todos los técnicos del agro deberían estar familiarizados con ella (Etchevers Barra, 1999).

Existen numerosos indicadores que pueden ser útiles para realizar un diagnóstico integral. Su medición puede realizarse en distintos niveles, según las condiciones específicas de cada evaluación. Algunos indicadores se dirigen a evaluar la salud y la calidad de los suelos, mientras otros analizan el estado nutricional de los cultivos.

Como complementos obligados, otros indicadores permiten conocer los sistemas de manejo de suelos y cultivos predominantes en la zona. También es fundamental considerar las condiciones agroclimáticas propias de la región. La integración de todos estos aspectos proporciona una visión completa del sistema productivo.

La evaluación de la salud del suelo y de la nutrición de los cultivos se realiza mediante la medición de indicadores específicos. Algunos de estos indicadores son la textura, la profundidad disponible para la exploración radical, el pH, la salinidad, la capacidad de intercambio catiónico y el contenido de nutrientes. Estos parámetros son utilizados tanto en la agricultura convencional como en la agricultura orgánica (Servicio Agrícola Ganadero, 2013).

Estos indicadores presentan un carácter dinámico, ya que varían de acuerdo con el uso del suelo y con los sistemas de cultivo que se establecen sobre él. Se pueden emplear para diagnosticar posibles problemas relacionados con la calidad y la salud del suelo, así como con la nutrición de los cultivos, los cuales surgen por el uso y manejo de las tierras. También permiten realizar mediciones periódicas a lo largo del tiempo para monitorear los cambios o las tendencias en la salud del suelo y en la nutrición de los cultivos.

Otro propósito de estos indicadores es la comparación de los valores medidos con los de una condición del suelo o del cultivo que se considere estándar o de referencia. Además, facilitan la realización de comparaciones entre distintos sistemas de manejo de áreas agrícolas. El objetivo de estas comparaciones es determinar los efectos respectivos de cada sistema sobre la calidad del suelo y sobre la nutrición de los cultivos.

En la tabla 1 se observa un conjunto mínimo de propiedades del suelo que pueden usarse como indicadores para evaluar los cambios que ocurren en el mismo. Dado que existen muchas propiedades, la selección de indicadores puede variar de una localidad a otra en función del tipo de suelo, su uso, su función y sus factores de formación (Bautista-Cruz et al., 2004).

Tabla 1. Conjunto de indicadores físicos, químicos y biológicos propuesto para monitorear los cambios que ocurren en el suelo (Bautista Cruz et al, 2004).

Propiedad	Relación con la condición y función del suelo	Valores o unidades relevantes ecológicamente; comparaciones para evaluación
	Físicas	
Textura	Retención y transporte de agua y compuestos químicos; erosión del suelo	% de arena, limo y arcilla; pérdida del sitio o posición del paisaje
Profundidad del suelo, suelo superficial y raíces	Estima la productividad potencial y la erosión	cm o m
Infiltración y densidad aparente	Potencial de lavado; productividad y erosividad	Minutos/2,5 cm de agua y g/cm^3
Capacidad de retención de agua	Relación con la retención de agua, transporte, y erosividad: humedad aprovechable, textura y materia orgánica	% (cm^3/cm^3).cm humedad aprovechable/30 cm; intensidad de precipitaciones
	Química	
Materia orgánica (N y C total)	Define la fertilidad del suelo; estabilidad, erosión	Kg de C o N ha^1
pH	Define la actividad química y bilógica	Comparación entre los limites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
Conductividad eléctrica	Define la actividad vegetal y microbiana	dSm^{-1}; comparación entre los limites superiores e inferiores para la actividad vegetal y microbiana
P, N y K extractable	Nutrientes disponibles para la planta, pérdida potencial de N: productividad e indicadores de la calidad ambiental	Kg ha^{-1}; niveles suficientes para el desarrollo de los cultivos
	Biológicas	
C y N de la biomasa microbiana	Potencial microbiano catalítico y depósito para el C y N. Cambios tempranos de los efectos del manejo sobre la materia orgánica	Kg de N o C ha^{-1} relativo al C y N total o CO_2 producidos
Respiración. Contenido de humedad y temperatura	Mide la actividad microbiana: estima la actividad de la biomasa	Kg de C ha^{-1} d^{-1} relativo a la actividad de la biomasa microbiana; pérdida de C contra entrada al reservorio total de C
N potencialmente mineralizable	Productividad del suelo y suministro potencial de N	Kg de N ha^{-1} d^{-1} relativo al contenido de C y N total

La evaluación de la salud del suelo y la nutrición de los cultivos se puede realizar en tres niveles.

- Métodos analíticos: Este nivel implica el uso de equipos, instrumentos y métodos más o menos sofisticados, disponibles en laboratorios bien equipados. Incluye también la aplicación de elementos de la agricultura por sitio específico. Esta opción responde a las exigencias de la agricultura moderna y sus resultados son bastante exactos y precisos. No obstante, la obtención de estos resultados suele ser demorada. En ocasiones, los resultados no están disponibles para los agricultores.

- Pruebas de campo: Este nivel comprende pruebas que se realizan directamente en los campos agrícolas. Para ello se utilizan instrumentos y materiales especializados, que generalmente responden a laboratorios especializados. Se emplean equipos relativamente poco costosos, como sensores manuales. Se aprovechan nuevas técnicas como la teledetección y otras herramientas.
- Pruebas organolépticas y sencillas: Este nivel se basa en el uso de elementos organolépticos, como la vista, el tacto, el oído, el olfato y el sabor. Utiliza instrumentos relativamente sencillos, generalmente baratos y disponibles, incluso en regiones apartadas o con escasos recursos económicos. La FAO ha promocionado estos métodos desde finales del siglo pasado. Su utilidad es amplia para todo tipo de agricultura, pero se prefieren para aquellas regiones en países en desarrollo.

Cada uno de esos niveles posee características diferentes en relación con el costo, la tecnología, la precisión, la dificultad, la necesidad de entrenamiento, la necesidad de mantenimiento o reemplazo de componentes y el consumo de tiempo. La frontera entre los niveles es lógicamente difusa. Estos niveles no se excluyen entre sí.

Los análisis realizados en laboratorios o directamente en el campo con equipos o materiales especializados permiten conocer las características químicas, físicas y biológicas de un suelo de cultivo. Esta información posibilita la toma de medidas adecuadas sobre el terreno. Si el análisis se efectúa antes de la plantación, facilita la mejora de los suelos o de su sistema de manejo sostenible cuando sea necesario; también permite realizar un aporte en forma de abonado de fondo relacionado con la fertilidad. Durante el cultivo, estos análisis sirven para diagnosticar problemas de salinidad o nutricionales (Casas Castro & Casas Barba, 1999). Aunque son suficientemente exactos y precisos, la obtención de resultados suele ser demorada y costosa; en muchas regiones no es posible acceder a estos servicios, por lo que se requiere el uso de otros métodos.

Un elemento que no ha recibido suficiente atención es la dotación de habilidades a los técnicos de campo para realizar diagnósticos rápidos sin necesidad de recursos caros o sofisticados. El trabajo directo en las áreas agrícolas gana eficiencia cuando se puede anticipar un diagnóstico, el cual puede corroborarse después con análisis químicos, físicos y biológicos más exactos. Estos métodos alternativos, aunque no poseen la misma exactitud, pueden brindar información básica para diseñar sistemas de producción agrícola, incluyendo sistemas de mejoramiento sostenible de los suelos y de nutrición de los cultivos.

El método de evaluación visual se utiliza con frecuencia en países que tienen limitaciones en laboratorios de análisis de suelo y planta. Como en estos métodos no solo se emplea la vista, sino también otros sentidos como el tacto, se prefiere el término "evaluación organoléptica" para incluir una gama más amplia de percepciones. Esta evaluación también incorpora el intercambio de conocimiento con agricultores y otros actores locales de la agricultura.

Por medio de las pruebas organolépticas es posible valorar un grupo amplio de indicadores físicos, químicos y biológicos de la calidad y la salud de los suelos. Estos indicadores completan la información sobre el área de estudio y, con ello, permiten diseñar sistemas de manejo con mayor certeza.

Actualmente, las técnicas de evaluación organoléptica también se aplican para diagnosticar el estado nutricional de los cultivos, así como la afectación por plagas y enfermedades. Estos métodos ayudan a identificar diversos problemas que pueden limitar el crecimiento, el desarrollo y el rendimiento de los cultivos.

Este manual tiene como objetivo facilitar a los estudiantes y especialistas agropecuarios la realización de una evaluación *in situ* del suelo y de la nutrición de las plantas. Dicha evaluación debe reflejar los principales problemas y factores limitantes de los suelos. Además, debe permitir el diseño de un sistema sostenible de cultivo que no afecte las condiciones del entorno.

La evaluación se inicia con los elementos de la Evaluación Visual de los Suelos (Shepherd et al., 2008), pero se adicionan nuevos indicadores de la salud del suelo y de la nutrición de los cultivos. Estos indicadores no forman parte directa de la EVS y su inclusión tiene el propósito de lograr una valoración integral del suelo y las plantas.

El texto presenta una breve descripción de cada propiedad del suelo, de la planta, del suministrador de nutrientes o de la enmienda del suelo. Incluye, además, la forma en que se deben recolectar las muestras o realizar las mediciones de los indicadores directamente en el campo.



2. ORIENTACIONES PARA EL USO DEL MANUAL

El presente manual constituye una guía para la evaluación inicial de la salud del suelo y de la nutrición de los cultivos. A partir del estudio de sus indicadores, los usuarios podrán identificar los factores limitantes del suelo y del desarrollo vegetal. Estos factores se relacionan con las propiedades edáficas y el estado nutricional, con el fin de respaldar rendimientos adecuados en la región de estudio.

En una fase inicial, se organiza una memoria documental. En ella se registran todas las informaciones recolectadas, las condiciones específicas de cada evaluación y los resultados obtenidos. Esta documentación se complementa con fotografías del proceso, del suelo y del cultivo, las cuales sirven como evidencia gráfica.

La evaluación comienza con un examen visual del suelo para obtener una apreciación general de sus condiciones. Posteriormente, se procede a evaluar el resto de los indicadores del suelo y del cultivo.

Al término del proceso de evaluación, se elabora una matriz DAFO. Esta herramienta permite identificar las fortalezas y debilidades de las condiciones del suelo y de los cultivos en el área de estudio. También posibilita pronosticar las amenazas y oportunidades presentes, las cuales se deben evitar o aprovechar. Las consideraciones sobre el manejo y el uso del suelo deben aplicarse a un cultivo específico o a una secuencia de cultivos definida.

Como producto final, se prepara un informe completo. En este documento se identifican los factores limitantes del área de estudio. Además, se detallan las condiciones favorables para el desarrollo de una agricultura sostenible.





CUBA FRUTA

3. INFORMACIONES GENERALES Y POSICIÓN FISIOGRÁFICA DEL ÁREA DE ESTUDIO

El primer paso para evaluar las condiciones del sitio consiste en la recopilación de toda la información existente. Esta actividad se logra mediante la revisión de documentos técnicos y el intercambio de conocimientos con los principales actores involucrados en la zona de estudio. Es un proceso fundamental que establece la base para los análisis posteriores.

Un estudio de los suelos y del estado nutricional de los cultivos debe iniciar con una descripción detallada de las condiciones del entorno. Esta descripción considera los antecedentes del estado actual del suelo, incluidos los elementos relacionados con su formación geológica. Además, debe integrar un análisis sobre la influencia antrópica en su desarrollo y evolución posterior.

3.1. Caracterización del Lote o Sitio

Es fundamental obtener la mayor cantidad de información posible sobre el sitio y sus suelos. La evaluación de los indicadores de calidad del suelo se debe realizar dentro de un contexto específico. Este contexto incluye las características propias del sitio y las condiciones climáticas que lo afectan.

Los datos que se deben recopilar para esta caracterización incluyen:

- Identificación y localización del área (nombre del área, propietario, localidad, municipio y provincia, referencia por teléfono o un GPS).
- Fecha de realización del estudio.
- Localización en una hoja cartográfica, preferentemente a escala 1:25 000 o 1: 50 000, en copia física o electrónica, cuando sea posible.
- Clasificación genética del suelo.
- Estructura agrícola, cultivos predominantes y vegetación característica en áreas no productivas.
- Rendimiento de los últimos cultivos, tanto el estimado como los históricos.
- Características del clima de la región.
- Condiciones de humedad del suelo en el momento del muestreo (seco, ligeramente húmedo, húmedo).
- Sistema de suministro de nutrientes, como la fertilización, y métodos de mejoramiento de suelos utilizados en el sitio.
- Sistemas de riego en los principales cultivos (pivote, gravedad), así como la frecuencia de riego.
- Origen de las semillas y propágulos de los principales cultivos.
- Otras informaciones relevantes para la caracterización de la salud del suelo, por ejemplo, actividades de nivelación, subsoleo, etc.
- Condiciones económicas y sociales de la comunidad.

3.2. Condiciones atmosféricas del clima y tiempo

Si existen estaciones meteorológicas cercanas u otras fuentes de datos confiables, se deben precisar los elementos principales del clima. Estos elementos incluyen la temperatura, las precipitaciones, la humedad relativa y, de ser posible, la irradiación solar. Se requiere obtener los promedios mensuales de estos parámetros correspondientes a los últimos cinco años.

Además, es necesario describir las condiciones climáticas específicas durante los días en que se realizan las observaciones. Se debe anotar el tiempo actual y el de los días anteriores al levantamiento de datos. Para ello, se utiliza una clasificación climática actual que contempla las categorías de Soleado/Despejado, Parcialmente Nublado, Nublado, Lluvioso y Granizo (Schoeneberger et al., 2002).

De manera complementaria, se debe informar la condición climática pasada o las características climáticas propias de la región a mediano y largo plazo. Esta información de contexto se presenta en la tabla 2 del documento.

Tabla 2. Condiciones climáticas pasadas (FAO, 2009).

Sin lluvia en el último mes
Sin lluvia en la última semana
Sin lluvia en las últimas 24 horas
Lluvia ligera en las últimas 24 horas
Lluvia torrencial por algunos días o tormentas en las últimas 24 horas
Periodo extremadamente lluvioso o de deshielo

Si es posible, se debe recolectar información sobre la temperatura promedio mensual, expresada en grados Celsius, y la precipitación media mensual, registrada en milímetros, correspondiente a los cinco años anteriores. Es fundamental conocer la duración del periodo de crecimiento de los cultivos principales, la cual debe indicarse en días. Este periodo se define como el intervalo con condiciones de humedad adecuadas para los cultivos, ya sea por lluvia o por riego, y se identifica como aquel donde existe un exceso de precipitación en relación con la evapotranspiración potencial (FAO, 2009).

3.3. Vegetación natural propia del sitio de trabajo

La vegetación natural constituye un factor dominante en la formación del suelo. Actúa como la fuente primaria de materia orgánica y cumple un rol importante en el reciclaje de nutrientes, el secuestro de carbono y la hidrología del sitio. La vegetación natural propia del sitio de trabajo se puede clasificar según se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Clasificación de la vegetación natural o seminatural (FAO, 2009).

F = Bosque serrado[1]	**D = Arbustos enanos**
FE = Bosque de siempre verde de boca ancha	DE = Arbustos enanos perennifolios
FC = Bosque de coníferas	DS = Arbustos enanos semideciduos
FS = Bosque semidesiduo	DD = Arbustos enanos deciduos
FD = Bosque deciduo	DX = Arbustos enanos xeromórficos
FX = Bosque xeromórfico	DT = Tundra
W = Sabana Arbolada [2]	**H = Herbáceos**
WE = Sabana arbolada perennifolia	HT = Pradera alta
WS = Sabana arbolada semidecidua	HM = Pradera mediana
WD = Sabana arbolada decidua	HS = Pradera pequeña
WX = Sabana arbolada xeromórfica	HF = No gramínea
S = Arbustos	**M= Turbera pantanoso alimentado por agua de lluvia**
SE = Arbustos perennifolios	**B = Turbera pantanoso alimentado por agua subterránea**
SS = Arbustos semideciduos	
SD = Arbustos deciduos	
SX = Arbustos xeromórficos	

[1]Estrato de árboles continuos, copas sobrepuestas, gran número de árboles y especies de arbustos en distintos estratos.

[2]Estrato continuo de árboles, copas usualmente sin chocar, se puede presentar emergentes.

En adición, se pueden registrar otras características de la vegetación, como la altura de los árboles o la cubierta del dosel. Los síntomas observados en las plantas pueden ser indicios de una degradación del suelo. Esta degradación puede originarse por compactación, salinidad o problemas de drenaje. También puede relacionarse con la contaminación de los suelos por diversos agentes, como metales pesados, residuos de plaguicidas e hidrocarburos. Otros contaminantes potenciales son los residuos peligrosos y no peligrosos, así como los compuestos aromáticos.

3.4. Indicadores propios de la actividad productiva del hombre

3.4.1. Uso de la tierra

Este indicador se refiere al uso actual del territorio, ya sea con fines agrícolas o de otro tipo. Su relevancia aumenta con la intensificación de la obtención de alimentos y de materias primas de origen agrícola. Por lo tanto, constituye una información imprescindible para la evaluación de los suelos. Su clasificación puede realizarse de acuerdo con lo establecido en la tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de usos del suelo (Vargas-Rodríguez et al., 2020).

CLASE	
Agricultura	Agricultura de riego y temporal
Agricultura mixta	Agropastoril, agroforestería
Ganadería	Pastoreo intensivo y extensivo
Forestal	Bosque natural, plantación forestal
Protección de la naturaleza	Preservación de la naturaleza y recreación
Asentamientos, industrias	Residencial, transporte, excavaciones y tiraderos
Otro uso de la tierra	Zona militar
	Sin manejo aparente

La tabla 5 muestra otra clasificación propuesta por la FAO.

Tabla 5. Clasificación del uso de la tierra (FAO, 2009).

Cultivos anuales	**Cultivos arbóreos ¿frutales? y arbustivos**
Agricultura migratoria (roza, tumba y quema)	Cultivo arbóreo secano temporal
Agricultura de barbecho	Cultivo arbóreo bajo riego
Sistema ley de cultivo (alternar cultivos para alimento humano con vegetación destinada a la alimentación animal).	Cultivo arbustivo de temporal
Agricultura de temporal	Cultivo arbustivo bajo riego
Cultivo de arroz bajo inundación	**Cultivos perennes**
Agricultura bajo riego	Agricultura de temporal
	Agricultura bajo riego
	Agricultura mixta
	Agroforestería
	Agropastoril

Tabla 5. Continuación.

Cultivos anuales	Cultivos arbóreos ¿frutales? y arbustivos
Ganadería	**Códigos adicionales para mayor detalle**
(Pastoreo extensivo)	Agricultura de temporal
Nómada	Tradicional
Seminómada	Tradicional mejorada
Estabulada	Tradicional mecanizada
(Pastoreo intensivo)	Comercial
Producción animal	No especificado
Lechería	
Forestal	**Protección de la naturaleza**
(Bosque natural)	(Preservación de la naturaleza y recreación)
Tala selectiva	Reserva
Deforestación	Parques
(Plantación forestal)	Manejo de la vida silvestre
	(Control de la degradación)
	Sin interferencia
	Con interferencia

3.4.2. Influencia humana

Este concepto se refiere a la evidencia de actividad humana que afectó probablemente el paisaje, las propiedades físicas y químicas del suelo o el desarrollo de los cultivos. La erosión se trata de manera separada. En la tabla 6 se desglosan los indicadores que caracterizan la influencia humana.

Tabla 6. Indicadores que caracterizan la influencia humana (FAO, 2009).

N = Sin influencias	BU = Terraplén
Nl < = No conocida	BR = Incendio
VS = Vegetación ligeramente perturbada	TE = Terraceo
VM = Vegetación moderadamente perturbada	PL = Barbecho
VE = Vegetación fuertemente perturbada	MP = Plaggen
VU = Vegetación perturbada (no especificado)	MR = Orillas elevadas (propósitos agrícolas)
IS = Riego por aspersión	ME = Orillas elevadas (propósitos de ingeniería)
IF = Riego por curso	MS = Adiciones de arena
ID = Riego por goteo	MU = Adiciones minerales (no especificado)
IP = Riego inundación	MO = Adiciones orgánica (no especificado)
IB = Riego por lindera	PO = Contaminación
IU = Riego (no especificado)	CL = Matarrasa o chaqueo
AD = Drenaje artificial	SC = Compactación superficial
FE = Aplicación de fertilizantes	SA = Área sin cobertura
LF = Rellenos de tierra (también sanitarios)	BP = Cantera
LV = Nivelación	DU = Vertedero (no especificado)
AC = Arqueológico	MI = Mina (superficie, incluido hoyo abierto, gravillas y explotaciones de canteras
CR = Imparto del Carter	

Para las tierras de uso arable, se debe mencionar los tipos de cultivos que se siembran. Es necesario incluir toda la información posible sobre el manejo de suelos, como la profundidad de la aradura, los subsolados, el tipo de arado, grada o escarificador. También se debe consignar el uso de fertilizantes y mejoradores del suelo, la duración del periodo de descanso, los sistemas de rotación y el rendimiento (FAO, 2009).

La información sobre el tipo de cultivo es importante porque proporciona una idea de la naturaleza de la alteración del suelo. Esta alteración es resultado de las prácticas de manejo. Además, dicha información revela los requerimientos de nutrientes y las necesidades de manejo de suelos por parte de estos cultivos.

3.5. Geoforma y topografía (relieve)

La Geoforma se refiere a cualquier componente o rasgo físico de la superficie terrestre formado por procesos naturales que posee una forma o cuerpo diferenciado. La topografía describe la configuración de la superficie de la tierra mediante cuatro categorías principales:

- La geoforma principal, que se refiere a la morfología de todo el paisaje
- La posición del sitio dentro del paisaje
- La forma de la pendiente
- El ángulo de la pendiente

3.5.1. Geoforma principal

La descripción de las geoformas se basa principalmente en su morfología y no en su origen genético o en los procesos que dieron forma a ellas. El criterio principal de diferenciación es la pendiente dominante, seguido por la intensidad de relieve, cuyos detalles se presentan en la tabla 7.

La intensidad del relieve corresponde a la diferencia media entre el punto más alto y el más bajo en una distancia específica dentro del terreno. Esta distancia específica puede ser variable. La intensidad del relieve se expresa normalmente en metros por kilómetro.

En los paisajes complejos, las geoformas sobresalientes deben alcanzar al menos 25 m de altura. Si no cumplen con esta altura, deben considerarse como mesorelieve. Esta regla tiene una excepción para las terrazas, donde las geoformas principales deben presentar diferencias de elevación de por lo menos 10 m.

Tabla 7. Jerarquía de las geoformas principales (modificado de FAO, 2009).

1er nivel	2do nivel	Gradiente (%)	Intensidad de Relieve (m km $^{-1}$)	Densidad de drenaje potencial
L tierras a nivel	LP Planicie	<10	<50	0-25
	LL meseta	<10	<50	0-25
	LD depresión	<10	<50	16-25
	LV piso de valle	<10	<50	6-15
S tierra con pendiente	SE Zona escarpada de gradiente medio	10-30	50-100	<6
	SH colina de gradiente medio	10-30	100-150	0-15
	SM montaña de gradiente medio	15-30	150-300	0-15
	SP planicie disectada	10-30	50-100	0-15
	SV valle de gradiente medio	10-30	100-150	6-15

Tabla 7. Continuación.

1er nivel	2do nivel	Gradiente (%)	Intensidad de Relieve (m km -1)	Densidad de drenaje potencial
T tierras escarpadas	TE zona escarpada de gradiente alto	>30	150-300	<6
	TH colina de gradiente alto	>30	150-300	0-15
	TM montaña de gradiente alto	>30	>300	0-15
	TV valle de gradiente alto	>30	>150	6-15

Notas: Cambios propuestos en el encuentro SOTER, Ispra, Octubre 2004.

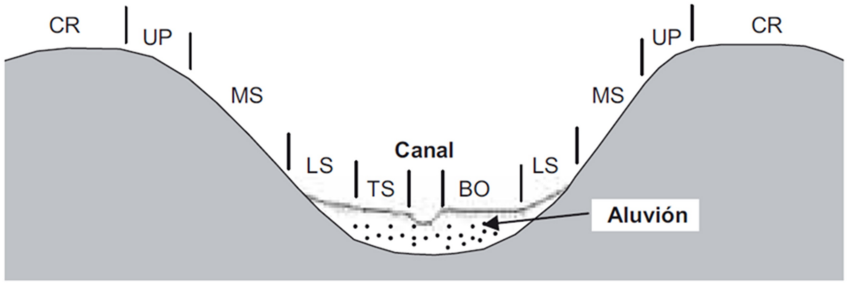
La densidad de drenaje potencial es dada en número de pixeles "receptores "dentro de una ventana de 10*10 píxeles.

Fuentes: Updated (actualizado) SOTER, ISRIS, 2005.

3.5.2. Topografía y relieve

La descripción topográfica se refiere a la posición específica en el terreno, a la forma de la pendiente y a su ángulo de inclinación. Estos elementos configuran las características físicas fundamentales del sitio de estudio. Su análisis detallado permite comprender la dinámica geomorfológica del área.

La posición del sitio dentro del paisaje corresponde a su ubicación relativa dentro de una unidad de tierra. Esta posición afecta de manera directa las condiciones hidrológicas del sitio, como el drenaje externo e interno y el escurrimiento subsuperficial. A partir de este análisis, el sitio puede interpretarse como un receptor predominante de agua, un transportador de agua o ninguna de estas dos funciones (Figura 1).



Nota:
Posición en terrenos ondulados a montañosos
CR = Cresta (cumbre)
UP = Pendiente alta (hombro)
MS = Pendiente media (espalda de ladera)
LS = Pendiente baja (pie de pendiente)
TS = Punta de pendiente o ladera
BO = Base (plano)

Posición en terrenos planos a casi planos
HI = Parte alta (subida)
IN = Parte intermedia
LO = Parte baja (y depresión)
BO = Base (línea de drenaje)

Fuente: Schoeneberger *et al.*, 2002.

Figura 1. Modelo de unidades del relieve y sus principales procesos relacionados a la morfogénesis y a la edafogénesis (FAO, 2009).

La forma del relieve se puede clasificar cocomo plano, concavo, convexo, terraceado y completo (irregular). Mientras que la forma de la pendiente se refiere a la forma general de la pendiente en ambas direcciones: vertical y horizontal (Figura 2).

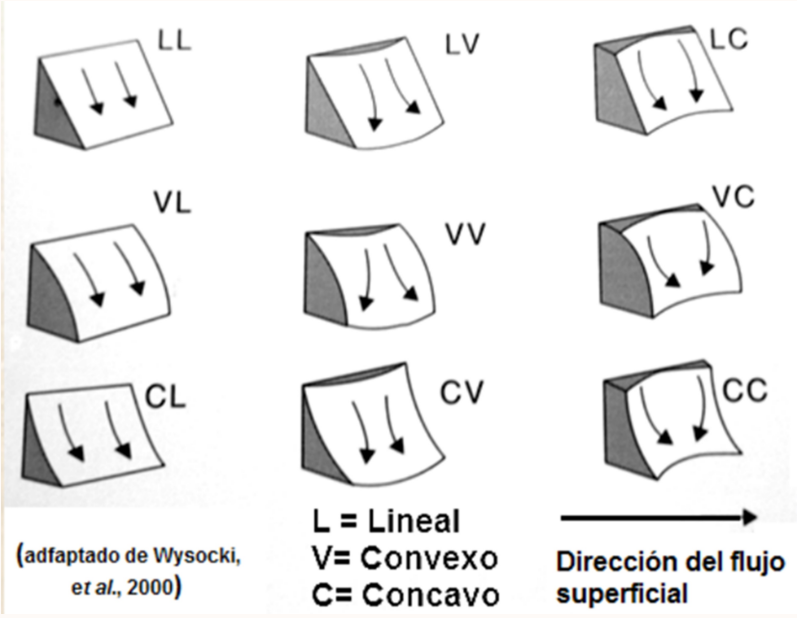


Figura 2. Formas del relieve (Schoeneberger et al., 2002).

Grado de pendiente: este parámetro se determina mediante dos métodos. La primera y más importante forma se basa en mediciones actuales realizadas directamente en el campo. La segunda opción consiste en asignar el terreno a una de las clases predefinidas; estas clases pueden requerir modificaciones para adecuarse a las condiciones topográficas locales (Tabla 8).

Tabla 8. Clases de gradientes de la pendiente (FAO, 2009).

Descripción %	
Plano	0-0,2
Nivel	0,2-0,5
Cercano al nivel	0,5-1,0
Muy ligeramente inclinado	1,0-2,0
Ligeramente inclinado	2-5
Inclinado	5-10
Fuertemente inclinado	10-15
Moderadamente escarpado	15-30
Escarpado	30-60
Muy escarpado	> 60

El efecto de los factores y procesos formadores del suelo dan lugar al perfil del suelo (Figura 3) (Gisbert-Blanquer, Ibáñez-Asensio y Moreno-Ramón (s/a)). Los factores principales son el material de origen, el clima, la vegetación, otros organismos del suelo, el relieve, el tiempo y la actividad productiva humana.

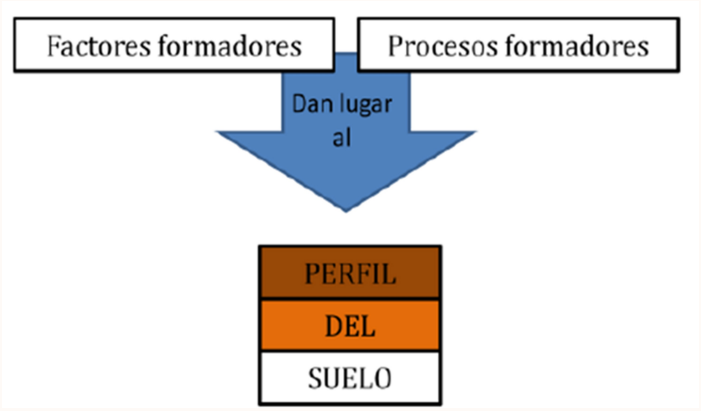


Figura 3. Factores y procesos formadores en la formación del perfil del suelo.

El objetivo es identificar cuáles de estos factores se manifiestan en el área de estudio. Se debe establecer en qué dirección promueven los cambios en las propiedades del suelo. Para ello, se utilizarán los resultados del análisis de indicadores, los cuales se revisarán con apoyo del manual, con especial atención a los factores limitantes identificados en el sitio de estudio.

El tiempo geológico es un elemento importante al analizar las causas de las condiciones actuales del suelo. Según la FAO (2009), la edad del paisaje es una información clave de la cual se puede derivar la posible duración de los procesos de formación. Debido a que muchos suelos se forman a partir de materiales pre-intemperizados o transportados, o derivan de un ensamblaje de materiales autóctonos, fluviales y eólicos, con frecuencia es difícil obtener información precisa.

Sin embargo, una estimación contribuye a interpretar los datos del suelo y la interacción entre sus diferentes procesos formadores. Esta estimación también puede indicar posibles cambios climáticos ocurridos durante la formación del suelo, tal como se documenta en el Manual de la FAO (2009).

La información obtenida con los indicadores anteriores sirve de base para aquellos parámetros que se pueden medir. Estos últimos se relacionan principalmente con la morfología del suelo y con otras características de interés para el especialista agrícola y los productores (Olivera Sánchez & Vellaneda-Torres, 2018).

La evaluación cualitativa de la salud del suelo en áreas agrícolas no requiere necesariamente análisis especializados. Esta evaluación se basa en la información proveniente de la observación y la interpretación de las características del suelo, que usualmente se realiza mediante un análisis visual, táctil u olfativo (Moebius-Clune et al., 2016).

Conocer la clasificación del suelo mediante un sistema nacional o internacional, como la Base Referencial Mundial del Recurso Suelo (*World Reference Base for Soil Resources*) (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007), proporciona información valiosa sobre sus características. Dicha información puede obtenerse de un extensionista agrario, en un centro de estudio o investigación cercano al área de estudio, o incluso por internet.





4. EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DE LOS SUELOS (EOS)

El suelo es un producto natural que se ha formado a lo largo de miles de años. Durante este proceso, diversos factores regionales han influido en sus características y propiedades específicas (Figura 4). En la formación de los suelos se establece un equilibrio entre su desarrollo y las condiciones del medio.

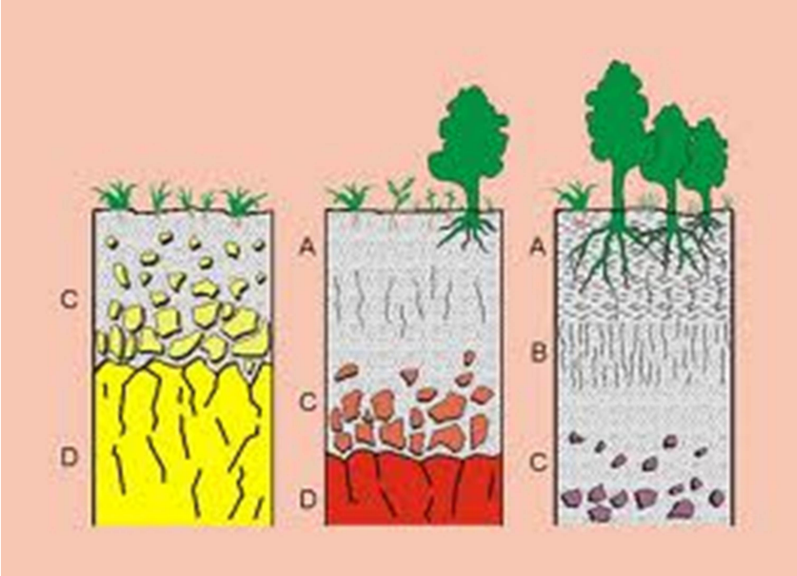


Figura 4. Edafogénesis: proceso de formación del suelo (Salgado & Guijarro Calleja, 2012).

Este equilibrio determina que los suelos presenten distintos grados de productividad para cada tipo específico de cultivo. Hernández-Jiménez et al. (2010) precisó que durante su formación el suelo adquiere rasgos y características particulares. Estos rasgos se manifiestan en su morfología y en sus propiedades físicas, químicas, hidrofísicas y mineralógicas; a estas podrían añadirse las propiedades biológicas.

El desarrollo de la civilización y el aumento de la población mundial incrementan la demanda de alimentos. Esta demanda se satisface a expensas de un mayor grado de explotación de los suelos. Los suelos en la agricultura son útiles como (Zita-Fernández, 2021):

- Medio para el crecimiento de las plantas y otros organismos.
- Soporte mecánico para las raíces de las plantas.
- Sistema con efecto descontaminante, que contribuye a la limpieza del agua subterránea.
- Depósito de almacenamiento de aire.
- Suplemento mineral para los seres vivos mediante el ciclo de nutrientes.
- Sistema de retención del carbono.
- Elemento de regulación del clima y de las inundaciones.
- Fuente de recursos farmacéuticos y recursos genéticos.
- Parte de la herencia cultural.
- Suministro de alimentos, fibras y combustibles.

El suelo es un medio complejo compuesto por fases sólidas, líquidas y gaseosas. En él conviven multitud de seres vivos y se producen interacciones que modifican sus propiedades. Estos procesos determinan una variabilidad horizontal, vertical y temporal. Dicha variedad resulta de factores tanto naturales como antrópicos (Tabla 9).

Tabla 9. Factores que determinan la variabilidad de las propiedades de un suelo (Torri, 2024).

Naturales	Antrópicas
Geología y material parental	Tipo de laboreo del suelo
Topografía	Encalado
Clima	Cultivo previo
Profundidad de los suelos	Fertilización
Textura	Abonos orgánicos
Tipo de vegetación natural	Pastoreo
	Riego y Drenaje

La capacidad de un tipo específico de suelo para funcionar dentro de los límites de los ecosistemas naturales se denomina "calidad del suelo" (Gómez-Giraldo, 2013). Esta capacidad sostiene la productividad vegetal y animal, mantiene o mejora la calidad del agua y del aire, y además apoya la salud y la vivienda. La salud y la calidad del suelo dependen de tres componentes principales, como se muestra en la figura 5.

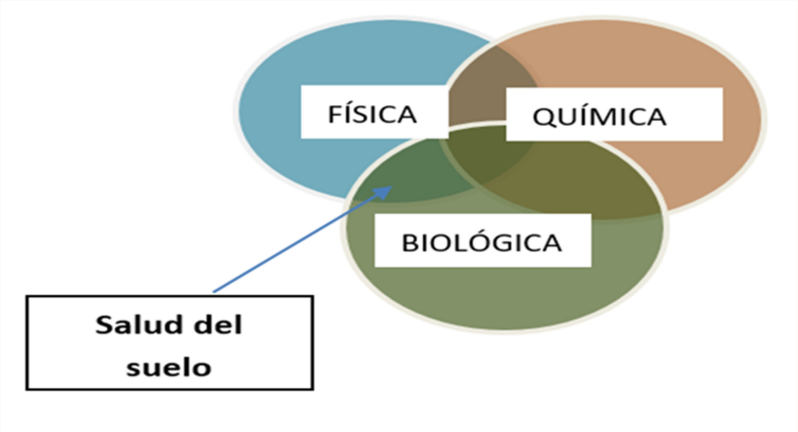


Figura 5. Componentes de la salud del suelo (modificado de Moebius-Clune et al., 2016).

La mayoría de los suelos, cuando se utilizan en la agricultura, presentan afectaciones de carácter físico, físico-químico, químico o biológico. Estas afectaciones a menudo aparecen interrelacionadas y tienen consecuencias negativas. Afectan los rendimientos y la calidad biológica de los cultivos, y dejan una secuela en el suelo que sustenta las plantaciones.

Por ello, se consideran tres grandes grupos de indicadores necesarios para caracterizar un suelo en sus funciones principales (USDA, 1999). Estos indicadores evalúan la capacidad de sostén mecánico para las plantas, su función como reservorio de nutrientes y agua, y su rol como sustrato para organismos. Los grupos de indicadores son:

- Propiedades físicas (textura, estructura, disponibilidad de agua para los cultivos …) e hidrofísicas de los suelos (permeabilidad, infiltración …).
- Propiedades químicas y físico-químicas de los suelos (tipo de coloides minerales y orgánicos, materia orgánica, disponibilidad de nutrientes, pH, capacidad de cambio de bases (CCB), capacidad de cambio catiónico (CCC) …).
- Propiedades biológicas de los suelos (organismos, como lombrices…).

En estos indicadores se pueden identificar dos grandes grupos de análisis. El primero sirve para un diagnóstico de la capacidad productiva, el cual está muy relacionado con las condiciones químicas, físico-químicas y biológicas de los suelos. El segundo grupo considera el diagnóstico de la disponibilidad de nutrientes, que también es necesario para conocer la capacidad productiva.

Esta información sirve como base para la clasificación del suelo y la evaluación del sitio. Además, permite realizar interpretaciones sobre la génesis y las funciones medioambientales del suelo. Estas herramientas son útiles para guiar, ayudar en la explicación y regular el costoso trabajo de laboratorio, y también pueden prevenir errores en el muestreo (FAO, 2009).

En este contexto, las personas que hacen uso de este recurso natural juegan un papel fundamental. En muchas ocasiones no utilizan las tecnologías más adecuadas, lo que disminuye la fertilidad, aumenta la erosión y la salinidad, y reduce el drenaje. Estas prácticas afectan la biota del suelo y otras propiedades, y la corrección de este daño requiere mucho tiempo y resulta muy costosa.

Por ello, se hace indispensable conocer en qué estado se encuentra el suelo y qué tan funcional es, para así tomar las decisiones pertinentes de uso y manejo. El análisis de suelos cumple un papel fundamental en los diagnósticos de calidad. Este análisis permite reconocer de manera puntual cada una de las características físicas, químicas, físico-químicas y biológicas del suelo (Gómez-Giraldo, 2013).

La FAO (2009) estableció como objetivo principal de la investigación en la ciencia del suelo la comprensión de la naturaleza, propiedades, dinámicas y funciones del suelo como parte del paisaje y los ecosistemas. Un requerimiento básico para lograr ese objetivo es la disponibilidad de información confiable sobre la morfología de los suelos y otras características. Esta información se obtiene a través del estudio y la descripción del suelo en el campo.

Se trata de definir lo siguiente:

- ¿Están ocurriendo cambios y en qué dirección? Se debe establecer si estos cambios son positivos o negativos.
- ¿Qué está cambiando? Es necesario identificar los elementos específicos que presentan variación.
- ¿Cuál es la magnitud de los cambios? Se requiere cuantificar la extensión de las alteraciones.
- ¿Cuán rápidamente ocurren esos cambios? Se debe determinar la tasa o velocidad del proceso de cambio.
- ¿Qué procesos de cambio están ocurriendo? Es preciso reconocer los mecanismos involucrados.
- ¿Por qué se han iniciado esos procesos de cambio? (Benites-Jump, 2001). Se necesita identificar las causas subyacentes.

Para responder a estas interrogantes, es necesario recolectar información o datos primarios. Estos datos, una vez analizados, se convierten en indicadores de la calidad y la salud del suelo. Dichos indicadores pueden dar lugar a índices o permiten realizar comparaciones con índices existentes. Estos índices ayudan a una interpretación objetiva de la situación en la región estudiada.

El objetivo principal de la información obtenida consiste en realizar una evaluación integral de la salud y la calidad del suelo en estudio. Este proceso también evalúa el estado nutricional de los cultivos. Identifica los factores que limitan la productividad de los suelos en la región de estudio. Finalmente, integra toda la información con el propósito de proponer sistemas sostenibles para el manejo de los suelos y la nutrición de los cultivos.

Como inicio del trabajo con el manual, se debe seleccionar un área representativa de la región donde se trabajará. En esta área se preparan varias excavaciones que muestren perfiles del suelo para realizar las observaciones. Estas excavaciones se denominan calicatas.

Una calicata consiste en una excavación con una profundidad de alrededor de un metro y medio. La excavación se realiza hasta alcanzar el material de origen, en el caso de suelos poco profundos. Es útil dejar tres paredes verticales y una en forma de rampa para facilitar el acceso, a menos que se cuente con una escalera. La descripción del suelo se realiza en la pared opuesta a la incidencia directa del sol (Figura 6).



Figura 6. Ejemplo de calicata (Garrido Valero, 1994).

Se puede aprovechar algún perfil natural ya existente, siempre que no se encuentre deteriorado. En estos casos, se debe retirar una capa superficial de 2 a 3 cm del perfil. Este procedimiento permite observar con claridad las características de cada horizonte del suelo. De esta forma, se expone el suelo verdadero sin influencias externas, el cual manifiesta toda la información necesaria (Figura 7).



Figura 7. Ejemplo de perfil que se puede aprovechar para evaluar las propiedades de los suelos (tomado de Jaramillo, 2002).

4.1. Evaluación Visual del Suelo (EVS)

Hewitt y Des McGarry desarrollaron una metodología de bajo costo y eficaz para la evaluación de indicadores de calidad del suelo. Esta metodología utiliza un mínimo de actividades de laboratorio y sirvió de base para el método de Evaluación Visual del Suelo (EVS) promovido por la FAO. El método se fundamenta en el uso de indicadores visuales y táctiles de la salud y calidad del suelo, tales como:

- Textura
- Estructura
- Consistencia
- Compactación y piso de arado
- Color y moteados
- Porosidad
- Costras superficiales
- Cobertura, etc.
- Presencia de lombrices
- Evidencias de salinidad y carbonatos en el suelo
- Macro y meso fauna

El método también considera indicadores de la salud de los cultivos, entre los que se incluyen:

- Síntomas de deficiencias y excesos de nutrientes
- Comportamiento de los cultivos
- Salud del sistema radical
- Resultados de encuestas sobre el estado del suelo y el comportamiento de las plantas

Estos indicadores se organizan en un cuadro sinóptico, como la tabla 10, según las propuestas de Shepherd et al. (2008), Noellemeyer et al. (2021) y la FAO (2015b).

Adicionalmente, se han incluido otros indicadores propios de las propiedades químicas, físicas y biológicas de los suelos, así como del desarrollo de los cultivos. Estos indicadores refuerzan o complementan la evaluación inicial. Se trata de indicadores dinámicos que son sensibles a los cambios bajo diferentes regímenes de manejo del suelo y la planta, y a las presiones por el uso de la tierra. Por lo tanto, constituyen una herramienta eficaz para la supervisión y la alerta temprana de cambios en la condición del suelo (FAO, 2020; Sastre-Rodríguez et al., 2008).

El método original se detalla de forma integral en el manual de Shepherd et al. (2008). Este manual es la base de los trabajos posteriores como el de Valdivia et al. (2019), entre otros.

Los objetivos del EVS se resumen de la siguiente manera:

- Implementar medidas correctivas sobre problemáticas identificadas.
- Establecer planes de manejo del suelo y de nutrición de los cultivos.
- Monitorear los cambios en el suelo con la aplicación de diversos tipos de agricultura, a partir de las modificaciones en las propiedades físicas y biológicas del suelo.
- Comparar tratamientos de manejo de suelos dentro de un programa de investigación.
- Realizar mediciones periódicas a lo largo del tiempo para monitorear los cambios en la calidad del suelo. Este monitoreo se plantea a mediano plazo (tres años) para suelos arcillosos y a largo plazo (más de cinco años) para suelos arenosos.

Shepherd et al. (2008) consideron 10 indicadores principales. Para su análisis, se utilizan fotografías o gráficos que muestran tres condiciones posibles de cada indicador. La evaluación de estos indicadores se realiza conforme a la tabla 10, lo que proporciona una evaluación semicuantitativa de la salud del suelo. En el presente manual, se utilizan principalmente las propuestas de Benites-Jump (2001), Valdivia et al. (2019) y Noellemeyer et al. (2021).

Tabla 10. Tarjeta de la evaluación y cálculo de los indicadores y del índice de calidad del suelo, modificado de Shepherd et al. (2008) y Noellemeyer et al. (2021).

Tarjeta para la evaluación visual de la calidad de los suelos agrícolas					
Propietario			**Uso del suelo**		
Ubicación del Sitio o potrero			**Coordenadas**		
Ambiente			**Fecha**		
Profundidad de la muestra			**Clasificación taxonómica**		
Posición en el relieve			**Clasificación de uso**		
Clase textural en la superficie	Arenoso	Franco	Limoso	Arcilloso	Otra
Humedad	Seco	Poco Húmedo	Húmedo	Muy Húmedo	Mojado
Condiciones climáticas de la estación	Seca	Húmeda	Fría	Cálida	Promedio
INDICADORES VISUALES DE CALIDAD DE SUELOS		**Evaluación Visual (EV)** **0= Condición pobre** **1= Condición moderada** **2= Condición buena**		**Ponderación**	**EV**
Textura		Tabla 27		x3	
Estructura		Figura 10		x3	
Porosidad		Figura 58		x3	
Color		Figura 62		x2	
Moteados (número y color)		Figura 64		x2	
Lombrices/Macrofauna (Número y tamaño medio)		Figura 75 Tabla 57		x3	
Profundidad de raíces (m)		Tabla 34		x3	
Compactación y pie de arado		Figura 56		x3	
Encharcamiento		Tabla 11		x1	
Costras/cobertura		Figura 15		x2	
Erosión eólica/hídrica		Figura 16		x2	
Salinidad/alcalinidad		Figura 68		x3	
ÍNDICE DE CALIDAD DE SUELO (Suma de puntajes EV)					
Evaluación de la calidad del suelo				**Índice de Calidad**	
NOTAS		Pobre		0-30	
		Moderado		30-45	
		Bueno		45-60	

La evaluación de la salud y calidad del suelo y las plantas se realiza, en primer lugar, mediante fichas o tarjetas. En estas se incluyen los principales indicadores, se asigna una ponderación a cada información y se efectúa una Evaluación Visual (EV) de cada uno. Posteriormente, se realiza una evaluación integrada de toda la información cuantitativa sobre la calidad del suelo y las plantas. Con toda la evaluación cuantitativa y cualitativa es posible caracterizar cada lote agrícola. Adicionalmente, el manual incluye un grupo de indicadores complementarios que permiten profundizar en la determinación de los factores limitantes del suelo y las plantas.

Al trabajar con las tarjetas, luego de observar el suelo, debe asignarse un valor o calificación visual para cada indicador. La escala definida es: 0 para condición pobre, 1 para condición moderada y 2 para condición buena. A continuación, se describe el procedimiento para recolectar una muestra de suelo. También se presenta un breve resumen de la importancia de cada indicador y el método para realizar su medición.

Otro elemento importante de esta técnica es el factor de corrección para cada indicador, el cual responde a la importancia reconocida de cada uno de ellos. Se reconoce que, de acuerdo al tipo de cultivo y a las condiciones generales del área en estudio, algunos indicadores tienen mayor relevancia que otros y, por lo tanto, un peso diferente. Por ello, en el epígrafe "Evaluación organoléptica de la salud de los cultivos" se presentan varias tarjetas que pueden utilizarse para cultivos y condiciones similares. Esta tarjeta es propia de cultivos anuales.

La asignación de valores a cada indicador depende de la calidad del suelo observada en la muestra. Esta observación se realiza con apoyo de las tres fotografías mostradas en el manual o mediante las descripciones contenidas en las tablas.

La puntuación visual es flexible. Si la muestra que se evalúa no coincide exactamente con alguna de las fotografías o descripciones, pero presenta similitudes, es posible asignarle una puntuación intermedia, como 0,5 o 1,5. Dado que en el suelo algunos indicadores pueden ser relativamente más importantes para la calidad que otros, la EVS los considera mediante un factor en una escala que varía de 1, 2 y 3. El total de la puntuación de los indicadores evaluados provee un valor que indica la calidad de un suelo: bueno, moderado o pobre. A menudo, los resultados de esta práctica ayudan a identificar qué cualidades del suelo constituyen una limitante productiva. Esta identificación permite planificar acciones correctivas o paliativas para mejorar su rendimiento (Benites-Jump, 2001).

Cuando sea procedente, estos indicadores también se evaluarán por otros métodos. Esto posibilita realizar un análisis integral con todos los indicadores que se estudiarán.

Adicionalmente a la evaluación de la salud o calidad del suelo, el manual incluye valores relacionados con la calidad de los cultivos. Asimismo, presenta una comparación entre ambos resultados: los del suelo y los de los cultivos.

¿Cómo se realiza la Evaluación Visual del Suelo?

Se describirá el proceso de evaluación de acuerdo a los métodos de Shepherd et al. (2008) y Valdivia et al. (2019).

Para realizar la evaluación se necesita un conjunto mínimo de recursos. La lista incluye los siguientes elementos indispensables:

- Una barrena para muestras de suelo o un pico y una pala.
- Una cubeta de plástico con dimensiones aproximadas de 35x35x19 cm, cuyo propósito es contener la tierra durante la prueba de caída y rotura de agregados.
- Un balde o cubo plástico con capacidad de 12 a 20 litros.
- Una bolsa plástica o saco de alrededor de 20x40 cm, junto con varias bolsas adecuadas para contener 1 kg de suelo o de hojas de plantas.
- Un recipiente con aproximadamente 5 litros de agua.
- Una cinta métrica y un cuchillo.
- La guía de campo del método de EVS, necesaria para hacer las comparaciones fotográficas.
- Tarjetas de calificación específicas para anotar la puntuación de cada indicador de calidad, las cuales están separadas para suelo de áreas cultivadas y para pastoreo en tierras planas y onduladas.
- Una lona o manta plástica.
- Una tabla dura cuadrada de aproximadamente 26x26x1,8 cm, que se encaja en el fondo de la cubeta; sobre esta tabla se deja caer el cubo de tierra para la prueba de rotura de agregados.

Además, sería favorable contar con una barrena para muestras de suelo. También se recomienda tener un pomito con ácido clorhídrico al 10 % o con vinagre.

¿Cuándo efectuar la prueba (EVS)?

El momento del muestreo posee gran importancia, ya que las condiciones del suelo varían según las estaciones del año, como verano e invierno o épocas de seca y de lluvia. Estas condiciones también dependen del manejo del suelo y de los sistemas de labranza implementados.

Para los suelos de cultivo, se debe realizar una prueba anual después de la cosecha y antes de iniciar las siguientes labores de cultivo. Existe la opción de efectuar una segunda prueba al finalizar dichas labores de cultivo. En el caso de los suelos de pastoreo, la prueba se realiza una vez al año, preferiblemente a finales del invierno o principios de la primavera.

La prueba debe efectuarse una vez por año en cada lote y en el mismo periodo cada año. Esta periodicidad permite detectar los cambios que ocurren a través del tiempo con las prácticas de restauración de suelos que se hayan implementado. Para los planes de fertilización, la EVS se debe realizar entre los meses de abril y mayo, y repetirse cada dos años.

Este método es válido para un amplio rango de humedad del suelo, pero se obtienen mejores resultados cuando el suelo presenta una humedad adecuada, correspondiente al límite inferior de plasticidad. Se recomienda que el suelo esté ligeramente húmedo y se deben evitar las condiciones de sequedad extrema o de humedad excesiva.

Si existe incertidumbre sobre la humedad del suelo, se puede aplicar la "prueba del gusano". Para ello, se toma una porción de suelo en la palma de la mano y se intenta enrollar con los dedos para formar un cilindro de 50 mm de largo y 4 mm de diámetro. Si el suelo cruje, se rompe antes de completar el cilindro o no es posible formarlo, como en suelos arenosos, significa que la humedad es suficiente para la prueba. Por el contrario, si se logra formar el gusano, es una señal de que el suelo está demasiado húmedo para realizar la evaluación (Benites-Jump, 2001).

Para el monitoreo de cambios a largo plazo, es esencial evaluar siempre los mismos sitios dentro del terreno. Asimismo, los muestreos deben realizarse bajo condiciones de humedad similares en cada ocasión, con el fin de reducir la variabilidad en los resultados.

El procedimiento para recolectar las muestras de suelo con vista a la evaluación visual se detalla a continuación, para ello se integran criterios de Benites-Jump (2001), Shepherd et al. (2008) y Valdivia et al. (2019):

- Se debe identificar el área donde se realizarán las pruebas, ya sea suelo agrícola, potrero, área de hortalizas u otros. Se recomienda un mínimo de tres muestreos o evaluaciones por cada uno de los sectores definidos durante el mapeo del terreno.
- Dentro del área a evaluar, es necesario identificar sitios relativamente homogéneos. Estos sitios deben ser parecidos en cuanto a pendiente, grado de erosión, tipo de cobertura y sistema de labranza, entre otros factores.
- La evaluación visual se debe realizar en suelo sin remover o no perturbado. Se deben evitar las áreas que hayan tenido un tráfico mayor que el resto del campo. No obstante, la prueba puede aplicarse para evaluar efectos específicos, como el impacto del tráfico continuo, mediante la comparación de áreas afectadas con áreas sin tráfico.
- Los muestreos se deben realizar a una distancia mínima de ocho metros de las cercas del terreno o de lugares con alteraciones puntuales no naturales en el suelo. Si en el terreno existen obras de curvas a nivel, como barreras vivas o muertas, el muestreo se debe realizar en el punto medio entre estas obras.
- Es importante seleccionar sitios de referencia, como tomar una muestra de tierra bajo un cerco, un bosque o un área protegida comparable. Esto permite una mejor valoración de indicadores como la estructura, la porosidad y el color del suelo. También se pueden tomar muestras de suelos o plantaciones que se consideren ejemplos de buena o mala calidad, o de cultivos con desarrollo óptimo o deficiente, para establecer comparaciones.

Muestreo de suelo: El método original de Shepherd et al. (2008) orienta a excavar un agujero pequeño con una pala o azada. Este agujero debe tener aproximadamente 20 x 20 cm de área y 30 cm de profundidad, para observar la uniformidad del suelo y la presencia de capas friables o compactas. Un cuchillo puede ser de utilidad para esta observación.

Se debe limpiar el material vegetal grueso en el sitio seleccionado para el muestreo. En caso de que exista vegetación en crecimiento, solo se debe cortar el follaje y dejar las raíces dentro del suelo.

Si la superficie del suelo aparece uniforme, se debe extraer con una pala cuadrada un cubo de suelo de 20 cm de largo, 20 cm de ancho y 20 cm de profundidad. Se debe tener cuidado de que la muestra no se desbarate al momento de extraerla.

Es posible tomar una muestra a cualquier profundidad deseada, pero se debe asegurar que el volumen total equivalga a 20 cm^3. Por ejemplo, si los primeros 10 cm de la superficie del suelo están compactados y se desea evaluar esta condición, se deben extraer dos muestras de 20 x 20 x 10 cm, una a cada profundidad (Figura 8).



Figura 8. Extracción de la muestra de suelos para el método EVS (Benites-Jump, 2001).

En este momento se realiza la denominada prueba de los fragmentos. El cubo de suelo extraído se levanta a una altura de un metro y posteriormente se deja caer sobre un saco o plástico. Si los terrones que quedan son todavía grandes, se vuelven a levantar y a dejar caer desde una altura similar. Una vez que se extiende la tierra, se ubican los terrones más grandes en un extremo y los terrones más finos en el otro extremo, como se muestra en la figura 9.



Figura 9. Prueba de los fragmentos (Valdivia et al., 2019).

Se procede a observar los terrones con detenimiento. Si se detecta alguna rajadura o fisura, se ejerce una presión leve para separar las partes. Si los terrones no se logran separar, no se continúa con este procedimiento. A continuación, se compara el resultado de la distribución de los agregados con las tres fotografías de la figura 10 y con el criterio descriptivo que las acompaña.

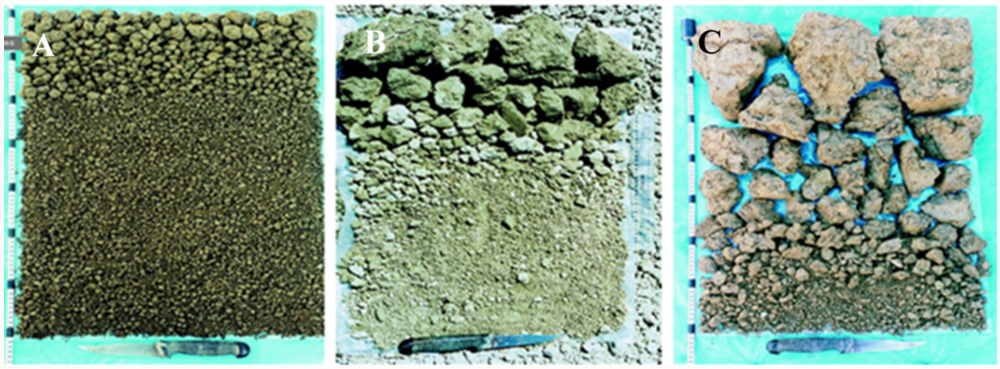


Figura 10. Láminas para evaluar la estructura del suelo mediante la prueba de fragmentos. A) Condición buena; B) Condición moderada y C) Condición pobre (Shepherd, 2010).

Los criterios son los siguientes:

Condición buena VS = 2 Se presenta una buena distribución de agregados friables finos, sin aterronamiento significativo.

Condición moderada VS = 1 El suelo contiene proporciones significativas, tanto de terrones gruesos firmes como de agregados friables finos.

Condición pobre VS = 0 El suelo está dominado por terrones extremadamente gruesos, con pocos agregados finos.

Esta comparación provee una medida de la distribución de los tamaños de los agregados. Constituye la primera evaluación física del método EVS, la cual corresponde a la estructura y la consistencia del suelo. Cabe señalar que esta prueba es más efectiva en suelos de textura limo arenosa o arenosa si la altura desde la que se suelta la muestra es de 50 cm.

La presencia de terrones en la superficie del suelo también se puede evaluar de manera directa en el campo. Para ello, se compara la situación observada entre las hileras de un cultivo con las fotografías que se muestran en la figura 11.



Figura 11. Evaluación de la presencia de terrones en los suelos. A) Condición buena; B) Condición moderada y C) Condición pobre (Alaoui,2018).

Los criterios para esta evaluación son:

Condición buena EVS = 2 Buena distribución de los áridos friables, más finos y sin terrones significativos.

Condición moderada EVS = 1 El suelo contiene proporciones significativas, tanto de terrones gruesos y firmes como de agregados finos friables.

Condición mala EVS = 0 El suelo está dominado por terrones gruesos, muy firmes y con menos agregados finos. La resistencia de los terrones es alta.

La presencia de muchos terrones terrosos es un indicador de que el suelo se ha degradado. Este grado de degradación implica que el suelo no puede mantener un lecho de semillas bien agregado durante toda la temporada de crecimiento.

Finalmente, luego de recolectar la muestra de 20 centímetros cúbicos, se debe continuar la excavación. Este proceso se extiende hasta llegar a una capa compacta de suelo o hasta donde aparezcan cambios claros de color, según se ilustra en la figura 12.

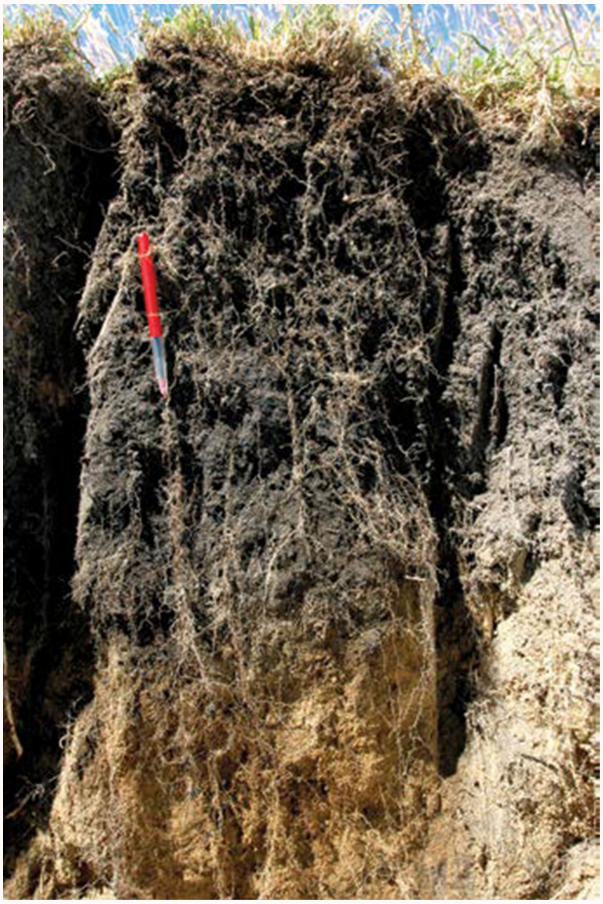


Figura 12. Ejemplo de excavación para continuar los estudios de las características del suelo (FAO, 2020).

Este manual incorpora un mayor número de observaciones que el método original, por lo que en algún momento será necesario preparar una calicata de mayor tamaño o aprovechar perfiles del suelo originales que estén expuestos. Esta excavación permite realizar observaciones sobre diversas características del perfil, como la profundidad de enraizamiento de las plantas en el suelo, la presencia de antiguos canales radicales o de lombrices, y la existencia de grietas y fisuras que puedan servir como vías de extensión para las raíces.

Es necesario considerar también indicadores como un engrosamiento excesivo de las raíces, el cual puede resultar de una alta resistencia a la penetración, o si las raíces se ven forzadas a crecer horizontalmente, fenómeno conocido como síndrome del ángulo recto. Asimismo, se debe observar la firmeza y la estanqueidad del suelo, evaluar si presenta una coloración gris y un alto grado de gleyzación por encharcamiento prolongado, y detectar la presencia de capas endurecidas como una superficie compactada inducida por la labranza (pie de arado), o endurecimientos férricos, silíceos o calcíticos. También es crucial identificar una transición abrupta desde un material fino y pesado hacia una capa gruesa de textura arenosa o con gravilla, ya que esta limitará el desarrollo radical.

Adicionalmente, con la ayuda de un cuchillo, se debe aflojar con cuidado la tierra que rodea las raíces para exponer el sistema radical *in situ*. Como método alternativo, se puede excavar una porción de tierra de 250 a 300 mm de profundidad alrededor de un grupo de plantas y golpear la muestra con suavidad contra el borde del agujero para dejar las raíces al descubierto. La descripción, las características principales y los procedimientos para ejecutar las observaciones y mediciones de los indicadores del método EVS se presentan dentro de las secciones correspondientes de este manual.







5. INDICADORES FÍSICOS DEL SUELO QUE SE UTILIZAN EN LA EOS

Las propiedades físicas del suelo son cruciales para el buen funcionamiento del suelo y para la productividad agrícola. Estas propiedades influyen de forma directa en el desarrollo radical, en la facilidad de penetración de las raíces, en el potencial hídrico del suelo y en su movimiento, en el intercambio gaseoso, en la absorción de agua por el sistema radical, en la temperatura y en la calidad de la preparación del suelo. Su importancia resulta fundamental para mantener la productividad de la tierra y para el crecimiento, el desarrollo y la producción de las plantas. Además, estos indicadores constituyen una base para la clasificación de los suelos (Benites-Jump, 2001).

Para evaluar el suelo del sitio de estudio, primero se registran las características de la superficie. Posteriormente, se realiza la descripción vertical del suelo hasta alcanzar el material originario, siempre que esto sea posible y práctico.

5.1. Indicadores en la superficie del suelo

5.1.1. Encharcamiento o escurrimiento superficial

Un elemento importante en las regiones tropicales, y que guarda relación con la topografía, es el encharcamiento o el escurrimiento superficial (Figura 13). Este fenómeno puede afectar el desarrollo de los cultivos, ya que un encharcamiento prolongado agota el oxígeno en el suelo y genera condiciones anaeróbicas. La falta de oxígeno induce estrés en las raíces y dificulta su respiración. Ello limita su desarrollo y crecimiento, y crea un ambiente propicio para la ocurrencia de enfermedades (Sastre-Rodríguez et al., 2008).

El encharcamiento prolongado de la superficie también hace que el suelo sea más susceptible a sufrir daños por el tráfico de la maquinaria agrícola. Esto reduce la accesibilidad para los vehículos. Como consecuencia, el anegamiento puede retrasar de manera significativa tanto la preparación del terreno como las fechas de siembra establecidas.



Figura 13. Ejemplos de encharcamiento o escurrimiento superficial (FAO, 1989; 2020).

El escurrimiento superficial se evalúa para la EVS con la determinación del tiempo que tarda en desaparecer el agua encharcada después de un periodo lluvioso o de una lluvia intensa. Este tiempo se compara con los calificadores expuestos en la tabla 11. La evaluación proporciona un indicador clave de la respuesta hidrológica del suelo.

Tabla 11. Evaluación del encharcamiento superficial para EVS (FAO, 2020).

Calificador visual (CV)	Encharcamiento superficial en suelo saturado	
	Nro. de días	Descripción
2 (Bueno)	=1	Ninguna evidencia de charcos de agua en la superficie después de trascurrido un día de la caída de lluvia intensa sobre un suelo casi saturado o ya saturado
1 (Moderado)	2- 3	Encharcamiento superficial moderado presente hasta tres días después de transcurrida una lluvia intensa sobre un suelo casi saturado o ya saturado
0 (Pobre)	> 5	Encharcamiento superficial significativo que se mantiene más de cinco días después de transcurrida una lluvia intensa sobre un suelo casi saturado o ya saturado

Bunning et al. (2016), propusieron un método más exacto que solo requiere un cilindro de metal o PVC de 0,1 m de largo y 0,1 m de diámetro con punta afilada. Este cilindro se introduce en el suelo. El método también necesita un contenedor con exactamente 0,4 L de agua y un reloj o cronómetro digital. En el método se consideran dos escenarios:

- en el primero (escenario 3D), el cilindro se presiona de forma breve y se introduce unos pocos milímetros en la superficie del suelo. Este procedimiento facilita la evaluación tridimensional del flujo de agua, el cual puede ocurrir en direcciones vertical y horizontal. Es un requisito fundamental evitar cualquier pérdida de agua fuera del suelo en el borde del cilindro.
- en el segundo (método 1D), el cilindro se empuja hacia el interior del suelo hasta una profundidad que supera su diámetro. Esta configuración produce un flujo esencialmente unidimensional. Por lo tanto, el agua fluye de manera predominante en la dirección vertical dentro de la masa de suelo.

Siempre que sea posible, se debe utilizar el método 3D. Los resultados se obtienen con mayor rapidez y los datos de tiempo son más sensibles a la conductividad hidráulica. El método 1D es más apropiado cuando el suelo se agrieta o cuando se dificulta el sellado del cilindro sobre el suelo sin que se produzcan fugas. El procedimiento es el siguiente:

- Seleccione un área nivelada y limpie con cuidado la superficie. Retire cualquier basura superficial suelta. Si hay vegetación presente, córtela cerca de la superficie del suelo y retire lo cortado.
- Coloque el cilindro de metal en la superficie del suelo y empújelo unos mm en el suelo para obtener un sello entre el cilindro y la superficie del suelo, pero asegure mínimas alteraciones dentro del cilindro.
- Humedezca previamente la superficie del suelo en el cilindro, con la aplicación de 50 a 100 mililitros (mL) de agua. Este paso es importante para reducir el componente inicial, comúnmente rápido y no estable, de la conductividad hidráulica, el cual se denomina "sortividad". En la sortividad, el suelo absorbe agua debido principalmente a fuerzas capilares y no a la gravedad.
- Después de 15 a 30 minutos, añada 0,4 L de agua al anillo, lo que equivale a aplicar 50 mm de agua de lluvia o agua de riego. (Nota: durante este humedecimiento y prehumedecimiento no se debe verter directamente agua sobre la superficie del suelo, para minimizar los cambios en esta. Aplique el agua hacia los lados internos del anillo hasta que el agua se muestre en la superficie del suelo, luego agregue suavemente el resto del agua).
- Anote el tiempo que tarda el agua en infiltrarse totalmente en el suelo.
- Las tablas 12 y 13 permiten la conversión del tiempo de infiltración hasta una clase de permeabilidad para los dos escenarios.

Nótese que el mismo "resultado" en términos de tasa de conductividad hidráulica debe interpretarse como "negativo" para las arenas y "positivo" para todos los demás suelos. Esta interpretación se realiza de la siguiente manera:

Tabla 12. Estimación simple de la conductividad hidráulica en base a un flujo 3-D (Bunning et al., 2016).

Tiempo para que 400 mL de agua se vayan de un cilindro con un diámetro de 50 mm	Conductividad hidráulica (mm/hr)	EVS	
		Negativo = arena	Positivo = otros suelos
< 10 min	> 36 horas (rápida)	0	2
>10 min a 2 horas	> 3,6 horas (media)	1	1
> 2 horas	< 1 min (muy lenta)	2	0

Tabla 13. Estimación simple de la conductividad hidráulica en base a un flujo 1-D (Bunning et al., 2016).

Tiempo para que 400 mL de agua se vayan de un cilindro con un diámetro de 50 mm	Conductividad hidráulica (mm/hr)	EVS	
		Negativo = arena	Positivo = otros suelos
< 30 min	> 36 horas (rápida)	0	2
>30 min a 10 horas	> 3,6 horas (media)	1	1
> 10 horas	< 1 min (muy lenta)	2	0

5.1.2. Costra superficial y sellado del suelo

El sellado del suelo consiste en una capa superficial con una porosidad y una aireación significativamente reducidas. Este fenómeno incrementa la densidad aparente y provoca condiciones anaeróbicas junto con una falta de permeabilidad. Es un proceso resultante del humedecimiento rápido del suelo seco, del impacto de las gotas de lluvia, del depósito de material fino o de la dispersión química, o de alguna combinación de estos factores. El secamiento posterior del suelo puede generar una capa con un aumento notable en su resistencia, la cual recibe comúnmente el nombre de "encostramiento" o "costra del suelo".

Ambos procesos afectan negativamente la germinación de las semillas y reducen la infiltración del agua, a la vez que incrementan el escurrimiento superficial. Además, prolongan la retención de agua cerca de la superficie, lo que puede dificultar el acceso de la maquinaria agrícola. El sellado (Figura 14) se presenta con el suelo húmedo, mientras que el apelmazamiento suele ser una consecuencia del anterior una vez que el suelo se seca (Shepherd et al., 2008; Blanco-Sepúlveda, 2009).

La formación de costras es más pronunciada en suelos de textura fina y con poca estructura. Estos suelos se caracterizan por una baja estabilidad de los agregados y una mineralogía propia de arcillas dispersivas.

En la figura 15 se muestran diferencias en el encostramiento. Esta figura puede utilizarse también dentro de la EVS (Sastre-Rodríguez et al., 2008).



Figura 14. Ejemplo de costra (Sastre-Rodríguez et al., 2008).



Condición buena, EVS = 2	Condición moderada, EVS = 1	Condición pobre, EVS = 0
No se aprecia significativamente la costra superficial [1]	Pequeña costra superficial con un espesor entre 1-3 mm [2]	Costra superficial con un espesor superior a 4 mm (es casi continua) [2]

Figura 15. Evaluación del encostramiento para ser utilizado en EVS (Sastre-Rodríguez et al., 2008).

El sellado es una capa delgada que se crea por el efecto del golpeo sobre el suelo desnudo. Este impacto destruye los agregados y, cuando la estructura es inestable, provoca la dispersión de los coloides. Dichos coloides rellenan los poros superficiales del suelo y generan una capa impermeable tanto al agua como al aire.

El sellado, al secarse, produce encostramiento, salvo que se formen grietas superficiales (García-Navarro, 2004). Los atributos clave del encostramiento son su consistencia en estado seco y el grosor de la costra, como se detalla en la tabla 14 (FAO, 2009).

Tabla 14. Clasificación de los atributos del encostramiento (FAO, 2009).

Grosor	(mm)	Consistencia
Ninguno		Ligeramente duro
Delgado	<2	Duro
Medio	2- 5	Muy duro
Grueso	5 - 20	Extremadamente duro
Muy grueso	> 20	

5.1.3. Erosión del suelo (Eólica/hídrica)

La erosión es uno de los procesos que más afectan la calidad de los suelos. Generalmente guarda un origen hídrico o eólico y puede ser de carácter natural o estar ocasionada por el hombre. Es importante determinar el tipo específico de erosión, aunque resulta difícil separar estas dos últimas categorías en la práctica.

En la EVS, el grado de erosión del suelo se evalúa con base en la evidencia visual actual y en el conocimiento del estado previo del sitio. Esta evaluación se realiza según el criterio presentado en la figura 16 (Benites-Jump, 2001). En la parte superior de dicha figura se muestran ejemplos de erosión eólica, mientras que en la parte inferior se presentan ejemplos de erosión hídrica.



CONDICIÓN BUENA CV = 2
Poca o ninguna **erosión hídrica**. Las profundidades de la superficie del suelo en las áreas de cuesta son <15 cm más profundo que en la cresta. La **erosión eólica** no es una preocupación: sólo algunas partículas de polvo pequeñas emanan del cultivador cuando el día es ventoso. El viento mueve el material pero queda dentro del campo.

CONDICIÓN MODERADA CV = 1
La **erosión hídrica** es moderada presentándose erosión laminar y en surcos de forma significativa. Las profundidades del suelo de la superficie en las áreas de la cuesta son 15-30 centímetros mayor que en la cresta. La **erosión eólica** es moderada, siendo significativa solo en días de mucho viento, dónde las partículas de polvo que emanan del cultivador pueden ser trasportadas.

17

CONDICIÓN POBRE CV = 0
La **erosión hídrica** constituye un problema mayor, presentándose erosión laminar, en surcos y en cárcavas o zanjones. La superficie en las áreas de la cuesta está a más de 30 centímetros de profundidad que en las crestas. La **erosión eólica** es mayor. Pueden ocurrir grandes nubes del polvo al laborar el suelo en días de mucho viento.

Figura 16. Valores de la erosión para utilizar en la EVS (Benites-Jump, 2015).

Los distintos tipos de erosión y su grado de severidad se pueden registrar de acuerdo con la clasificación que se presenta en la figura 17.



Figura 17. Ejemplo de varios tipos de erosión (Modificado de Noellemeyer et al., 2021).

La intensidad de la erosión puede interpretarse de acuerdo a la tabla 15.

Tabla 15. Evaluación de la intensidad de la erosión (Hernández, 2019).

Evaluación de la erosión	% de pérdidas
Muy fuerte	Del horizonte B entre 25 - 75%)
Fuerte	Del horizonte A desde el 75 y hasta el 25% del B
Mediana	Del horizonte A entre un 25 y un 75%)
Poca	Del horizonte A menor del 25%)
Sin erosión	0

Debe otorgarse mayor énfasis a la erosión acelerada o inducida por el hombre, con el objetivo de definir si el proceso erosivo se mantiene activo o si ocurrió en el pasado. En la tabla 16 se presentan los diferentes tipos de erosión clasificados de acuerdo a su velocidad. Las figuras 18 y 19 muestran ejemplos de erosión por láminas, por surcos y por barrancos, las cuales facilitan la interpretación y el uso de la tabla 10

Para realizar el diagnóstico de la erosión mediante el método EVS, se puede utilizar la figura 20. Con frecuencia, el grado de erosión presenta un carácter intermedio entre dos imágenes de referencia. En ese caso, deben emplearse valores intermedios para el EVS, tales como 1,5 o 0,5.

Tabla 16. Clases de erosión acelerada (Soil Science Division Staff, 2017).

Clase de erosión	Criterio
Viento	Degradación por el viento
Agua	Remoción por agua corriente
Laminar	Perdidas de suelo relativamente uniforme; no se observan canales
Por surcos	Pequeños canales, pueden ser borrados por laboreo convencional)
Cárcavas	Grandes canales (no pueden ser borrados por laboreo convencional
Túnel	Vacíos bajo la superficie del suelo que son alargados por agua corriente



Figura 18. Ejemplo de erosión por surco y erosión laminar (Roundy, 2023).



Figura 19. Ejemplo de un barranco (o cárcava) causado por erosión (Roundy, 2023).

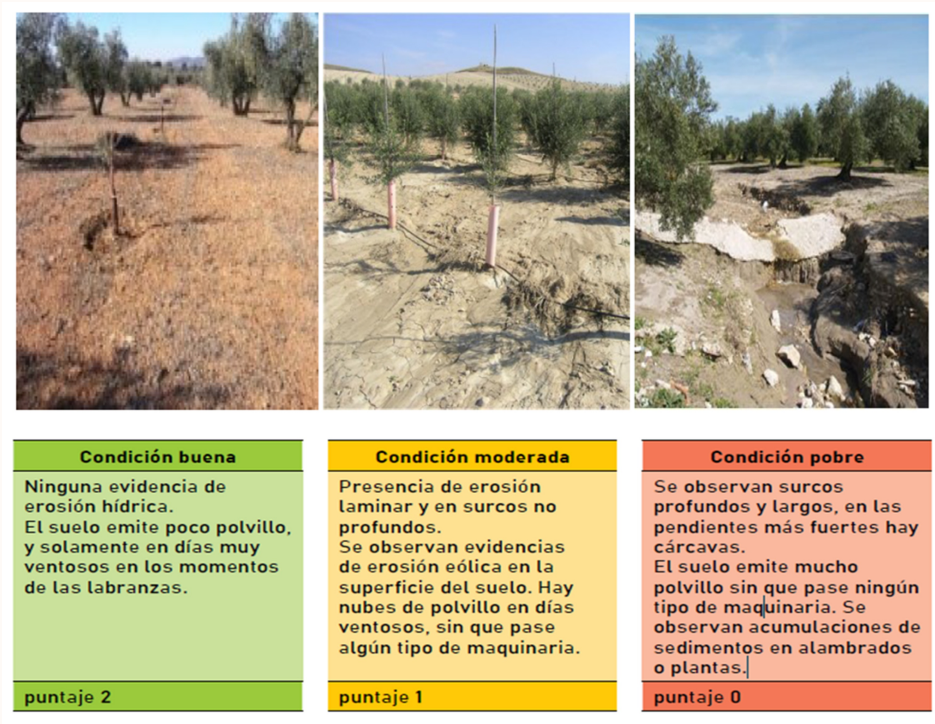


Figura 20. Evaluación de la erosión en el método EVS (Integrado de Sastre-Rodríguez et al., 2008 y Noellemeyer et al., 2021).

5.1.4. Afloramientos rocosos

La exposición de la roca madre y la presencia de fragmentos gruesos de rocas pueden limitar el uso de equipamiento de mecanización agrícola, como se ilustra en la figura 21. Los afloramientos rocosos requieren una descripción que especifique su porcentaje de cobertura en la superficie, complementada con información relevante sobre su tamaño, espaciamiento y dureza (FAO, 2009).



Figura 21. Afloramientos rocosos (Soil Science Division Staff, 2017).

También es posible encontrar en la superficie del suelo un conjunto de objetos poco solubles en agua, o materiales creados, modificados o transportados desde su fuente por la acción humana; algunos autores los denominan "artefactos". Estos elementos se clasifican generalmente como particulares o discretos, según su tamaño. Los particulares poseen un diámetro de 2 mm o menos, mientras que los discretos presentan un diámetro de 2 mm o más (USDA, 2014).

Las rocas, los fragmentos minerales de tamaño grande (>2 mm) y los artefactos se describen con base en varios criterios. Estos criterios incluyen su abundancia, tamaño, forma, estado de intemperización y la naturaleza de los fragmentos. La tabla 17 muestra las clases recomendadas para el porcentaje de cobertura en la superficie del suelo y la distancia promedio entre afloramientos, ya sean singulares o agrupados en clúster. Para calcular el porcentaje de cobertura, se puede utilizar la figura 22.

Tabla 17. Clasificación recomendada de afloramientos rocosos (FAO, 2009).

Cobertura en la superficie		%	Distancia entre afloramientos rocosos (m)	
N	Ninguna	0		
V	Muy poca	0-2	1	>50
F	Poca	2-5	2	20-50
C	Común	5-15	3	5-20
M	Mucha	15-40	4	2-5
A	Abundante	40-80	5	<2
D	Dominante	>80		

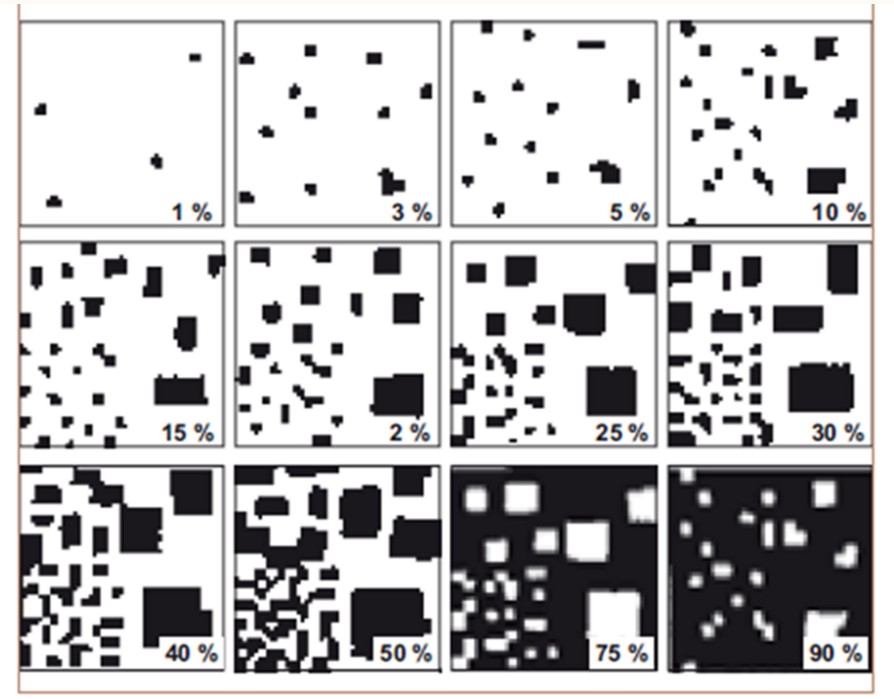


Figura 22. Relación porcentual para fragmentos gruesos, moteados, concreciones y otros (FAO, 2009).

Otra clasificación que se puede utilizar es la siguiente (FAO, 2009):

Clase 0: Ninguna o muy pocas rocas. No hay afloramientos o son insuficientes para interferir con la labranza. Se halla expuesto menos del 2% del lecho rocoso.

Clase 1: Moderadamente rocoso. Existe suficiente exposición de roca para interferir con la labranza, pero no impide las labores entre líneas. Según su distribución, los afloramientos están separados de 35 a 100 metros y cubren del 2 al 10% de la superficie.

Clase 2: Rocoso. La exposición de rocas es suficiente para impedir las labores entre líneas. Sin embargo, el suelo puede trabajarse para cultivos henificables o pastizales mejorados si las demás características del suelo son favorables. Las rocas expuestas se hallan separadas de 10 a 35 metros y cubren del 10 al 25 % del área.

Clase 3: Muy rocoso. El afloramiento rocoso es suficiente para impedir el uso de máquinas, con excepción de maquinaria ligera, siempre que las otras características del suelo sean especialmente favorables para pastizales mejorados. La roca expuesta, o los rodales de suelo sobre roca demasiado delgados para ser usados, se encuentran separados entre sí de 3,5 a 10 metros. Cubren del 25 al 50% de la superficie, según su distribución.

Clase 4: Extremadamente rocoso. Existe suficiente afloramiento rocoso, o suelo muy delgado sobre roca, para impedir el uso de toda maquinaria agrícola. Los afloramientos rocosos están separados 3,5 metros o menos y cubren del 50 al 90% del área.

Clase 5: Afloramiento rocoso. En más del 90% del terreno la roca se encuentra expuesta. Esta clase representa la máxima limitación para cualquier tipo de laboreo mecánico.

5.1.5. Pedregosidad superficial

Este parámetro se refiere a la proporción relativa de piedras mayores a 25 cm de diámetro que se encuentra en la superficie del suelo (Figura 23). La presencia de estos materiales puede afectar las labores de cultivo de manera significativa. Su clasificación correspondiente se presenta en la tabla 18.



Figura 23. Ejemplo de abundante pedregosidad superficial (tomado de Garrido Valero, 1994).

Tabla 18. Clases de pedregosidad superficial (SERFOR, 2016)

% Cobertura de la superficie	Distancia entre piedras	Clase
0,01 a 0,1%	< 20m	Libre a ligeramente pedregoso
0,1 a 3%	3 - 20m	Moderadamente pedregoso
3 a 15%	1 - 3m	Pedregoso
15 a 50%	0,5 - 1m	Muy pedregoso
50 a 90%	< 0,5m	Extremadamente pedregoso

5.1.6. Fragmentos gruesos superficiales y artefactos

Los fragmentos gruesos superficiales y artefactos dan lugar a problemas similares a los afloramientos rocosos y se pueden evaluar según la tabla 19.

Tabla 19. Evaluación porcentual de la cobertura de fragmentos gruesos y artefactos (FAO, 2009).

Clases de tamaño (se indica la dimensión más grande)	(cm)
Grava fina	0,2-0,6
Grava media	0,6-2,0
Grava gruesa	2-6
Piedras	6-20
Cantos	20-60
Cantos grandes	60-200

Conocer los artefactos, que pueden aparecer en la superficie del suelo o dentro del perfil, es útil para identificar la coluviación (Materiales sueltos depositados en las partes bajas de las laderas como resultado de la erosión), ocupación humana y procesos industriales.

En la tabla 20 se muestra la estimación porcentual de los fragmentos gruesos y artefactos, en términos de porcentaje de cobertura superficial y en la figura 22 la clave para la estimación de cobertura de fragmentos gruesos y de moteados. Se debe indicar claramente, el lugar donde los fragmentos rocosos no están distribuidos regularmente dentro un horizonte, pero forman una "línea pedregosa".

La abundancia de fragmentos gruesos superficiales mayores a 2 mm, se expresa en términos de porcentaje que ocupan los cantos en superficie, tanto en horizontal en la superficie, como en vertical al describir cada uno de los horizontes del suelo. Este dato debe ser registrado ya que afecta considerablemente a las propiedades edáficas del perfil del suelo y con ello el rendimiento de los cultivos (Garrido Valero, 1994; Vargas-Rodríguez et al., 2020).

Tabla 20. Clasificación de fragmento gruesos superficiales en términos de porcentaje de cobertura superficial (Vargas-Rodríguez et al., 2020, modificado de FAO, 2009).

Clase	%
Ninguno	0
Pocos	0,1-5
Comunes	5,1-15
Muchos	15,1-40
Abundantes	40,1-80

5.1.7. Grietas superficiales

Se desarrollan en suelos ricos en arcillas expansibles, como los vertisoles, que se contraen y expanden luego de secarse (Figura 24). El rango de ancho promedio de las grietas en la superficie, la profundidad y la distancia promedio entre grietas también se puede indicar en centímetros. La clasificación se puede formulada según los rangos presentes en la tabla 21.



Figura 24. Grietas superficiales en el suelo (FAO, 2015a).

Tabla 21. Clasificación de las grietas superficiales de acuerdo con su ancho, profundidad y separación (FAO, 2009).

Tamaño de la grieta		Profundidad		Distancia entre grietas	
Clave	**cm**	**clave**	**cm**	**clave**	**cm**
Finas	< 1	Superficie		Muy estrechamente espaciado	< 0,2
Medianas	1,0-2,0	Media	< 20	Estrechamente espaciado	0,2-0,5
Anchas	2,1-10	Profunda	10,1-20	Moderadamente espaciado	0,5-2
Muy anchas	> 10	Muy profunda	> 20	Ampliamente espaciado	2-5
				Muy espaciado	> 5

5.2. Indicadores en el perfil del suelo

5.2.1. Material de origen del suelo

El material de origen o parental es aquel de donde presumiblemente se formó el suelo. En la descripción de un perfil de suelo, un elemento necesario es conocer el material de origen, especialmente el tipo de roca originaria, además de la presencia de rocas en el perfil.

Existen básicamente dos grupos de material parental sobre el cual el suelo se formó: materiales no consolidados (mayormente sedimentos) y material intemperizado que se encuentra sobre las rocas que le dio origen. Existen casos transicionales, como los materiales parcialmente consolidados y que fueron transportados, por agua, llamados alluvium (fluvial si fue transportado por un río), o por gravedad, (llamado coluvial). Existen también materiales de suelo natural realmacenado o sedimentos, así como materiales tecnogénicos.

En la tabla 22 se presentan posibles materiales de origen de los suelos.

Tabla 22. Posibles materiales parentales de los suelos (Modificado de FAO, 2009).

	Litología
Roca ígnea	Dacita, riolita, andesita, basalto, ignimbrita, gabro, granito, granodiorita
Roca metamórfica	Cuarcita, gneiss, pizarra, filita, anfibolita, serpentinita y esquisto verde
Roca sedimentaria	Conglomerado, brecha, arenisca, lutita y caliza
Sedimentos no consolidados	Fluviales, lacustres, coluviales, eólicos, glaciales, residuos intemperizados, cenizas volcánicas

Se reconocen tres tipos de rocas como las que predominan en los suelos de Cuba: caliza, serpentinita y marga caliza:

Caliza: roca sedimentaria más abundante de Cuba, a partir de ellas se pueden formar los suelos de los Agrupamientos Ferralíticos, Fersialíticos, Pardos, Húmicos, Vertisuelos y Gley; es una roca sedimentaria compuesta mayoritariamente por carbonato de calcio ($CaCO_3$; calcita), aunque frecuentemente presenta trazas de magnesita ($MgCO_3$) y otros carbonatos. También puede contener pequeñas cantidades de minerales como arcilla, hematita, siderita, cuarzo, etc., que modifican (a veces sensiblemente) el color y el grado de coherencia de la roca. Reacciona ante el ácido clorhídrico con efervescencia (Figura 25) (Klein & Hurlbut, 1998).



Figura 25. Roca caliza como material de origen en suelos (Klein & Hurlbut, 1998).

Serpentinita: roca metamórfica, rica en minerales serpentina que puede dar lugar a los suelos de los Agrupamientos Ferríticos y Fersialíticos. Procede de la alteración de minerales anhidros que formaban parte de una roca ultramarina prexistente (Figura 26)



Figura 26. Ejemplo de serpentinita como material de origen del suelo (Ortiz, s/f).

Marga calcárea: es una roca sedimentaria no clástica de carbonato de calcio. Tiene contenido variable de arcillas y limo (Figura 27). El mineral de carbonato dominante en la mayoría de las margas es calcita, aragonito, dolomita y siderita. Es una constituyente del material de origen de los suelos Húmicos, los esquistos cuarcíticos de los suelos Ferralíticos, y las arenas calcáreas a los suelos Pardos Sialíticos.



Figura 27. Suelo húmico calcimórfico típico formado a partir de marga (Hernández-Jiménez et al., 2010).

5.2.2. Textura del suelo

La textura del suelo es una propiedad del mismo que depende de la proporción relativa (%), en peso, de arena, limo y arcilla que contiene, por lo que se considera como la forma de "sentir" el suelo (Figura 28).

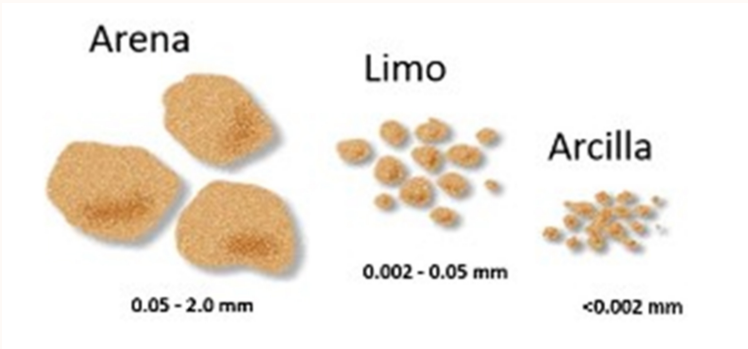


Figura 28. Partículas que componen el suelo (Ciancaglini-Prosap, 2017).

Es uno de los atributos más estables del suelo, que solo puede ser modificado ligeramente por labores de cultivo y otras prácticas que causan mezcla de las diferentes capas del suelo (Barham et al., 2006).

Es el elemento que mejor caracteriza al suelo desde el punto de vista físico. La permeabilidad, la consistencia, la capacidad de intercambio de iones, la retención hídrica, distribución de poros, infiltración y estructura, temperatura del suelo, son algunas de las características del suelo que en gran medida dependen de la textura (Pellegrini, 2019).

Por ello, la textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar el suelo, el desarrollo y penetración de las raíces, la cantidad de agua y aire que retiene y la velocidad con que el agua penetra en el suelo y lo atraviesa; influye como factor de la fertilidad y en la habilidad de retener agua, aireación, drenaje, contenido de materia orgánica y otras propiedades (FAO, 2015b). Por ello, influye en la capacidad del suelo para ser trabajado y transitado y su resistencia a la degradación.

La clasificación internacional de las partículas del suelo se muestra en la tabla 23, en la que se incluye una variante del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, utilizada en muchos países de América.

Por su parte FAO (2009), utiliza otros valores, aunque similares: la arena es el fragmento que tiene un tamaño de la partícula mayor de 0,063 mm; el limo varía entre 0,063-0,002 mm mientras el tamaño de la partícula de arcilla es menor de 0,002 mm.

Tabla 23. Clasificación Internacional de las partículas del suelo por su diámetro (Ciancaglini-Prosap, 2017).

Partículas	Según Departamento de Agricultura de EEUU	Según Atterberg Clasificación Internacional
	Límites de las dimensiones (mm)	
Arena muy gruesa	2,0-1,0	
Arena gruesa	1,0-0,5	2,0-0,2
Arena mediana	0,5-0,25	
Arena fina	0,25-0,10	0,2-0,02
Arena muy fina	0,10-0,05	
Limo	0,05-0,002	0,02-0,002
Arcilla	< 0,002	< 0,002

Cada una de estas partículas les infiere determinadas propiedades a los suelos, y lo que influirá además la proporción en que ellas se encuentran (Tabla 24).

Tabla 24. Propiedades del suelo asociadas con la textura (FAO, 2020).

Propiedades o comportamiento	Valores asociados con las propiedades del suelo		
	arena	limo	arcilla
Capacidad de retención de agua	bajo	medio	alto
Aeración	buena	media	pobre
Drenaje, tasa de infiltración	alta	media	Muy baja
Tasa de descomposición de la materia orgánica	rápida	media	alta
Compatibilidad	baja	media	alta
Susceptibilidad a la erosión aérea	baja	alta	basa
Potencial de encogimiento y contracción	Muy bajo	bajo	Moderado a muy alto
Sellado de estanques, presas, vertederos	pobre	Pobre	Bueno
Idoneidad para la labranza después de la lluvia	buena	media	pobre
Potencial de lixiviación de contaminantes	alto	medio	baso
Capacidad para almacenar nutrientes vegetales	pobre	medio	alto
Resistencia al cambio de pH	bajo	medio	alto
Calentarse en invierno	rápido	moderado	lento
Nivel de materia orgánica del suelo	bajo	medio	alto

El análisis de textura solo se realiza una vez, ya que prácticamente no sufre cambios con los años, pero es muy importante guardar los análisis con las tablas o secciones de terreno bien identificados.

Son variados los métodos de determinar la textura mediante el tacto, entre ellos los sensoriales.

El primer análisis consiste en separar la tierra fina (todas las partículas de menos de 2 mm), de las partículas mayores como la grava y las piedras (Figura 29). La tierra fina es una mezcla de arena, limo y arcilla.



Figura 29. Separación de la tierra fina (FAO, 2020).

Para realizar los ensayos de campo siguientes asegúrese de utilizar solo tierra fina (FAO, 2020).

A continuación, se proponen diferentes métodos, primero para conocer cuales partículas de suelo predominan en una muestra y luego para determinar la clase textural del suelo.

Prueba del lanzamiento de la bola: Tome una muestra de suelo humedecido y oprímala hasta formar una bola (A); Lance la bola al aire (B) hasta unos 50 cm aproximadamente y deje que caiga de nuevo en su mano (Figura 30).

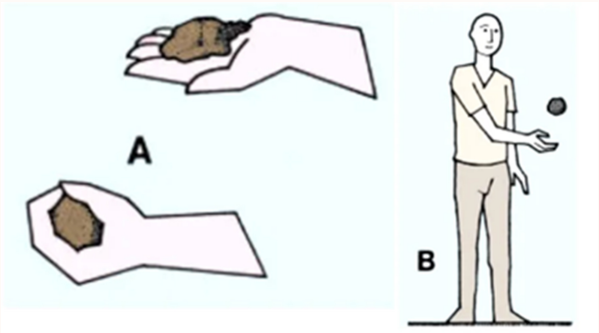


Figura 30. Inicio de la prueba del lanzamiento de la bola para determinar textura (FAO, 2020).

Si la bola se desmorona (C) el suelo es pobre y contiene demasiada arena y si la bola mantiene su cohesión (D) probablemente sea un suelo con suficiente arcilla (Figura 31) y posiblemente más fértil.



Figura 31. Evaluación de la prueba del lanzamiento de la bola para determinar textura (FAO, 2020).

Prueba de compresión de la bola: Tome una muestra de suelo y humedézcala un poco (A) hasta que comience a hacerse compacta sin que se pegue a la mano. A continuación, oprímala con fuerza (B), y abra la mano (C) y (D) (Figura 32).

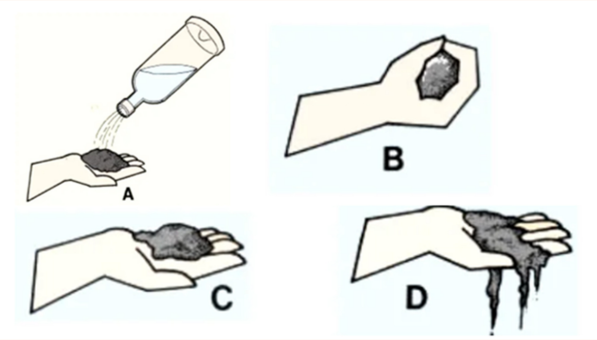


Figura 32. Prueba de compresión de la bola para determinar textura (FAO, 2020).

Si el suelo mantiene la forma de su mano (C), probablemente contenga predominantemente arcilla.

Si el suelo no mantiene la forma de la mano (D), es que contiene demasiada arena.

Determinación de las proporciones aproximadas de arena, limo y arcilla, prueba de la botella: Esta es una prueba sencilla que dará una idea general de las proporciones de arena, limo y arcilla presentes en el suelo.

Coloque aproximadamente 5 cm de suelo en una botella y llénela de agua (A); agítela bien y déjela reposar durante una hora. Transcurrido este tiempo, el agua estará transparente y observará que las partículas mayores se han sedimentado (B) (Figura 33).

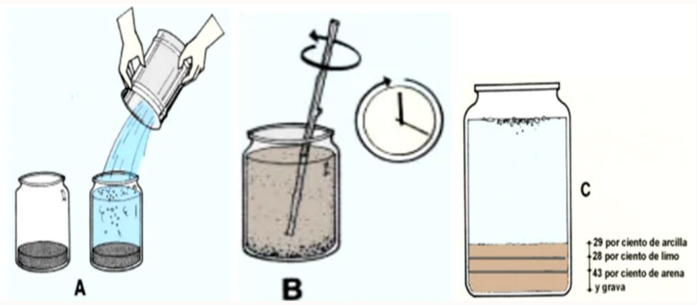


Figura 33. Prueba para determinar las proporciones aproximadas de arena, limo y arcilla (FAO, 2020).

En el fondo hay una capa de arena; En el centro hay una capa de limo; en la parte superior hay una capa de arcilla. Si el agua no está completamente transparente ello se debe a que parte de la arcilla más fina está todavía mezclada con el agua. En la superficie del agua pueden flotar fragmentos de materia orgánica.

Mida la profundidad de la arena, el limo y la arcilla y calcule la proporción aproximada de cada uno (C).

5.2.3. Determinación de la clase textural

La textura fina indica una elevada proporción de partículas más finas como el limo y la arcilla. La textura gruesa indica una elevada proporción de arena.

La clase textural se relaciona estrechamente con el desarrollo de los cultivos. Las raíces de desarrollan mejor en suelos francos que en suelos de textura fina o gruesa. Los suelos francos presentan una buena permeabilidad, alta capacidad de almacenamiento hídrico y adecuada aireación para el óptimo desarrollo de raíces y el crecimiento del cultivo. En los suelos arcillosos, la permeabilidad es baja y por consiguiente la aireación es limitada. Estos suelos suelen presentar frecuentemente condiciones de anaerobiosis. Por el contrario, en suelos arenosos, de textura gruesa, el agua drena rápidamente y la aireación es elevada, pero presentan bajos valores de capacidad de retención hídrica, con la aparición de estrés hídrico en los cultivos si el suministro de agua no es constante (Torri et al., 2006).

La clase textural se puede determinar en el campo, mediante diferentes métodos basados en el tacto, para darle más confiabilidad a los resultados obtenidos.

Prueba de la bola de barro: Tome una muestra de suelo; humedézcala un poco y amásela hasta que adquiera consistencia (A) (Figura 34). Continúe amasándolo entre el pulgar y el índice y moldee una bola de barro de unos 3 cm de diámetro (B).

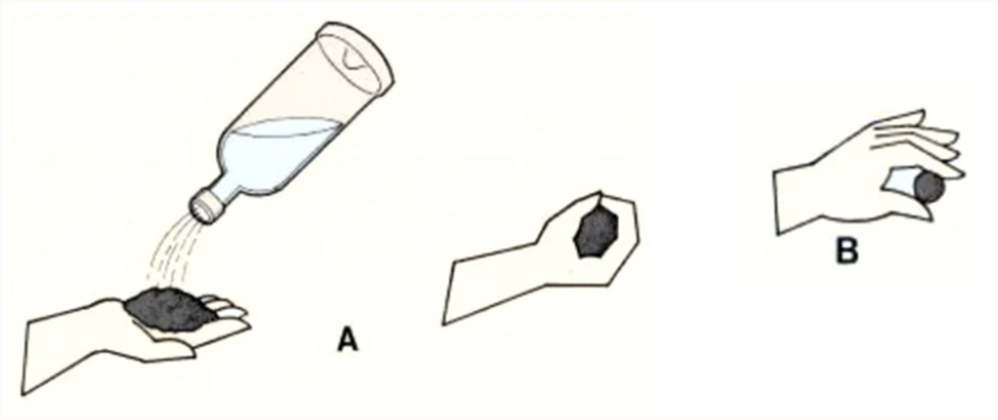


Figura 34. Inicio de la prueba de la bola de barro (modificada de FAO, 2020).

La textura se puede evaluar por la forma en que actúa la bola al ser lanzada contra una superficie sólida que puede ser una pared o un árbol (Figura 35).

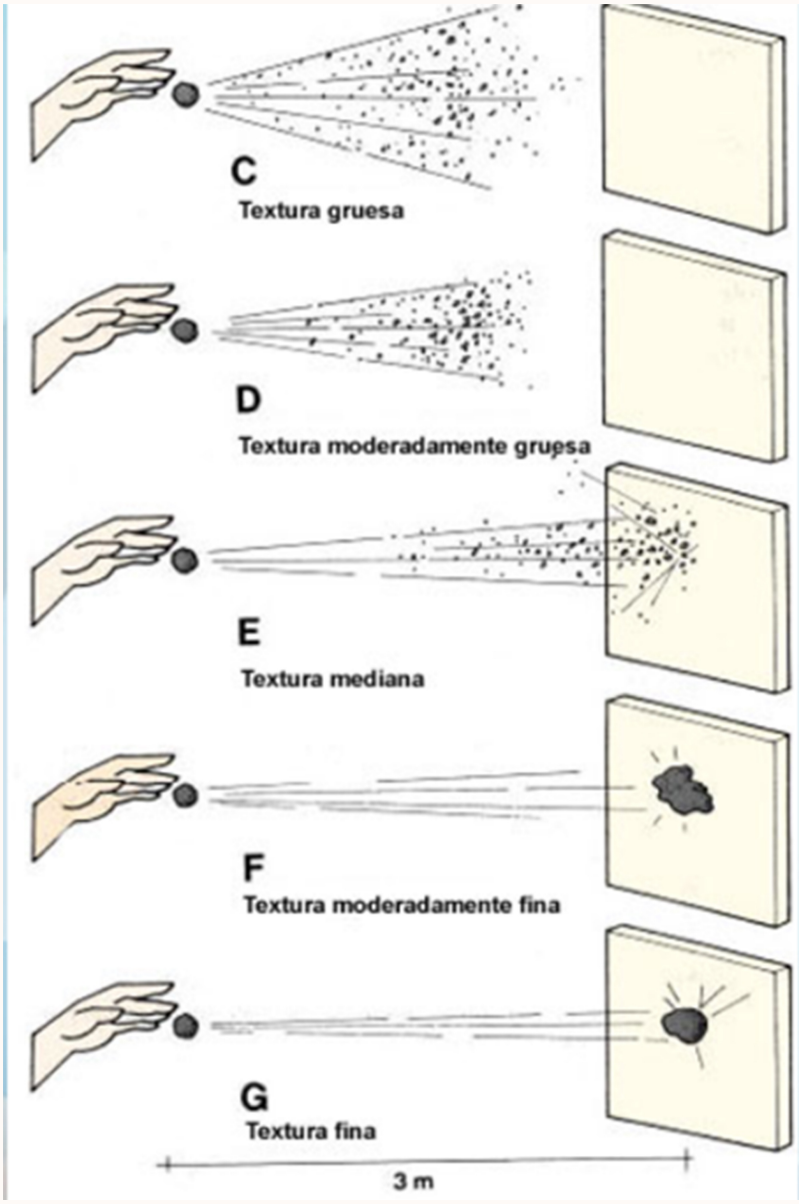


Figura 35. Final de la prueba de la bola de barro para determinar la textura del suelo de fina a gruesa (modificada de FAO, 2020).

Si al lanzar la bola, mojada o seca, esta solo produce salpicaduras, la textura es suelta (C).

Si al lanzar la bola seca se comporta como una perdigonada y al lanzarla mojada contra un blanco a una distancia mantiene su forma, la textura es medianamente gruesa (D).

Si la bola se despedaza al chocar contra el blanco cuando está seca y se mantiene compacta cuando está húmeda pero no se adhiere al blanco, la textura es media (E).

Si al lanzar la bola mojada a gran distancia está mantiene su forma y se adhiere al blanco, pero puede despegarse con relativa facilidad, su textura es moderadamente fina (F).

Si la bola se adhiere al blanco cuando está mojada y se convierte en un proyectil muy duro cuando está seca, la textura es fina (G).

Método de la cinta: El método de la cinta (o del tabaquito) está estrechamente relacionado con el método del tacto, ya que se centra en el manejo del suelo para determinar su clase textural, mediante cintas con tierra húmeda (FAO, 2020).

Se toma un puñado de tierra (alrededor de 25 gramos), humedezca la tierra y comience a mezclarla hasta que se sienta moldeable (Figura 36). Si está demasiado húmedo, agregue un poco de tierra seca y si está demasiado seco, agregue un poco más de agua (a). Intente formar una bola con la tierra moldeable (b). ¿Puede el suelo formar una bola? Si no se puede es arena. A continuación, intente formar una cinta colocando el suelo entre el dedo pulgar y el índice y apretando la tierra hacia arriba para formar una cinta (c). ¿No se puede formar una cinta? Es arena loamosa.



Figura 36. Pasos a, b y c del método de la cinta (modificada de FAO, 2020).

Si la tierra puede formar cintas (d): ¿cuánto pueden llegar a crecer? (Figura 37). Si la cinta se rompe a los 2,5 centímetros o menos, el suelo es un tipo de loam. Si la cinta alcanza entre 2,5 y 5 centímetros, es un tipo franco arcilloso y si supera los 5 centímetros, es un tipo de arcilla (d).



Figura 37. Pasos d y e del método de la cinta (FAO, 2020).

Para completar este paso, tome un poco de tierra, mójela, manipúlela en la palma de su mano, y determine si el suelo se siente arenoso, liso o ni arenoso ni liso.

Esto le ayudará a determinar la clase textural de su suelo, como sigue:

Tipos de loam:

- ¿El suelo se siente arenoso? > Franco arenoso
- ¿El suelo se siente suave? > Franco limoso
- ¿Ni arenoso ni suave? > Franco
- *Tipo de loam arcilloso:*
- ¿El suelo se siente arenoso? > Franco arcilloso arenoso
- ¿El suelo se siente suave? > Franco arcilloso limoso
- ¿Ni arenoso ni suave? > Franco arcilloso
- *Tipo de arcilla*

- ¿El suelo se siente arenoso? > Arcillo arenoso
- ¿El suelo se siente suave? > Arcillo limoso
- ¿Ni arenoso ni suave? > Arcilla

Prueba de la manipulación: La prueba de manipulación da una idea mejor de la textura del suelo; se debe realizar con sumo cuidados con el orden de los pasos. Humedezca una muestra de suelos (A) (Figura 38); amase la muestra de suelos hasta que forme una bola de aproximadamente 3 cm de diámetro (B); deje caer la bola.

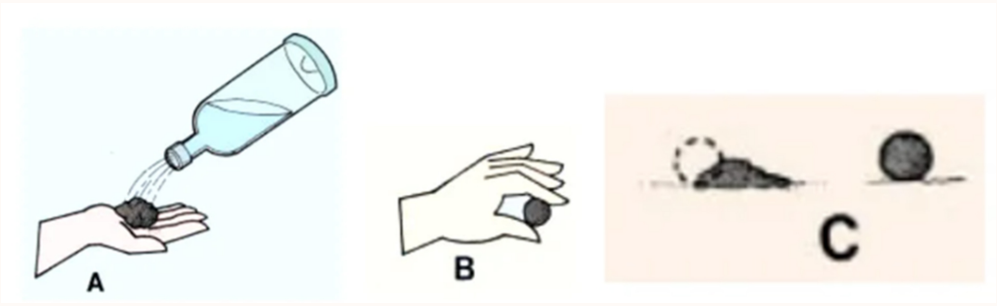


Figura 38. Inicio de la prueba de la manipulación (FAO, 2020).

Si se desmorona es arena; si mantiene la cohesión, prosiga con el siguiente paso: Amase la bola en forma de un cilindro de 6 a 7 cm de longitud (D). Si no mantiene esa forma, es franco arenoso. Si mantiene esa forma siga con el siguiente paso (Figura 39). Continúe amasando el cilindro hasta que alcance 15 a 16 cm de longitud (E).



Figura 39. Continuación de la prueba de la manipulación (FAO, 2020).

- Si no mantiene esa forma es arenoso franco.
- Si mantiene esa forma siga con el siguiente paso, trate de doblar el cilindro hasta formar un semicírculo (F) (Figura 40)
- Si no puede, es franco. Si puede, prosiga con el siguiente paso; siga doblando el cilindro hasta formar un círculo cerrado (G).
- Si no puede, es franco pesado.
- Si puede, y se forman ligeras grietas en el cilindro, es arcilla ligera.
- Si puede hacerlo sin que el cilindro se agriete, es arcilla.



Figura 40. Final de la prueba de la manipulación (FAO, 2020).

Prueba de sacudimiento de la bola: Tome una muestra de suelo y mójela bien (A); Forme una bola de 3 a 5 cm de diámetro (B); Coloque la bola en la palma de la mano; verá que brilla (C) (Figura 41).

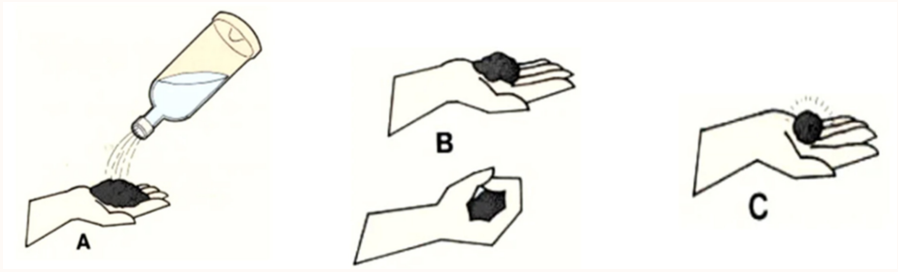


Figura 41. Inicio de la prueba de sacudimiento de la bola (Rodrigo-Ortega & Martínez, 2022).

- Sacúdala rápidamente de un lado a otro (D), y observe la superficie de la bola (Figura 42).
- Si la superficie de la bola se opaca rápidamente y puede romperla fácilmente entre los dedos (E), el suelo es arenoso o arenoso franco
- Si la superficie de la bola se opaca más lentamente y ofrece alguna resistencia al romperla entre los dedos (F), es limoso o franco arcilloso;
- Si la superficie de la bola no cambia y ofrece resistencia al romperla (G), es arcilloso o arcilloso limoso.



Figura 42. Continuación de la prueba de sacudimiento de la bola (Rodrigo-Ortega & Martínez, 2022).

Para determinar la clase textural se pueden utilizar tablas con descripciones y propuestas de contenido de cada tipo de partícula. En la tabla 25 se muestra otro método para determinar la clase textural.

Tabla 25. Método de campo en la determinación de la clase textural (FAO, 2009).

No.cor	Características	Seguir en No.	Tipo de textura	Clave	% arcilla
1	Intentar formar con la muestra un rollito del grosor de un lápiz				
	a) moldeable	4	x	x	x
	b) no moldeable	2	x	x	x
2	Palpar la consistencia entre los dedos índice y pulgar				
	a) adhesiva, se adhiere ligeramente al dedo	x	Franco arenosa	FA	< 10
	b) no adhesiva, no moldeable	3	x	x	x

Tabla 25. Continuación.

No.cor	Características	Seguir en No.	Tipo de textura	Clave	% arcilla
3	Frotar la muestra entre las palmas de las manos				
	a) consistencia muy harinosa, no se perciben granos de arenas	x	Limosa	L	<12
	b) consistencia muy harinosa y se perciben granos de arena	x	Franco Limosa gruesa	FL. g	10-27
	c)muy arenosa y abrasiva (50-85%arena), queda material fino en las de la palma	x	Areno francosa	AF	<12
	d)muy arenosa y abrasiva (> 85% arena) no queda material fino en las líneas de la palma	x	Arenosa	A	< 5
4	Intentar moldear un rollo del grosor de una aguja para tejer gruesa				
	a) moldeable, superficie opaca, consistencia harinosa, o seca (como el pinole)	5	x	x	x
	b) moldeable, consistencia plástica, pegajosa	6	x	x	x
	c)no moldeable, se adhiere al dedo, se perciben granos de arena y la muestra se siente abrasiva (> 46% de arena)	x	Franco arcillo arenosa	FYA	20-35
5	Evaluar la consistencia				
	a) Adhesiva, harinosa o seca, se agrieta fácilmente al presionar	x	Franco limosa	FYA	<10
	b) Ligeramente harinosa, casi no se agrieta, muy moldeable	x	Franco arcillo	FYL	25-40
	c)muestra se siente abrasiva, se agrieta al presionar	x	Limosa Franca	F	8-27
6	Evaluar la superficie de la muestra después de fricciona con la uña del dedo				
	a) superficie opaca o con brillo tenue, casi no se perciben granos de arena, la muestra no se siente abrasiva	x	Franco arcillosa	FY	25-45
	b) superficie opaca a ligeramente brillosa, granos de arena perceptible, muestra ligeramente abrasiva	x	Arcillo arenosa	YA	35-55
	c) superficie brillosa	7	x	x	x
7	Hacer una pequeña oquedad en la muestra, poner unas gotas de agua y frotar la superficie de la oquedad con el pulgar				
	a) se sientes muy jabonosa y se lograr separar una porción importante de partículas luminosas		Arcillo limosa	YL	40-60
	b) poco jabonosa, la muestra tiene consistencia de mantequilla, muestra muy plástica y pesada, se requiere muchas fuerzas en los dedos para amasarla		Arcillosa	Y	>60

Otro método de campo en la determinación de la clase textural se muestra en la tabla 26.

Tabla 26. Guía para la determinación textural (FAO, 2009).

	Tipo de textura	Clave	% arcilla
1 no es posible enrollar y formar un cordón cilindro o chorizo de un diámetro cercano a 7 mm (como el diámetro de un lápiz)			
1.1 no ensucia, no es harinoso, no deja material fino en los dedos	arena	A	<5
Si el tamaño del grano es mixto	arena no clasificada	AN	<5
Si la mayoría de granos son de tamaño medio (0,2-0,6 mm)	arena muy gruesa y gruesa	AG	<5
Si la mayoría de granos son de tamaño medio (0,2-0,6 mm)	arena media	AM	<5
Si la mayoría de granos son de tamaño fino (< 0,2 mm) pero aún granuloso	arena fina	AFi	<5
Si la mayoría de granos son de tamaño muy fino (< 0,12 mm), con tendencia a ser harinoso	arena muy fina	AMF	<5
1.2 no es harinoso, granuloso, material escasamente fino entre los dedos, débilmente moldeable, ligeramente adhesivo a los dedos	areno francoso	AF	<12
1.3 Similar a 1.2 pero moderadamente harinoso	franco arenoso (pobre en arcilla)	FA	<10
2 Es posible enrollar y formar un cordón cilindro o chorizo de un diámetro de 3-7 mm (cerca de la mitad del diámetro de un lápiz) pero se rompe cuando se trata formar el cordón cilindro de 2-3 cm de diámetro, moderadamente cohesivo, se adhiere a los dedos.			
2.1 Muy harinoso y no cohesivo. Se sienten algunos granos			
Se sienten algunos granos	franco limoso pobre en arcilla)	FL	<10
No se sienten granos	limoso	L	<12
2.2 Moderadamente cohesivo, se adhiere a los dedos, tiene una superficie áspera y desmenuzada luego de apretarla entre los dedos y			
Muy granuloso y no pegajoso	franco arenoso (pobre en arcilla)	FA	10-25
Granos moderadamente arenosos	franco	A	8-27
No granuloso, pero distintamente harinoso y algo pegajoso	franco limoso	FL (rico en arcilla)	10--27
2.3 De superficie áspera y de moderadamente brillante luego de apretarlo entre los dedos, es pegajoso y granuloso a muy granuloso	franco arcillo arenoso	FYA	20-35
3 Es posible enrollar y formar un cordón chorizo de más o menos 3 mm de diámetro (menos de la mitad del diámetro de un lápiz) y formar un aro de 2-3 cm en diámetro, cohesivo, pegajoso, rechinamiento entre los dientes, tiene una superficie moderadamente brillante luego de apretarlos entre los dedos.			
3.1 muy granuloso	arcillo arenoso	YA	35-55
3.2 Se ve y se sienten algunos granos, rechinamiento entre los dientes			
Moderadamente plásticos, superficie moderadamente brillante	franco arcilloso	FY	25-40
Alta plasticidad, superficie brillante	arcilloso	y	40-60
3.3 No hay granos visibles, ni se sienten, no hay rechinamiento en los dientes			
Plasticidad baja	franco arcillo limoso	FYL	25-40
Plasticidad alta, superficie moderadamente brillante	arcillo limoso	FYL	40-60
Plasticidad alta, superficie brillante	arcilla pesada	YP	> 60
Nota: La determinación de la textura en campo puede depender de la composición mineralógica de las arcillas. La clave anterior funciona especialmente para suelos que tienen en su composición illita, dorita y/o vermiculita. Las arcillas esmectíticas son más plásticas, y las arcillas caolinitas son más pegajosas, Así, el contenido de arcilla puede ser sobrestimados para la primera y subestimada para la segunda.			

Prueba de desmenuzamiento en seco: Tome una maestra pequeña de suelo seco en la mano (A); Desmenúcela entre los dedos (B) (Figura 43).

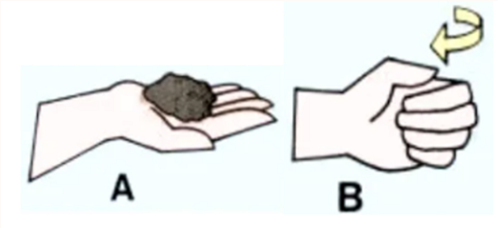


Figura 43. Inicio de la prueba de desmenuzamiento en seco (Rodrigo-Ortega & Martínez, 2022).

Si ofrece poca resistencia y la muestra se pulveriza (C), el suelo es arena fina o arenoso franco fino o contiene muy poca arcilla; Si la resistencia es media (D), es arcilloso limoso o arcilloso arenoso; Si ofrece gran resistencia (E), es arcilla (Figura 44).

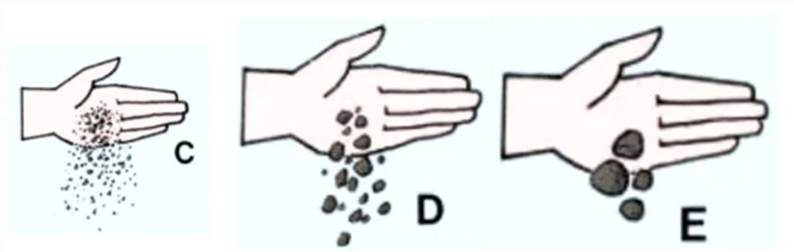


Figura 44. Final de la prueba de desmenuzamiento en seco (Rodrigo-Ortega & Martínez, 2022).

En el método EVS se establece una relación entre la clase textural y la calificación del suelo que se puede determinar de acuerdo con la tabla 27. Tome una muestra pequeña de la capa superficial del suelo. Humedézcala con agua hasta el máximo de plasticidad y amásela entre los dedos índice y el pulgar hasta destruir los agregados. Evalúe la textura del suelo según el criterio dado en la tabla 16, intente moldear con la masa de suelo una bola o pelota. Una persona con experiencia será capaz de evaluar la textura directamente mediante la estimación de los porcentajes de arena, limo y arcilla y la clase textural obtenida usando como referencia el diagrama textural de abajo (Benites-Jump, 2001).

Tabla 27. Relación entre la clase textural y la calificación del suelo (Benites-Jump, 2001).

Calificador visual (CV)	Clase textural	Descripción
2 (Bueno)	Franco limoso	Harinosa, ligeramente granular y pegajoso, sin grietas. Se puede modelar una bola cohesiva que se fisura cuando se agrieta
1,5 (Mod. Bueno)	Franco arcilloso	Gránulos moderamente pegajoso y plástico. Se puede moldear una bola que se deforma sin fisurarse al apretarse
1 (Moderado)	Franco arenoso	Muy gruesa y harinosa, ligeramente arenosa. Se puede moldear una débil bola cohesiva que se fisura cuando se aprieta.
0,5 (Mod. pobre)	Arena, franca, arcilla	Arena franca: presenta un grano muy arenoso y áspero. Casi se puede moldear una pelota, pero esta se desintegra cuando se aprieta el suelo entre los dedos.
0 (Pobre)	Arena	Grano muy arenoso y áspero, no permite moldear una bola.

Hay ocasiones en que el valor de la clase textural asignada necesitará ser modificado debido a la naturaleza de un calificador textural. Por ejemplo, si el suelo tiene un porcentaje bastante alto de materia orgánica (humus) con 15-30%, se cambia el valor de la clase textural por otro (0 a 1 o 1 a 2). Si el suelo tiene un contenido significativo de gravas o piedras, reduzca el valor de la clase textural por un valor medio.

También se toma en cuenta el cultivo. Por ejemplo, algunos cultivos se desarrollan mejor en un suelo con una textura franco arenosa y por lo que el valor de la clase textural se cambiará por un valor medio de 1 a 1,5 basado en la preferencia textural específica de la planta.

Como ventajas, estos métodos son poco complejos, fácil de usar si se siguen correctamente las instrucciones, sin mucha dificultad de ejecución y de entrenamiento, poco exigente en insumos, de bajo costo y de necesidades para reemplazar elementos de la tecnología y se pueden utilizar en todos los climas y tipos de suelo. Como desventajas, es una tecnología de poca precisión y pueden requerir algo de capacitación sobre el manejo de la tierra y la formación de cintas.

5.2.4. Estructura del suelo

La estructura es la forma en que las partículas del suelo se agrupan para formar agregados, gracias a la capacidad que tiene la masa de suelo de disgregarse por sí misma en separaciones de distintas formas y tamaños, se puede evaluar mediante la estabilidad de los agregados. Esta propiedad es vital en la productividad de un área agrícola: afecta directamente en el movimiento del agua y la retención hídrica, el drenaje, la aireación, la penetración de las raíces, el ciclo de nutrientes, la conducción térmica, el crecimiento radical y la resistencia a la erosión y en consecuencia sobre el rendimiento de los cultivos (Bernal-Fundora & Hernández-Jiménez, 2017). Un suelo bien estructurado es un suelo resistente a la erosión, a la compactación y es un suelo que permite un desarrollo adecuado de las raíces. En la tabla 28 y la figura 45 se clasifica la estructura de acuerdo a su grado de desarrollo.

Tabla 28. Clasificación del grado de desarrollo de la estructura (FAO, 2009).

Clase	Descripción
Débil	Los agregados son raramente observables *in situ*. Cuando se disturbas se crea una mezcla de pocos agregados y mucho material suelto.
Moderado	Los agregados son observables y se distingue el arreglo de superficies. Cuando se disturba se crea una mezcla de agregados enteros, algunos agregados quebrados y poco material suelta.
Fuerte	Los arreglos son claramente observables y presentan un prominente arreglo. Cuando se disturba el material, comúnmente se rompe en agregados.



Figura 45. Clasificación de la estructura de acuerdo a su grado de desarrollo (Dorronsoro, 2010).

En la descripción del grado o el desarrollo de la estructura, la primera división es en suelos desagregados (suelos sin estructura) y suelos agregados (suelos con estructura).

En suelos desagregados o sin estructura, no se observan agregados en sitio y no existe una organización definitiva de las superficies naturales de debilidad. Se dividen en granos simples y masivos (Figura 46).

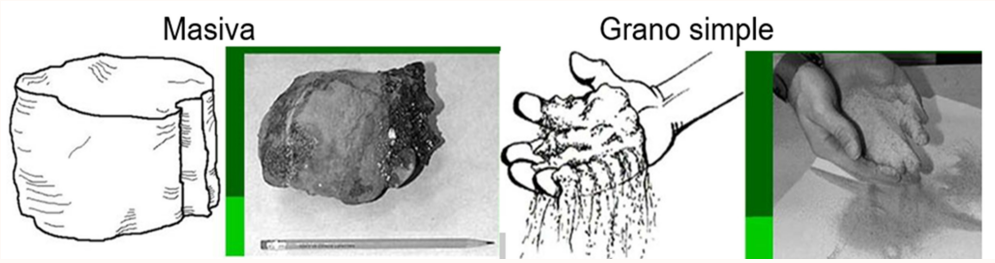


Figura 46. Estructuras en suelos desagregados (Zita-Fernández, 2021)

Los principales tipos de estructura de suelos agregados se muestran en la figura 47. Según las formas de sus contornos la estructura puede ser: Laminar, Columnar, Prismática, Cúbica y Granular.

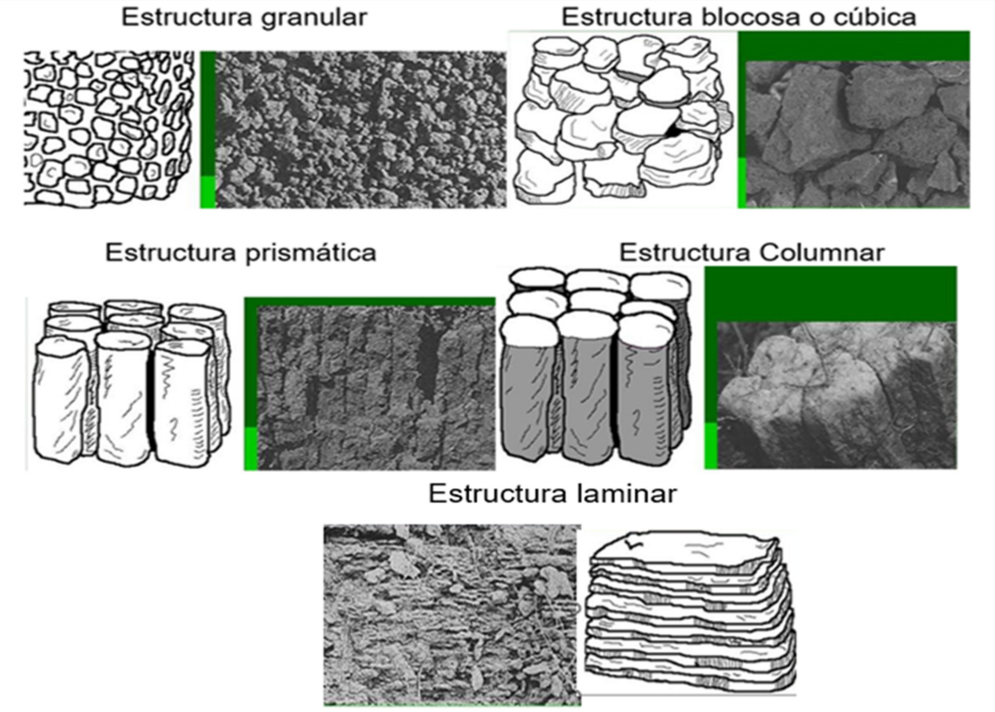


Figura 47. Principales tipos de estructura de suelos agregados (Zita-Fernández, 2021).

Esta propiedad se define por observación directa y tacto en los horizontes del suelo, especialmente en el primero. Es preferible describir la estructura del suelo cuando se encuentre en condición seca o ligeramente húmeda.

Tan importante es conocer la estructura de un suelo, es el estado de estabilidad de esas estructuras, para lo cual se utilizan diferentes métodos.

5.2.5. Estabilidad de los agregados

Un agregado consiste de diversas partículas del suelo ligadas entre sí. La estabilidad de agregados es una medida de la vulnerabilidad de los agregados del suelo frente a fuerzas externas destructivas (Hillel, 1982, tomado de USDA, 1999).

Son importantes con relación al movimiento y almacenaje de agua del suelo, a la erosión, desarrollo radical y actividad de la comunidad microbiana (Tate, 1995, según USDA, 1999). La destrucción de agregados es el primer paso hacia el desarrollo de costras y sellado superficial, los cuales impiden la infiltración del agua e incrementan la erosión.

Los suelos con mayor riesgo a la degradación física, que limitan el desarrollo agrícola sostenido, corresponden con los de mayor inestabilidad estructural.

Para medir la estabilidad estructural se han desarrollado muchos métodos. En el campo la estabilidad de agregados se evalúa depositando aproximadamente diez agregados de diámetros entre 3 y 10 mm, en una cápsula de porcelana o recipiente similar y saturándolos con agua. Tras rotarlos suavemente durante 30 segundos, se evalúa el grado de descomposición de los agregados (Tabla 29).

Tabla 29. Evaluación de la estabilidad de los agregados (Vargas-Rodríguez et al., 2020).

Grado de descomposición	Evaluación
No hay descomposición o solo fragmentos grandes	Muy alta
Dominan los fragmentos grandes sobre los pequeños	Alta
Igual número de fragmentos grandes y pequeños	Media
Dominan los fragmentos pequeños sobre los grandes	Moderada
Solo fragmentos pequeños y turbidez notable del agua	Baja
Descomposición total y alta turbidez del agua	Muy baja

Otro procedimiento es el siguiente: dejar secar al aire el agregado bajo investigación en un recipiente o platillo (Figura 48) o un recipiente pequeño y transparente que contenga agua (de lluvia o de riego). Asegurar que todo el agregado se sumerge bajo el agua. Cada 10 minutos y 2 horas, después de la inmersión, se debe realizar un juicio visual del grado de dispersión en una escala de 0 - 4 (Bunning et al., 2016).

Evaluación:

- Sin dispersión (a) Aunque el agregado puede desmoronarse) pero sin signos de partículas individuales (puntuación = 4);
- Ligera dispersión (b), identificada ya sea por una ligera turbidez en el agua adyacente al agregado, y/o el agregado cae aparte pero solo son evidentes unas pocas partículas minerales individuales (puntuación = 3);
- Dispersión moderada (c) con evidentes turbideces o lechosidad en el agua adyacente al agregado (puntuación = 2);
- Fuerte dispersión, con considerable turbidez o lechosidad en el agua adyacente al agregado y aproximadamente la mitad del volumen original del agregado disperso hacia afuera y/o partículas minerales individuales separadas y claramente evidentes (puntuación = 1);
- Dispersión completa (d), el agregado original completamente disperso en partículas minerales individuales de arcilla, limo y arena (puntuación = 0)

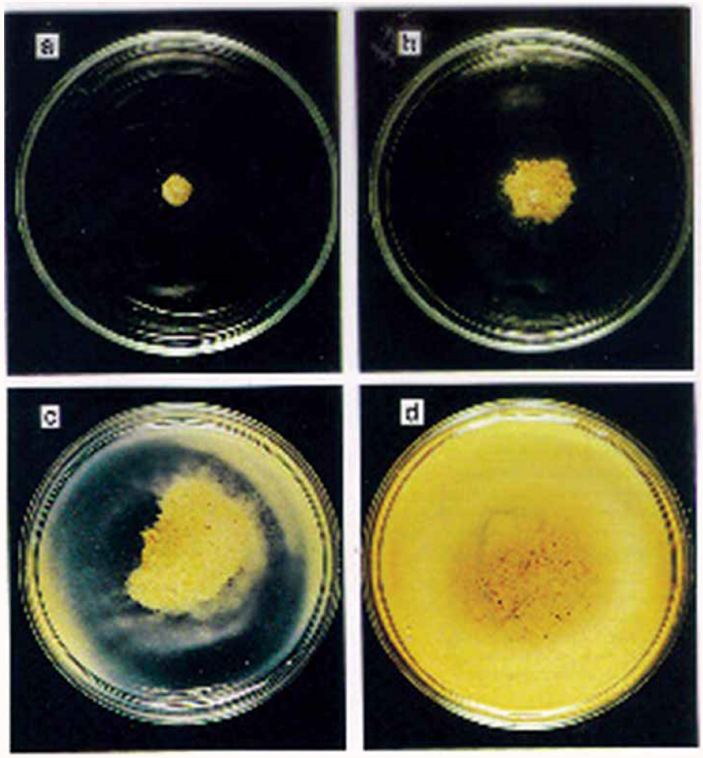


Figura 48. Prueba de la estabilidad de un agregado (Bunning et al., 2016).

Arévalo et al. (2018), utilizaron una prueba que coloca las muestras de suelo en una especie de cedazo (un colador, que puede ser hecho a mano con una tela muy tupida), con una luz de malla de 0,05 mm (Figura 49). El suelo seco dentro de este cedazo se sumerge en agua durante 10 minutos para probar la estabilidad de sus agregados. Esto simula lo que podría suceder durante un evento de lluvia intensa después de un período de clima seco. Si los agregados son suficientemente estables, se mantienen en el colador y solo pasan pocas partículas más pequeñas que la luz de malla. Si por el contrario se pierde una cantidad significativa de suelo a través de la malla, esto indica que el suelo sería más propenso a la pérdida causada por erosión.



Figura 49. Prueba de estabilidad de los agregados en húmedo (Arévalo et al., 2018).

5.2.6. Consistencia del suelo

Relacionada con la estabilidad de los agregados, el grado de cohesión o adhesión de la masa del suelo es la resistencia del suelo a ser deformado o amasado por fuerzas que se aplican sobre él y define la firmeza con que se unen los materiales que lo conforman. Integra la friabilidad, plasticidad, adhesividad, y resistencia a la compresión. Es definida por el contenido de humedad, materia orgánica del suelo y tipos de arcilla, por ello son varios los estados de consistencia que presenta el suelo (figura 50).

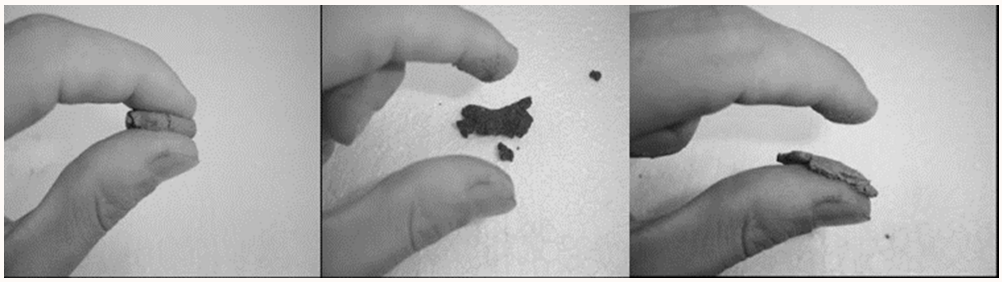


Figura 50. Diferentes grados de consistencia de los suelos (Osorios, 2010).

Desde el punto de vista agronómico, la consistencia está muy relacionada con el laboreo del suelo y, por ende, sobre sus efectos en él como son la compactación, el encostramiento superficial y la reducción del espacio vacío disponible para el desarrollo de las raíces. También está relacionada con la resistencia a la penetración y dureza superficial (0-15 cm) o subsuperficial (15-46"), un indicador de la compactación del suelo, importante para inferir la resistencia que posee frente a fuerzas mecánicas destructivas. Ofrece información acerca de capas impedantes para raíces y puede ser usada para comparar resistencias relativas entre tipos similares de suelo. También puede ser empleada para determinar duripanes, zonas de compactación, u horizontes densos (FAO, 2009; Jaramillo, 2002).

La consistencia en húmedo al tacto se determina mediante el intento de aplastar una masa de suelo húmedo o ligeramente húmedo (Tabla 30).

Tabla 30. Consistencia de la masa de suelo en húmedo (FAO, 2009).

Suelto	No coherente
Muy friable	Es material de suelo se aplasta bajo presión leve, pero es coherente cuando se lo presiona todo al mismo tiempo.
Friable	El material de suelo se aplasta fácilmente bajo presión suave a moderada entre los dedos, y se vuelve coherente cuando se presiona junto.
Firme	El material de suelo se aplasta bajo presiones moderadas entre los dedos, pero su resistencia es distintamente evidente.
Muy firme	El material de suelo se aplasta a presiones fuertes; apenas aplastable entre los dedos
Extremadamente firme	El material de suelo se aplasta solo a presiones muy fuertes; no puede aplastarse entre los dedos.

Otra manera de clasificar la consistencia del suelo húmedo se muestra en la tabla 31.

Tabla 31. Consistencia de los suelos húmedos (Osorio, 2010).

Suelo Suelto	No existen agregados y las partículas del mismo no están unidas entre sí
Suelo Friable	Se desmenuza con cierta facilidad
Suelo Firme	No se desmenuza con facilidad

Para determinar la consistencia del suelo en seco al aire se puede utilizar el ensayo que se muestra a continuación (FAO, 2009) (Figura 51)

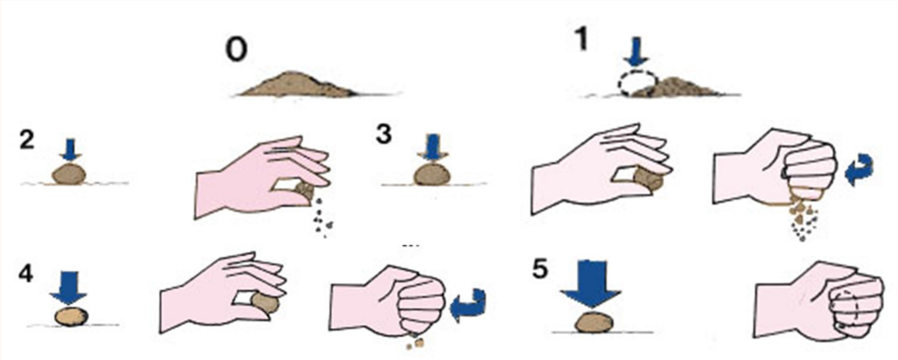


Figura 51. Clasificación de la consistencia del suelo en seco al aire. 0 suelto, si el suelo no tiene coherencia (estructura de grano suelto). 1 blando, si el suelo tiene coherencua débil y friabilidad, se deshace en polvo o granos sueltos bajo presión muy ligera. 2 ligeramente duro, si el suelo resiste una presión ligera, pero se puede romper fácilmente entre el pulgar y el índice. 3 duro, si el suelo resiste una presión moderada, apenas se puede romper entre el pulgar y el índice, pero se puede romper en las manos sin dificultad. 4 muy duro, si el suelo resiste una gran presión, no se puede romper entre el pulgar y el índice, pero se puede romper en las manos con dificultad. 5 extremadamente duro, si el suelo resiste una presión extrema y no se puede romper en las manos.

En la tabla 32 se muestra una clasificación en suelo seco. Esta se basa en la capacidad de disgregación del suelo.

Tabla 32. Consistencia del suelo en seco (FAO, 2009).

Suelto	No coherente
Suave	La masa de suelo es muy débilmente coherente y frágil; se disgrega a polvo o a granos individuales bajo presión muy ligera.
Ligeramente duro	Débilmente resistente a la presión; se disgrega fácilmente entre los dedos
Duro	Moderadamente resistente a la presión, puede disgregarse entre las manos; no así entre los dedos.
Muy duro	Muy resistente a la presión; puede disgregarse en las manos solo con dificultad.
Extremadamente duro	Extremadamente resistente a la presión; no puede disgregarse en las manos.
A: Los códigos adicionales, que sean ocasionalmente requeridos para distinguir dos horizontes o capas son: SSH, suave a ligeramente duro, SHH, ligeramente duro a duro, y VHV, duro a muy duro.	

También se clasifica la consistencia de los suelos en seco, de acuerdo la tabla 33.

Tabla 33. Clasificación de la consistencia de los suelos en seco (Osorio, 2010).

Suelo Suelto	No existen agregados y las partículas del mismo no están unidas entre sí.
Suelo Blando	Los agregados se rompen entre los dedos.
Suelo Duro	Los agregados son difíciles de romper con la mano, y en algunos casos es necesario recurrir al martillo.

En los suelos mojados, la consistencia se expresa como adhesividad y plasticidad; puede estimarse en el campo mediante ensayos sencillos, o medirse con mayor exactitud en el laboratorio (FAO 2009).

5.2.7. Adhesividad

La adhesividad es la cualidad de adhesión del material del suelo a otros objetos determinados. Se prueba notando la adherencia del suelo con la presión entre los dedos (Figura 52). La prueba se realiza cuando el suelo está saturado de agua, como, por ejemplo, inmediatamente después de una abundante lluvia. Presione una pequeña cantidad de suelo mojado entre el pulgar y el índice para comprobar si se adhiere a los dedos. Después, separe los dedos lentamente. Califique la adhesividad de la manera siguiente:

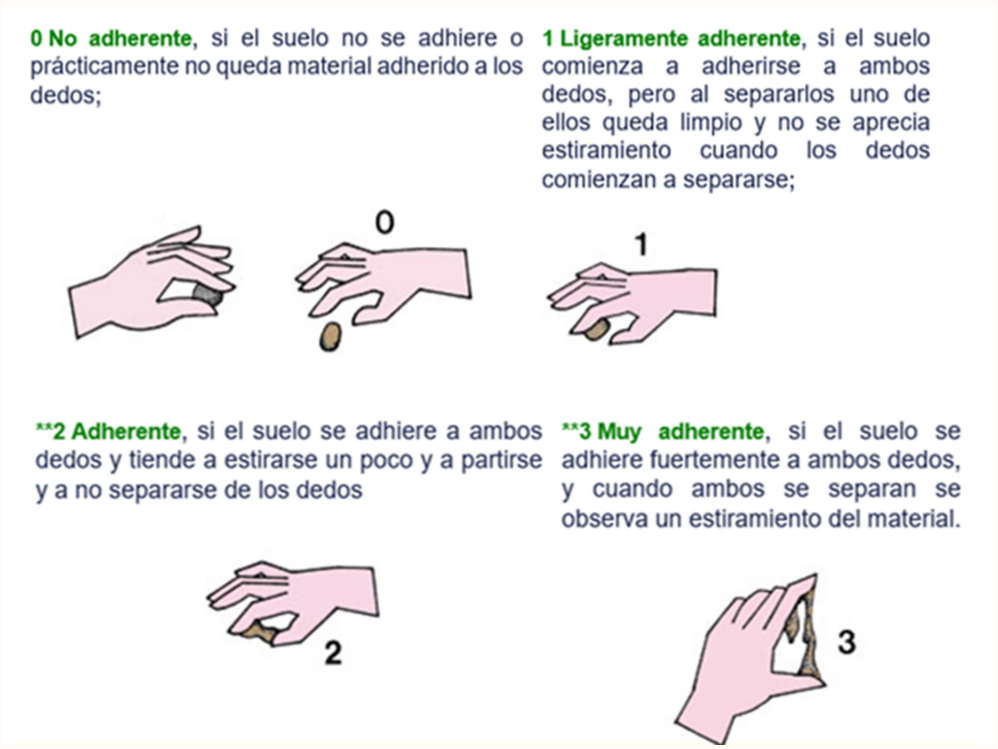


Figura 52. Método para determinar la adhesividad de un suelo (FAO, 2009)

5.2.8. Plasticidad del suelo

Se denomina plasticidad a la propiedad que presentan algunos suelos de modificar su consistencia (o, dicho de otra forma, su resistencia al corte) bajo la influencia de una presión constante aplicada y retener esa forma cuando se quita esa presión, en función de la humedad. Existe una correspondencia entre la plasticidad de un suelo y su cohesión

Independientemente de que la medida de la plasticidad se realiza con más precisión en un laboratorio, también se puede determinar enrollando el suelo en las manos hasta formar un cordón de cerca de 3 mm de diámetro y seguir la figura 53.

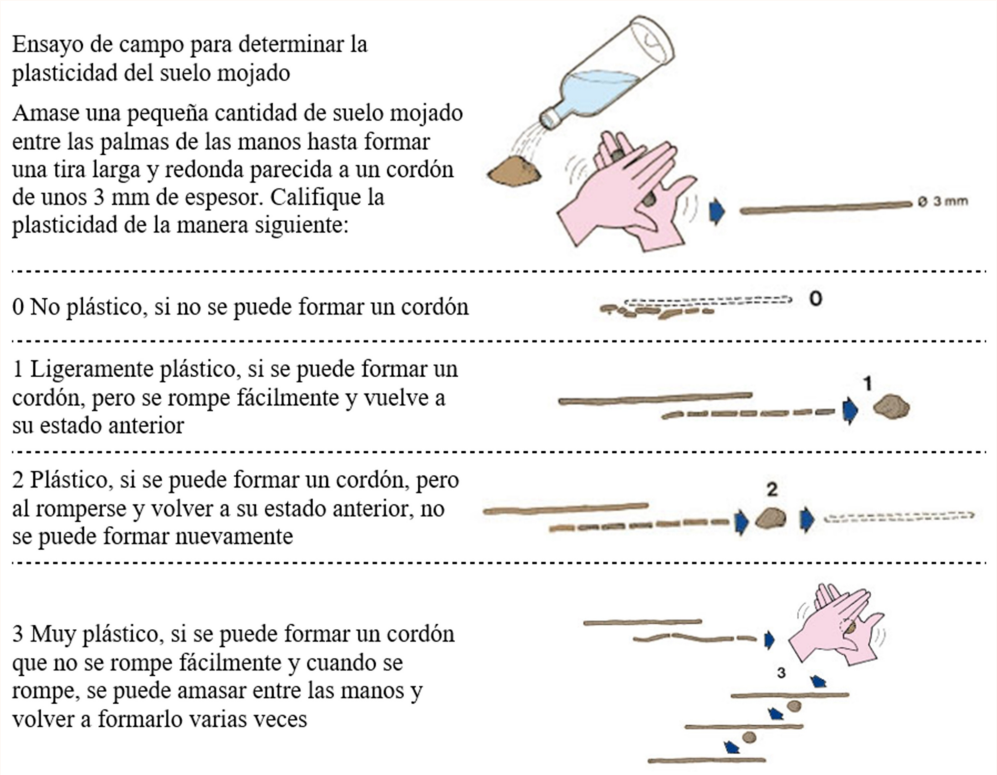


Figura 53. Clasificación de la plasticidad del suelo al tacto (FAO, 2009).

O utilizar la tabla 34.

Tabla 34. Para definir por tacto la plasticidad de un suelo (FAO, 2009).

No plástico	No se forma el cordón
Ligeramente plástico	Se forma el cordón, pero se rompe inmediatamente si se le curva en forma de aro; la masa de suelo se deforma por una muy ligera fuerza.
Plástico	Se forma el cordón, pero se rompe al doblarlo en forma de aro; se requiere una fuerza ligera a moderada para deformar la masa de suelo.
Muy plástico	Se forma el cordón y se puede doblar en forma de aro; se requiere una fuerza moderadamente fuerte a muy fuerte para deformar la masa de suelo.

Pellegrini (2019), presentó un método, que se describe a continuación, donde se relaciona las pruebas de textura con la de adhesividad plasticidad.

Tómese una muestra pequeña de la capa superficial del suelo y una muestra (s) que sean (s) representativa (s) hasta el subsuelo. Humedézcala con agua hasta el límite superior de plasticidad (LSP) y amásela entre los dedos índice y pulgar hasta destruir los agregados. Evalúe la textura del suelo según el criterio dado en la tabla 35, intentando moldear con la masa del suelo una bola o esfera o hacer cordones de suelo.

El límite superior de plasticidad se explica en el epígrafe donde se presentan las particularidades de consistencia de los suelos.

Tabla 35. Determinación de la clase textural en el campo (Pellegrini, 2019).

Aspereza	Adhesividad y plasticidad	Formación de esfera y cordón	Textura
No áspera o ligeramente áspera	Adhesividad y plasticidad en extremo	Esferas en extremo coherentes Cordones largos que se doblan en anillos	Arcilloso
No áspera	Muy ligeramente adhesivo y plástica	Esferas moderadamente coherentes Forma con gran dificultad cordones que tienen aspecto quebradizo	Limoso
Ligeramente áspera	Ligeramente adhesivo	Esferas moderadamente coherentes Forma con gran dificultad cordones que tienen aspecto quebradizo	Franco limoso
Ligeramente o moderadamente áspera	Moderadamente adhesivo y plástica	Esferas muy coherentes Cordones que se doblan en anillos	Franco arcilloso
Ligeramente áspera	Ligeramente adhesivo y plástica	Esferas moderadamente coherentes Forma cordones con gran dificultad	Franco
Áspera	No adhesivo ni plástica	Esferas ligeramente coherentes No forma cordones	Franco arenoso
Muy áspera	No adhesivo ni plástica	Forma esferas no coherentes que se deshacen con facilidad	Arenoso

Jaramillo (2002), definió varios estados de consistencia del suelo y su relación con el manejo de los mismos).

- Estado coherente
- Estado de friabilidad o fragilidad
- Límite de soltura
- Límite inferior de plasticidad
- Estado plástico
- Estado de fluidez

Estado coherente: El suelo está seco, con terrones de extrema dureza (suelo cohesivo) o en suelos arenosos, con partículas sueltas (suelo no cohesivo). Si estos suelos se someten a laboreo se provoca un fraccionamiento y disgregación mecánica de partículas, formándose grandes nubes de polvo.

Estado friable o de fragilidad: Se aumenta la humedad del suelo y se sobrepasa el límite coherente del suelo, sin que se acumule tanta agua que las películas de ella que rodean las partículas sólidas creen fuerzas adhesión dominante en el sistema, el suelo se muestra blando, se disgrega fácilmente sin pulverizarse y en él se presenta el rango de humedad óptimo para laboreo.

Realizar laboreo en este estado de consistencia es ideal porque se produce la menor alteración a la estructura del suelo.

Estado plástico: Se corresponde con el rango de humedad del suelo en el cual se deja moldear y conserva las deformaciones que le ocasionan fuerzas extrañas. Este estado se encuentra entre el límite inferior de plasticidad y el límite superior de plasticidad (LSP) o límite líquido (LL) se refiere al mínimo de humedad del suelo con el cual se empieza a comportarse como fluido (se deforma). El laboreo en estas condiciones provoca grandes problemas de compactación del suelo, y esto aumenta conforme la humedad del suelo incrementa.

Estado de fluidez: En este estado el suelo comienza a fluir por su propio peso. Hay saturación y el laboreo es prácticamente imposible.

Por su parte, la clasificación de Atterberg, divide en cuatro los estados de consistencia (Osorio, 2010):

- Pegajosa: característica de adherencia a los objetos.
- Plástica: característica para ser moldeado.
- Suave: caracterizado por la friabilidad.
- Firme: caracterizado por su dureza.

Para medir la resistencia mecánica, o resistencia a la penetración, el método más sencillo es utilizar un cuchillo, una varilla o un destornillador largo para detectar los cambios a lo largo del perfil (Figura 54), pero es más adecuado el uso de un penetrómetro, cuando el suelo esté a capacidad de campo.



Figura 54. Ejemplo de medición táctil y con un penetrómetro de la resistencia del suelo (USDA, 1999; Moebius-Clune et al., 2016).

5.2.9. Compactación

En suelos secos, la consistencia se manifiesta como como resistencia mecánica, estrechamente relacionado con la compactación del suelo.

La compactación es un proceso por el cual se comprime la masa de suelo como consecuencia de la aplicación de cargas o presiones y con ello se pierde la estructuración del suelo, aumenta la densidad aparente y disminuye la porosidad del suelo y con ello afecta el intercambio gaseoso y la infiltración del agua (Figura 55).

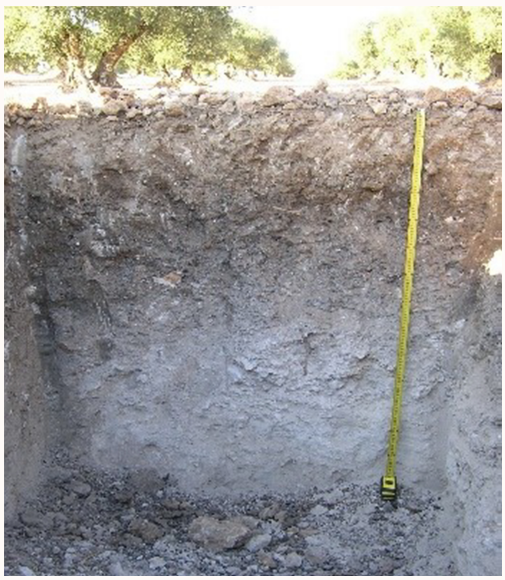


Figura 55. Perfil del suelo que indica la capa compactada (Sastre-Rodríguez et al., 2008).

Es una de las variables de mayor importancia para conocer el estado del suelo al establecer estrategias de manejo del cultivo. Se determina mediante la medición indirecta o directa de la densidad volumétrica o aparente, o de la resistencia a la penetración del suelo (Baver et al., 1991, citado por Blanco-Sepúlveda, 2009). Esta variable define la resistencia a la penetración de las raíces de las plantas, lo que constituye uno de los problemas más comunes en la agricultura.

5.2.10. Pie de arado

En los suelos muy cultivados se puede afectar la estructura granular del horizonte A con la formación de una capa endurecida, conocida como piso o pie de arado, en la parte superior del horizonte Bt (Hernández et al, 2014). Para medirlo se examina la parte inferior de la cobertura y se compara con la parte superior. Se cuantifica según los cambios de resistencia del suelo a un cuchillo o herramienta similar; esto puede hacerse en el sitio de muestreo extrayendo una rodaja suelo con la pala justa en la orilla del agujero, luego compare con las tres fotografías (Valdivia et al., 2019) (Figura 56).

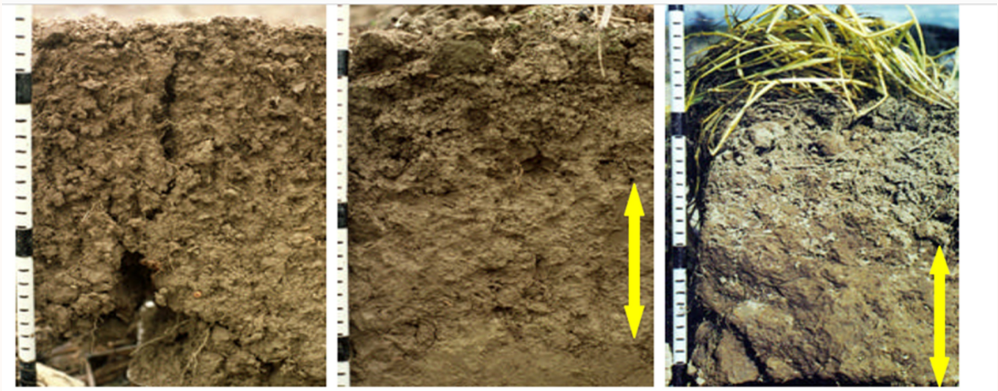


Figura 56. Presencia de piso (o pie) de arado (Valdivia et al., 2019).

5.2.11. Porosidad del suelo

Junto con la estructura del suelo, la porosidad del suelo, y particularmente la macroporosidad (o poros grandes), influye en el movimiento del aire y el agua en la tierra. Los suelos con buena estructura tienen una alta porosidad entre y dentro de los agregados, pero los suelos con estructura pobre pueden no tener macroporos y microporos gruesos dentro de terrones de gran tamaño, lo que restringe su drenaje y aireación (Shepherd et al., 2008).

El espacio poroso total del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos, o sea, la relación entre el volumen de poros, muy relacionado con la proliferación de las raíces y su desarrollo. En general el volumen del suelo está constituido por 50% materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y 50% de espacio poroso.

Los macro poros no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, son responsables del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se forman las raíces. Los micro poros retienen agua y parte de la cual es disponible para las plantas.

La porosidad tiene una relación directa con la textura del suelo, como se muestra en la figura 57.

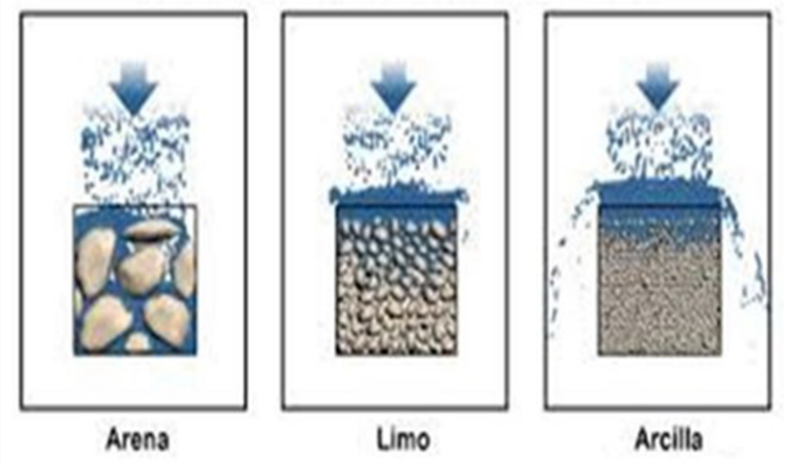


Figura 57. Tamaños de poros en distintos tipos de suelos (Osorio-Rivera et al., 2023).

La EVS se realiza comparando terrones del suelo como se indica en la figura 58. Con la pala, saque una rodaja de tierra a un lado del agujero creado para tomar la muestra, o tome varios terrones para calificar la estructura y consistencia del suelo. En la condición buena (calificación 2) se observan muchos macroporos tanto en la parte interna y externa del terrón. En la condición pobre (Calificación 0) no se observan macroporos, los terrones están duro, si se rompen forman estructuras angulares (Valdivia et al., 2019).



Figura 58. Base para la evaluación EVS de la porosidad del suelo (Valdivia et al., 2019).

El tamaño y la abundancia de los poros se puede medir mediante la figura 59.

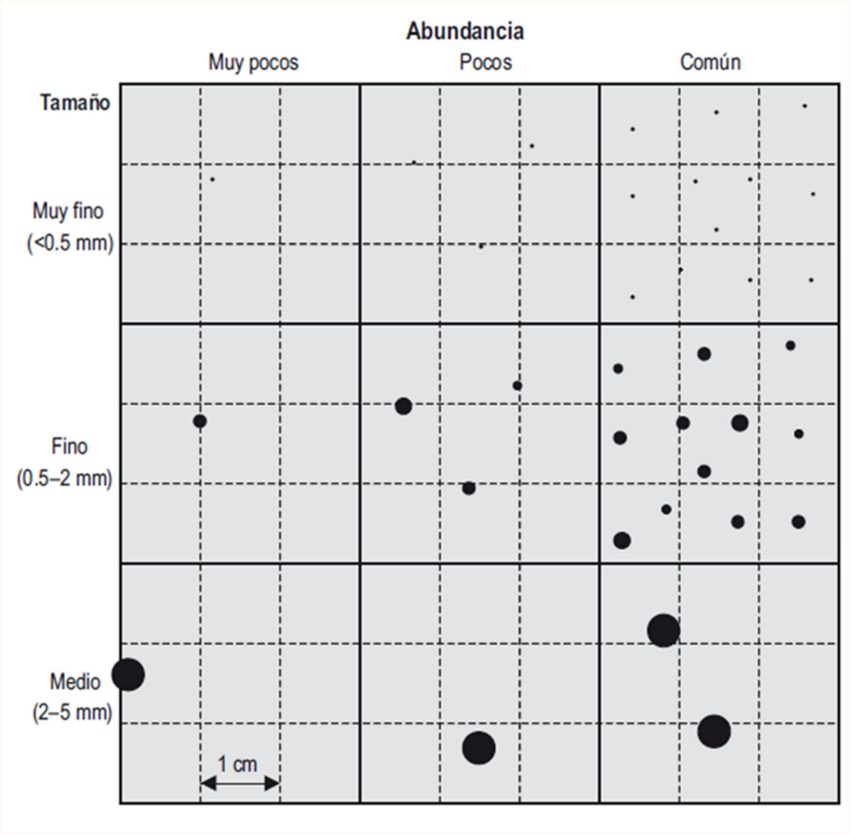


Figura 59. Esquema para la estimación de los poros según su abundancia y tamaño (FAO, 2009).

Una mala aireación provoca la acumulación de dióxido de carbono, metano y gases sulfurosos, y reduce la capacidad de las plantas para absorber agua y nutrientes, particularmente nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S) (Shepherd et al., 2008).

Un suelo posee óptimas condiciones de aeración si la porosidad de aeración (P.A.) se encuentra entre 1/3 y ½ de la porosidad total (P.T.). Si la P.A. es menor a 1/3 de la P.T. tiene excesiva cantidad de agua y si P.A. es mayor de ½ el suelo tiene deficiente cantidad de agua y se produce déficit hídrico.

5.2.12. Color del suelo

El color del suelo viene dado por la existencia y la proporción de materia orgánica y minerales, varía con el contenido de humedad, materia orgánica y grado de oxidación de minerales presentes. Se puede evaluar como una medida indirecta de ciertas propiedades del suelo. Se usa para distinguir las secuencias en un perfil del suelo, determinar el origen de materia parental, presencia de materia orgánica, estado de drenaje y la presencia de sales y carbonato (FAO, 2015b).

Es uno de los indicadores más útiles e importante para la identificación de diferentes procesos en los suelos, pues el color es un resultado de los procesos de formación y las condiciones pasadas y presentes de óxido-reducción del suelo; similar al de la materia orgánica, el color del suelo está influenciado por la forma química (o estado de oxidación) del Fe y del Mn. Colores marrones, marrón amarillento, marrón rojizo y los suelos rojos sin moteados indican condiciones bien aireadas y drenadas donde ellos se presentan en forma oxidada de óxidos férricos (Fe^{3+}) y mangánicos (Mn^{3+}). Los colores grises y azul pueden indicar que el suelo está mal drenado o encharcado y mal aireado para períodos prolongados, condiciones que reducen el Fe y el Mn a óxidos ferrosos (Fe^{2+}) y manganosos (Mn^{2+}) (Shepherd et al., 2008).

El color está determinado generalmente por el revestimiento de partículas muy finas de materia orgánica humificada (oscuro), óxidos de hierro (hematites, son de un rojo intenso y los oxihidróxidos de color amarillo, óxidos de manganeso negros. Los carbonatos, el yeso o las sales más solubles, de color blanco y otros, o puede ser debido al color de la roca parental (FAO, 2009; Vargas-Rodríguez et al., 2020).

Especialmente el color de los horizontes A y B, es la propiedad más obvia diferenciadora y fácil de identificar (Figura 60), aunque difícil de cuantificar; diferencias de color en la superficie informan sobre la profundidad de la capa arable. Por ejemplo, la presencia de variedad de colores del suelo en la superficie indica la afloración del horizonte B.



Figura 60. Ejemplo de diferencia en color de los horizontes del suelo (Fertilab, 2014).

En la percepción del color del suelo influye la humedad y la forma en que en la muestra incide la luz solar. En una primera aproximación a determinar el color del suelo se debe seleccionar un agregado, que, si está seco, debe humedecerse, entonces fraccionarlo y colocarlo de modo que los rayos del sol, de espalda al observador (Bunning et al., 2016) (Figura 61).

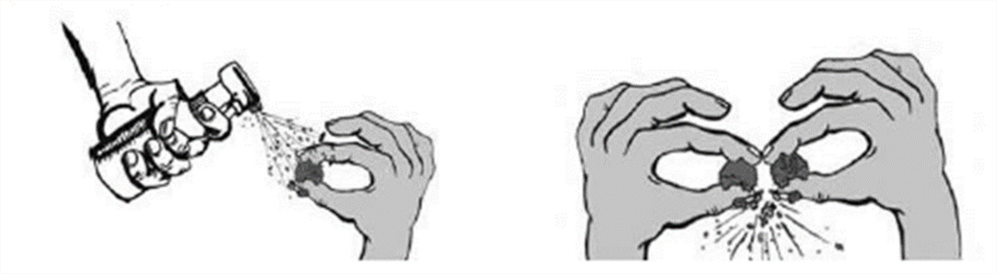


Figura 61. Modo de observar el color en un agregado de un suelo (Bunning et al., 2016).

Para una evaluación del color EVS se puede utilizar la figura 62. Se realiza una comparación entre el color del suelo del área en estudio con el color del suelo de un área cercana poco transitada, como una cerca, que responde más a las condiciones naturales. O sea, esta prueba da como resultado una idea de la salud del suelo y no el color real.

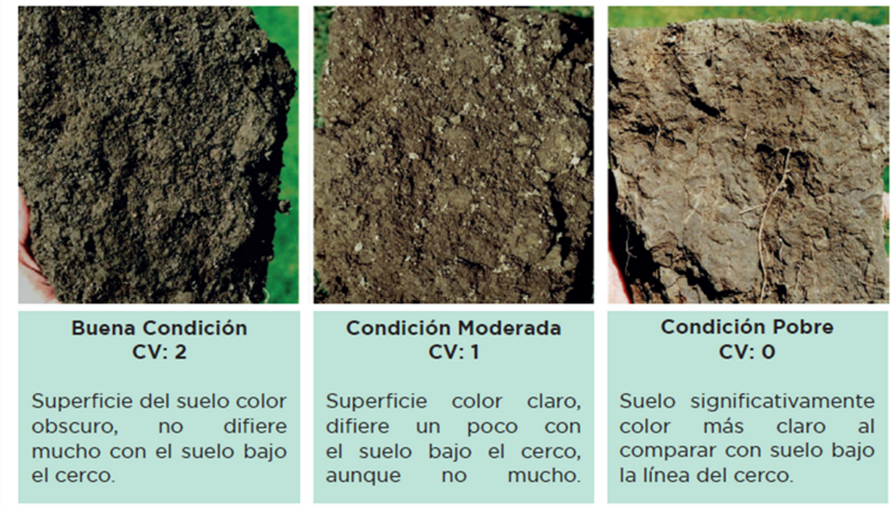


Figura 62. Elementos para la evaluación EVS del color del suelo (Valdivia et al., 2019).

Una medida más exacta se realiza mediante la Tabla de Colores de Suelo Munsell (Figura 63) elaborada bajo el principio «equidistancia percibida», empleando una notación decimal en lugar de los nombres de los colores. Los colores se clasifican de acuerdo a tonos (matiz), luminosidad (valor) y saturación (croma), que determinan una clave en letras y números. En las notaciones para matiz, valor y croma como se da en la Carta o en Tabla de Colores de Suelo Munsell, el matiz o tono, es el color espectral dominante (rojo, amarillo, verde, azul o violeta) y cinco subgrupos (rojo-amarillo, amarillo-verde, verde-azul, azul-violeta y violeta-rojo).

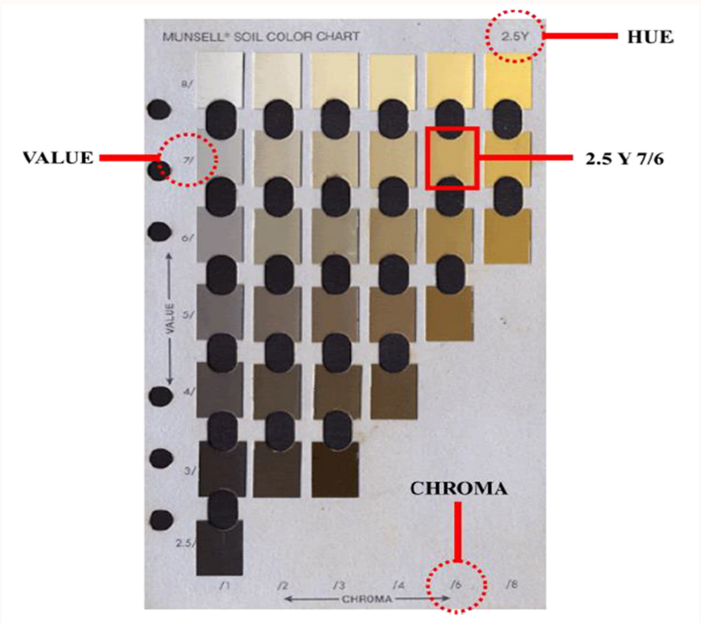


Figura 63. Ejemplo de una hoja de la Tabla de Colores de Suelo Munsell (Vargas-Rodríguez et al., 2020).

El valor o luminosidad, es la claridad u oscuridad de los rangos de color de 1 (oscuro) a 8 (claro), el negro toma un valor de 0 y el blanco de 10; y el croma o saturación, es la pureza o fuerza del rango de color desde 1 (pálido) a 8 (brillante) o sea la intensidad de color. Cuando no haya un color de suelo matriz dominante, el horizonte se describe como moteado y se dan dos o más colores (FAO, 2009; Vargas-Rodríguez et al., 2020). En la tabla 36 se muestran ejemplos de la expresión de diferentes colores en la notación Munsen.

Tabla 36. Colores del suelo y su expresión en la notación Munsen (Moreno et al., 2010).

Material	Fórmula	Notación Munsell	Color
Goethita	FeOOH	10YR 8/6	Amarillo
Pirita	FeS_2	10YR 2/1	Negro
Humus		10YR 2/1	Negro
Calcita	$CaCO_3$	10YR 8/2	Blanco
Yeso	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	10YR 8/3	Marrón muy pálido

La determinación de la matriz del suelo se realiza en dos estados: seco (se hace en superficies recién rotas y secas al aire) y húmedo, donde se lleva al agregado a capacidad de campo y se lee el color apenas desaparecido la película de agua superficial. Además, debe incluirse los moteados

Es recomendable hacer la descripción del color del suelo bajo condiciones similares para cada muestra y bajo luz difusa, es decir, sin la incidencia directa de los rayos del sol.

5.2.13. Número y color de los moteados del suelo

Los moteados son manchas de diferentes colores o sombras de color intercalado con el color dominante del suelo, que refleja, entre otras cosas el balance entre la actividad bacteriana aerobia vs anaerobia (Moebius-Clune et al., 2016). Indican que el suelo fue sujeto a condiciones de alternancia entre mojado (reducción) y secado (oxidación).

Los suelos con abundantes moteados negros, indican que el suelo está encharcado casi todo el año, moteados grises son indicadores de suelos con encharcamientos durante 6 meses, moteados anaranjados, indican que la capa de suelo en la que se encuentran los moteados está saturada por agua durante determinados momentos del año por períodos que pueden ir desde 1 a 3 meses, y ausencia de moteados indican un buen drenaje del suelo (Sastre-Rodríguez et al., 2008).

El moteado de la matriz del suelo se describe en términos de abundancia, tamaño, contraste, límite y color (Figura 64). Adicionalmente, se puede describir la forma, posición y cualquier otro rasgo (FAO, 2009).

La abundancia de los moteados se describe en términos de clases, indicando el porcentaje de la superficie expuesta que los moteados ocupan (Tabla 37). Cuando la abundancia de los moteados no permite la distinción de una matriz singular predominante o al color original, los colores predominantes se deben determinar y registrarse como los colores de la matriz del suelo.

El tamaño de los moteados individuales se interpretan en base a la tabla 38.

También se puede evaluar el contraste de color entre los moteados y la matriz del suelo, con la información de la tabla 39.

Los moteados pueden delimitarse claramente o se muestran limites difusos con el color del suelo. Se clasifican según la tabla 40.

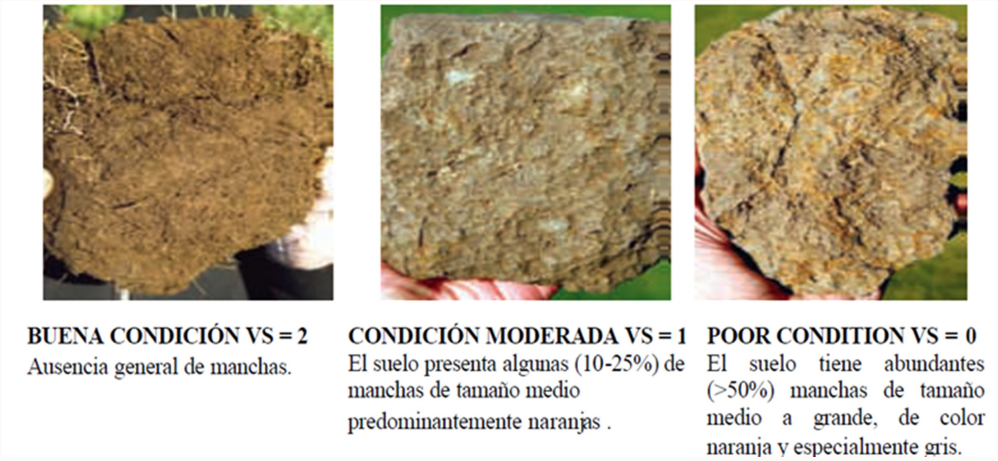


Figura 64. Elementos para la evaluación EVS de los moteados en el suelo (Valdivia et al., 2019).

Tabla 37. Clasificación de la abundancia de moteados en el suelo (FAO, 2009).

Abundancia de moteados	%
Ninguno	0
Muy pocos	0-2
Pocos	2.5
Común	5-15
Muchos	15-40
Abundantes	>40

Tabla 38. Clasificación de los moteados individuales (FAO, 2009).

Moteados individuales	mm
Muy fino	< 2
Fino	2-6
Medio	6-20
Grueso	>20

Tabla 39. Clasificación del contraste de los moteados (FAO, 2009).

Débil	Los moteados son evidentes solo con observaciones a detalle, Los colotes del suelo tanto en la matriz y moteados tienen una relación de matices, cromas y valores similares.
Distinto	Aunque no tan impresionantes, se ven bien los moteados. La matriz, croma y valor de la matriz son fácilmente distinguibles de los moteados. Pueden variar por más de 2,5 unidades de matiz o muchas unidades en croma o valor.
Prominente	Los moteados son claros y el moteado es uno de los rangos más prominentes del horizonte. El matiz, croma y valor, tanto solos como en combinación, son al menos varias unidades aparte.

Tabla 40. Clasificación del límite entre el moteado y la matriz del suelo (FAO, 2009).

Límite entre el moteado y la matriz del suelo	mm
Agudo	< 0,5
Claro	0,5-2
Difuso	>2

5.2.14. Delimitación de horizontes genéticos

La formación y la evolución del suelo bajo la influencia de los factores y procesos pedogenéticos conduce a la diferenciación de capas o estratos sucesivos de textura, de estructura, de color y de otras propiedades diferentes, llamadas horizontes. Estos horizontes se encuentran relacionados genéticamente entre sí. El conjunto de horizontes constituye lo que se llama el perfil del suelo, un corte transversal en el suelo en los cuales se pueden identificar los horizontes (Fadda et al., 2017).

El perfil del suelo es la ordenación vertical de esos horizontes, desde la superficie del terreno hasta llegar a la roca madre (Figura 65) (Martín-Alonso & Abad-Orta, 2011). En el manual se trabajará con los horizontes genéticos, que son las capas u horizontes que se presentan por el perfil del suelo como resultado de su formacsión.

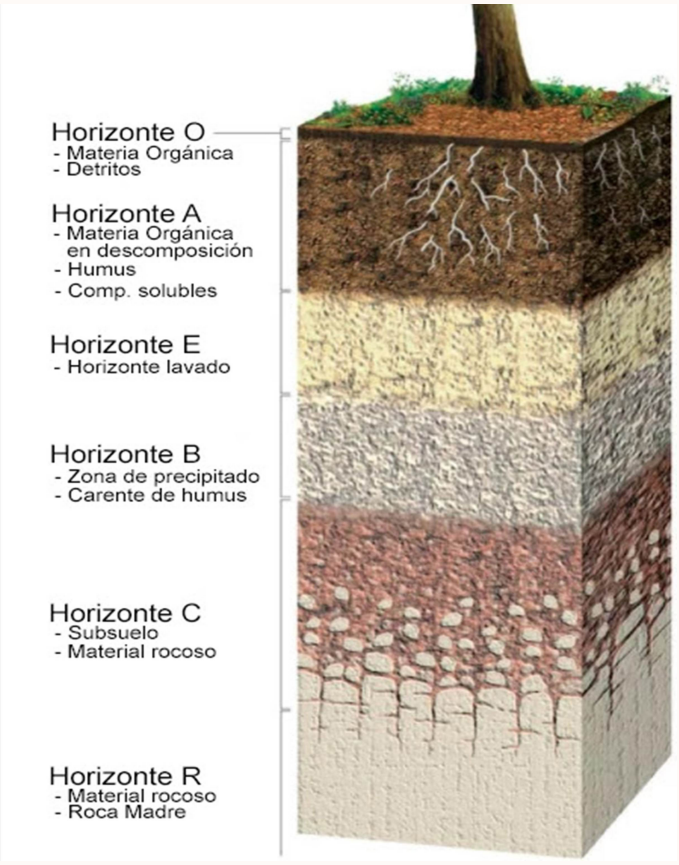


Figura 65. Horizontes genéticos principales en un perfil de suelo (Universitaria de Oficios, s/a). A: húmico acumulativo; B: iluvial; C: material de origen disgregado, sin estructura; R: roca madre compacta.

Los límites de los horizontes del suelo proveen información relacionada con los procesos formadores del suelo y comúnmente son descritos en términos de distinción (Tabla 41), topografía y profundidad.

Tabla 41. Distinción entre límites de horizontes (FAO, 2009).

Clase	cm
Abrupto	< 2,0
Claro	2,1-5,0
Gradual	5,1-15
Difuso	> 15

La mayoría de límites de suelo son zonas de transición más que líneas puntuales de división, no tienen una profundidad constante, por lo que ya variación o irregularidad de la superficie del límite se describe por la topografía en términos de suave, ondulado, irregular y fracturado (Tabla 42 y Figura 66).

Tabla 42. Topografía entre límites de horizontes (FAO, 2009).

Clase	Características
Suave	Casi plano
Ondulado	Ondulaciones más anchas que profundas
Irregular	Ondulaciones más profundas que anchas
Quebrado	Discontinuo

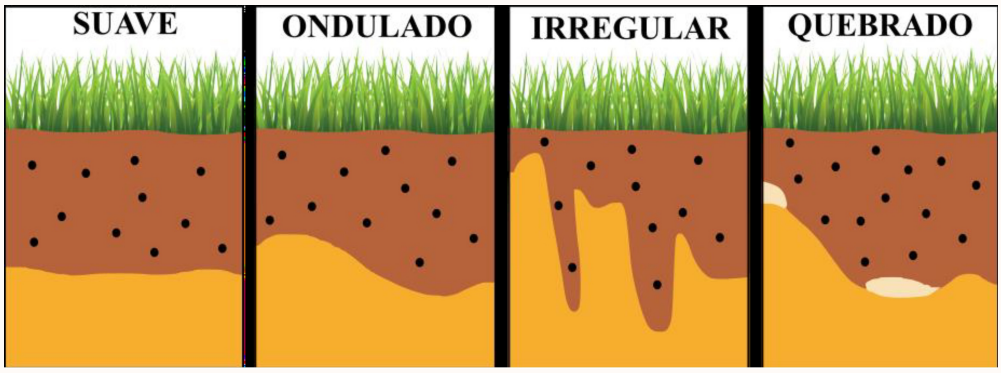


Figura 66. Topografía entre límites de horizontes (Vargas-Rodríguez et al., 2020).

La delimitación se realiza considerando en primer lugar el color de las diferentes capas de suelo, a lo que sea adicionan otras características como pueden ser la estructura del suelo y la textura, que se determinan al tacto. Se trata de identificar los horizontes y describirlos: (Figura 67).



Figura 67. Ejemplo de delimitación de un horizonte de un suelo (Chavarría-Aráuz, 2011).

Horizonte Orgánico O, también Aoo, Ao: Este horizonte superficial se encuentran generalmente encima del horizonte A, con diferente grado de descomposición de la materia orgánica como restos vegetales en descomposición. Es más identificable en zonas boscosas y similares y prácticamente desaparece en suelos de cultivo. Puede aparecer en el interior del perfil en caso de material orgánico depositado y que se ha descompuesto en diversas etapas, excepto lo ocurrido por lixiviación de materia orgánica.

Horizonte A (también denominado capa arable u horizonte eluvial): son horizontes minerales que han sido formados desde la superficie del suelo o subyacentes al horizonte Ao, muestran alteración de toda o gran parte de la estructura original de la roca y presentan un color oscuro por la abundancia de materia orgánica en descomposición o humus. Generalmente el horizonte A se relaciona con la denominada capa arable del suelo (USDA 1999).

En la tabla 43 se presenta la evaluación del Horizonte A.

Tabla 43. Evaluación del Horizonte A o capa arable del suelo (Tomado de USDA, 1999).

Profundidad capa arable (cm)	Evaluación
0-10	Poco profundo
10-20	Medianamente profundo
20-30	Profundo
30 >	Muy profundo

Este horizonte puede subdividirse en distintos sub horizontes: A1, A2 y A3, diferenciándose por su color, generalmente más claros en los inferiores y pueden ser de espesor variable.

Cuando, por las labores de cultivo, estos subhorizontes se mezclan entre sí y no es posible diferenciarlos, se designa con el símbolo Ap (perturbado). En este horizonte existe la mayor cantidad de nutriente y actividad microbiana por lo que no debe de mezclarse con el Horizonte B, en el momento de la aradura.

Horizonte B: horizontes que se han formado por debajo de un horizonte A y se caracterizan por no presentar en todo o en la mayor parte del mismo la estructura original de la roca. Las raíces y los seres vivos pueden llegar hasta este nivel. También se denominan horizonte iluvial, pues reciben materiales que provienen se han solubilizados en el horizonte A o partículas que han sido lixiviadas. Presenta poca materia orgánica por lo que su color es más claro y pudiera ser de color pardo o rojo, por la presencia de óxidos de hierro.

Este horizonte se puede subdividir en B1, B2 y B, por la influencia de los horizontes A y C, En ocasiones este horizonte está conformado por el 50% del horizonte B y 50% del horizonte C por lo que se denomina horizonte BC.

Horizonte C: horizontes o capas, que excluye la roca dura, que están poco afectados por procesos pedogenéticos y carecen de las propiedades de los horizontes A o B.

La mayoría son capas minerales que pueden ser o no el mismo material parental que presumiblemente ha dado origen al suelo. Está menos alterado con la profundidad hasta llegar a confundirse con la roca madre.

La roca madre no fragmentada ni alterada también puede ser denominada horizonte R.

Soil Science Division Staff (2017), presentó otros horizontes que puede ayudar a describir un perfil del suelo, para lo cual es necesario tener suficientes conocimientos y experiencias para identificarlos:

Para evaluar las condiciones del perfil, se puede identificar un perfil patrón donde no ha existido actividad antrópica y valorar las modificaciones que ha producido la actividad agropecuaria en el perfil que evaluamos, especialmente las variaciones en el perfil genético.

5.2.15. Densidad aparente del suelo

La densidad aparente es un criterio importante para la evaluación hídrica y de los nutrientes. En campo, se puede determinar de manera semicuantitativa, tomando en cuenta la penetrabilidad del perfil de suelo con ayuda de un cuchillo e informaciones de la textura del suelo (Tabla 44). (Vargas-Rodríguez et al., 2020).

Tabla 44. Evaluación organoléptica de la densidad aparente (Vargas-Rodríguez et al., 2020).

Características (válido para suelos secos)	Densidad aparente [g/cm³]			
	Arenas y limos	Francos	Arcillosos	Evaluación
El cuchillo solo se puede introducir bajo fuerzas mayores, la muestra casi no se desmorona	>1,9	> 1,8	>1,6	ALTA
El cuchillo solo se introduce con dificultad 1 a 2 cm en el suelo, la muestra se desmorona en pocos fragmentos que solo se pueden partir con dificultad	1,8	1,6	1,4	MEDIA
El cuchillo se puede introducir en el suelo con poco esfuerzo, la muestra se desmorona en pocos fragmentos, los cuales pueden ser partidos en fragmentos más pequeños con la mano	1,6	1,4	1,2	
Al presionar suavemente, el suelo se desmorona en muchos fragmentos	1,4	1,2	1,0	BAJA
La muestra se desmorona totalmente al tomarla, se ven muchos poros gruesos y muy gruesos	1,2	<1,0	-	

5.2.16. Existencia de arcillas expansivas

Las arcillas de tipo esmectítico o montmorillonítico tienen la propiedad de absorber en su estructura moléculas de agua, de esta forma son capaces de aumentar considerablemente de tamaño cuando se humedecen. Los suelos que contienen este tipo de arcilla pueden aplastar las raíces de las plantas, pero al mismo tiempo tienen una elevada capacidad de intercambio de bases.

EI Coeficiente de Extensión Lineal (COEL) es una forma de saber si en el suelo existe un cierto porcentaje de este tipo de arcillas.

Esto es (Lh-Ls) /Ls, donde Lh es la longitud a una tensión de 33 kPa y Ls es la longitud en seco.

Si el COEL es 0,04 o más alto y el suelo tiene estaciones húmedas y secas contrastantes, entonces la relación arcilla fina con la arcilla total en el horizonte iluvial será 1,2 veces o más alta que la relación en el horizonte eluvial.

El COEL no se aplica si la contracción es irreversible.

Para determinar el COEL en condiciones de campo, se amasa una cierta cantidad de tierra con algo de agua, después de quitarle los cantos y las piedrecillas. Con esta mezcla se forma un cilindro de aproximadamente 1 cm de ancho y 10 cm de largo. El cilindro se deposita sobre una superficie deslizante que no pueda absorber la humedad (mármol, formica, etc.). Se mide su longitud exacta (Lh). Al día siguiente, una vez que el cilindro está completamente seco, se vuelve a medir su longitud (Ls) (Garrido Valero, 1994). El COEL se utiliza para calcular la extensibilidad lineal. El COEL multiplicado por 100 se le llama porcentaje de extensibilidad lineal (PEL). El porcentaje de extensión lineal se calcula con la siguiente ecuación (Garrido Valero, 1994).

$$\%\,\mathrm{E.L.} = (\mathrm{Lh} - \mathrm{Ls}\ \mathrm{x}100)\ /\mathrm{Ls}$$

Lh: Longitud en húmedo.
Ls: Longitud en seco.

Si E.L. es mayor de 7% existe un alto porcentaje de arcillas expansivas o esmectíticas.

Otro indicador es la ocurrencia de grietas en el suelo, que se deben a la capacidad de expansión de arcillas como la montmorillonita o la vermiculita. Su evaluación se realiza con la tabla 21, en el epígrafe V.1:7.

5.2.17. Fragmentos rocosos y artefactos dentro del perfil

La presencia de fragmentos rocosos y de artefactos influye en el estado de los nutrientes del suelo, el movimiento del agua, uso y manejo del suelo, origen y estado de desarrollo del suelo.

Los fragmentos y artefactos se clasifican por su tamaño, como se muestra en la tabla 45.

Tabla 45. Clasificación de los fragmentos rocosos y artefactos por su tamaño FAO, 2009).

Fragmentos rocosos	(mm)	Artefactos	(mm)
F: Grava fina	2-6	V: Artefactos muy finos	< 2
M: Grava media	6-20		
C: Grava gruesa	20-60	F: Artefactos finos	2-6
S: Piedras	60-200		
B: Cantos	200-600	M: Artefactos medios	6-20
L: Cantos grandes	>600		
Combinaciones de clases		C: Artefactos gruesos	> 20
FM: Grava fina y media/artefactos			
MC: Grava media y gruesa/artefactos			
CS: Grava gruesa y piedras			
SB: Piedras y cantos			
BL: Cantos y cantos grandes			

También se pueden clasificar por su fiorma en Plano, angular, sub-redondeado y redondeado (FAO, 2009).

Los principales fragmentos rocosos de los minerales primarios se originan de cuarzo, mica y feldespato.

Es importante conocer el estado de intemperización de los fragmentos rocosos (Tabla 46).

Tabla 46. Clasificación de la intemperización de los fragmentos rocosos (FAO, 2009).

Fresco o ligeramente intemperizado	Los fragmentos muestran pocos signos o ausencia de intemperismo
Intemperizado	El intemperismo parcial es indicado mediante la decoloración y pérdida de formas cristalinas en las partes externas de los fragmentos mientas los centros permanecen relativamente frescos y los fragmentos han perdido un poco de su fortaleza original
Fuertemente intemperizado	Todos los minerales más resistentes están intemperizados, fuertemente decolorados y alterado sa través de los fragmentos que tiende a desintegrarse solo baño presiones moderadas, menos

5.2.18. Revestimientos

Los revestimientos de los agregados pueden ser de arcilla, humus, carbonato de calcio, arena o manganeso. Se clasifican por su cantidad y localización, fuera o dentro de estos (Tabla 47).

Tabla 47. Clasificación de los revestimientos de acuerdo a su cantidad (FAO, 2009).

Cantidad	%
Ninguno	0
Pocos	0-5
Comunes	5,1-40
Abundantes	40,5-80
Dominantes	> 80

5.2.19. Humedad del suelo

La humedad del suelo representa el contenido de agua dentro de un suelo, que se mantiene dentro del espacio poroso. Además del agua que está dentro del espacio poroso, también hay una porción de agua del suelo que se retiene en el suelo por las partículas (coloides); es el principal componente del suelo en relación con el crecimiento de los cultivos y junto con el pH del suelo, son los principales determinantes de las reacciones del suelo y de los intercambios de calor y gases dentro del suelo (FAO, 2020).

Cuando los cultivos satisfacen su demanda de agua, el agua contenida en el suelo también ayuda a los cultivos para absorber nutrientes en forma de sales disueltas.

El contenido de humedad del suelo podría estimarse a través de cómo se siente y se comporta cuando se manipula, según el siguiente procedimiento de la FAO (2020).

- Obtener una muestra de suelo a una profundidad seleccionada con una sonda de suelo, una barrena y/o una pala.
- Después de obtener la muestra de suelo y manipularla, apriétela firmemente varias veces para formar una bola de forma irregular.
- Luego exprima la muestra de suelo en su mano, entre el pulgar y el índice, para formar una cinta/gusano con la tierra.

- Prestar especial atención a la textura del suelo, la capacidad de un suelo para formar una cinta cuando es exprimida, la firmeza y rugosidad de la superficie de la bola, agua nítida, partículas de tierra suelta, color del suelo y manchas en los dedos, se puede estimar el porcentaje de humedad del suelo de acuerdo a las tablas 48ª y 48ᵇ .

Tabla 48ª. Guía gráfica para estimar el contenido de humedad de suelos de diferente textura, mediante los sentidos y la apariencia (FAO, 2020).

Humedad %	Suelo disponible	
	Textura gruesa - Arena fina y Arena Fina loamosa	**Textura moderadamente gruesa - Franco Arenoso y Franco arenoso fino**
0-25	Seco, suelto, se mantiene unido si no se perturba; si se aplica presión granos de arena se sueltan de los dedos	Seco, se forma una pelota muy débil. granos agregados de suelo se sueltan fácilmente de la pelota.
25-50	Ligeramente húmedo, se forma una bola muy débil con con marcas de los dedos bien definidas. Una capa ligera de granos de arena suelta y agregada deben de permanecen en los dedos. 	Ligeramente húmedo, se forma una bola muy débil con marcas de los dedos bien definidas. Una capa ligera de granos de arena suelta y agregada deben de permanecen en los dedos. 
50-75	Ligeramente húmedo, se forma una bola débil con marcas definidas de los dedos., Color oscuro y moderadas manchas de agua en los dedos, no se forma un cordón. 	Húmedo, se forma una bola con marcas definidas de los dedos, muy ligeras manchas de suelo/agua en los dedos, Color oscuro, no se pega. 
75-100	Húmedo, forma una bola débil, granos de arena sueltos agregados se mantiene en los dedos, color oscuro, manchas fuertes de agua en los dedos, no forma cordón. 	Húmedo, forma una bola con contorno mojado sobre la mano, manchas de agua ligeras o medias sobre los dedos. Se forma un cordón débil entre el pulgar y el índice. 
100 Capacidad de Campo	Húmedo, forma una bola débil, una cubierta suelo/agua de moderada a fuerte sobre los dedos, un contorno húmedo de una bola suave se mantiene en la mano	Húmedo, forma una bola blanda, aparece brevemente agua libre sobre la superficie del suelo después de exprimir o agitar, una capa suelo/arena media o fuete sobre la superficie de los dedos.

Tabla 48[b]. Guía gráfica para estimar el contenido de humedad de suelos de diferente textura, mediante los sentidos y la apariencia (FAO, 2020).

Humedad %	Suelo disponible	
	Textura media - Loam arcillo arenoso, Franco, y Franco limoso	**Textura fina - Arcilla, Loam Arcilloso o loam franco arcilloso Marga limosa**
0-25	Suelo seco, los agregados se rompen fácilmente. No se observan manchas de humedad en los dedos; con presión los terrones se desmoronan	Seco, los agregados de suelos se separan fácilmente, los terrones son duros para desmoronarse cuando se aplica presión.
25-50	Ligeramente húmedo, se forma una pelota débil con superficie rugosa. No se observa manchas de agua en los dedos; pocos granos de agregados del suelo se rompen. 	Húmedo, forma una bola blanda con bien definidas marcas de dedos y manchas ligeras suelo/agua sobre los dedos; cordones entre el pulgar y el índice 
50-75	Húmedo, forma una bola, blanda, muy ligeras manchas de agua en los dedos. Color oscuro, 	Húmedo, forma una bola blanda con bien definidas marcas de dedos y manchas ligeras suelo/agua sobre los dedos; cordones entre el pulgar y el índice 
75-100	Húmedo, forma una bola con manchas de dedos bien definidas, cubierta fuertes de suelo-agua en dedos; se forman cordones entre el pulgar y el índice. 	Húmedo, forma una bola; una capa suelo/agua desigual medio a fuerte sobre los dedos, se forman fácilmente cordones entre el pulgar y el índice. 
100 Capacidad de campo	Húmedo, forma una bola blanda, aparece brevemente agua libre después de apretada o agitada sobre la superficie del suelo y una capa media a fuerte de suelo/agua sobre los dedos.	Húmedo, forma una bola blanda, aparece brevemente agua libre después de apretada o agitada sobre la superficie del suelo; una capa gruesa de suelo/agua sobre los dedos, resbalosa y pegajosa.

5.2.20. Repelencia al agua

El grado de repelencia al agua (hidrofobicidad) se determina a través de la aplicación de tres gotas de agua sobre una parte relativamente plana de la superficie del terreno y la cuantificación del tiempo necesario para penetrar dicha superficie del terreno. Este método es conocido como *Water Drop Penetration Time* (WDPT). El promedio del tiempo requerido para que dichas gotas permeen en el suelo se asocia según la tabla 49.

Tabla 49. Grado de repelencia al agua (Vargas-Rodríguez et al., 2020).

Repelencia al agua	Tiempo (s)
Nula	≤ 0
Ligera	5-30
Moderada	30-180
Fuerte	> 180





6. INDICADORES QUÍMICOS DEL SUELO QUE SE UTILIZAN EN LA EOS

Los análisis organolépticos de los indicadores químicos de los suelos son importantes ante limitantes operacionales o económicas para los análisis químicos de suelo en laboratorios. Además, facilitan la realización de evaluaciones en grandes áreas de terreno, con ahorro de tiempo y recursos económicos y técnicos (FAO, 2020).

No es posible medir todos los indicadores químicos de la salud del suelo mediante métodos organolépticos. No obstante, se obtienen informaciones que, a priori, indican elementos que permiten tener una idea de problemas y adelantar acciones mientras se obtienen análisis de laboratorio.

6.1. pH del suelo

El pH del suelo, también conocido como acidez activa o actual, es un término introducido para medir la concentración de hidrogeniones en una disolución. En el suelo, el pH involucra los iones H3O+ disociados en la solución de este o intercambiables en las capas del coloide. Ello depende de la disolución que se coloca en equilibrio con el suelo para su determinación analítica.

El conocimiento del pH es importante para manejar la fertilidad de los suelos. También sirve para definir qué cultivos son más apropiados para una región y para establecer el uso de fertilizantes y enmiendas. El pH fue uno de los primeros indicadores de las propiedades del suelo con los que contaron los especialistas de la agricultura.

La determinación organoléptica del pH se realiza mediante el método de vinagre y soda efervescente. Este método se basa en el pH tanto del vinagre como del bicarbonato de sodio y en cómo reaccionan con materiales o productos químicos con un pH diferente. El vinagre es ácido y, cuando entra en contacto con un material alcalino (o un compuesto químico), forma burbujas y espuma. El bicarbonato de sodio es alcalino y, cuando entra en contacto con un material químico ácido, también forma burbujas y espuma (FAO, 2020).

Debido a las propiedades químicas de ambos productos mencionados, estos se pueden usar para una estimación aproximada del pH del suelo en el campo. Si el vinagre reacciona con la tierra, entonces esa tierra tiene un pH alcalino. De manera similar, si el bicarbonato de sodio reacciona con el suelo, entonces ese suelo tiene un pH ácido.

Materiales necesarios:

- Una pala o pala de mano
- Un recipiente para contener la tierra (una taza de cerámica o cualquier cosa que pueda contener la tierra sin interferencia con la reacción)
- Vinagre
- Bicarbonato
- Recipiente lleno de agua (agua desionizada si es posible)
- Cualquier cosa con la que realizar la mezcla de agua y tierra (una cuchara o incluso un material de madera).

Procedimiento:

- Limpiar los puntos de muestreo de cualquier vegetación o restos de hojas o raíces.
- Obtener un poco de tierra de cualquier otra profundidad deseada con una paleta o pala manual.
- Buscar raíces o restos de plantas e intente eliminarlos de la muestra de suelo lo antes posible.
- Colocar la tierra en la taza o recipiente.
- Agregar un poco de agua a la tierra para convertirla en una pasta (ni demasiado húmeda ni demasiado seca, ya que debe tener cierta consistencia)

Prueba de Acidez: En la pasta de tierra ya preparada, agregue aproximadamente ½ taza de bicarbonato de sodio. Luego, revuelva ligeramente durante aproximadamente 1 a 2 minutos. Si, después de revolver, la tierra emite sonidos burbujeantes, forma burbujas o espuma, entonces ese suelo es ácido.

Prueba de alcalinidad: En la pasta de tierra ya preparada, agregue aproximadamente ½ taza de vinagre. Pegue y revuelva ligeramente durante 1 a 2 minutos. Si después de revolver la tierra emite un sonido burbujeante, forma burbujas o espuma, entonces ese suelo es alcalino.

Estos métodos son rápidos y fáciles. Cualquier persona puede realizarlos sin ningún conocimiento técnico de suelos ni equipos específicos. Sin embargo, cada método solo proporciona una estimación rápida del pH de un suelo. No entrega el rango de pH del suelo ni valores absolutos, sino que simplemente da una idea de si ese suelo es ácido, alcalino o neutral (si no se producen reacciones). Por lo tanto, los resultados obtenidos mediante este método necesitarán confirmarse más adelante mediante métodos más precisos. Si se contara con papel tornasol, se podrían obtener resultados un poco más precisos.

6.2. Condiciones reductoras

Las propiedades reductoras de la matriz del suelo reflejan permanentemente la humedad o, por lo menos, las condiciones reductoras. Estas se expresan mediante colores neutros (blanco y negro) o azulados a verdosos. El patrón del color cambia a menudo por la aireación en minutos o días debido a los procesos de oxidación. El potencial RedOx representa estas propiedades. Este potencial decrece en el corto plazo en un suelo con exceso de humedad. Los colores mencionados son propios de los suelos que se clasifican como Gleysoles. Además de la información sobre la existencia de capas de suelo con síntomas de gleyzación, la tabla 50 muestra la clasificación de la profundidad del suelo a la que aparecen dichos síntomas.

Tabla 50. Clasificación de la gleyzación por la profundidad de aparición.

Gleyzación	Profundidad en que aparecen los moteados
Gleyzación superficial	< 20
Gleyzación moderada	30-60
Gleyzación profunda	60

La interpretación de la profundidad de la Gleyzación depende del tipo de suelos, el clima y las prácticas agrícolas. Por ello, se recomienda combinar informaciones y otros datos del suelo y la región.

6.3. Presencia de sal

Un exceso de sales puede ser perjudicial para la salud de las plantas. Las sales también pueden dificultar la penetración de agua en el suelo y aumentar la aparición de compactación superficial. La salinidad de los suelos es una de las limitantes principales para la agricultura. Esta condición puede ocurrir por causas naturales o por mal manejo del agua (Figura 68). En casos graves, las sales pueden manifestarse en la superficie del suelo. Por lo tanto, la salinidad puede describirse en términos de cobertura, apariencia y tipo de sal.

Los suelos salinos contienen proporciones muy altas de sales solubles, tanto en la solución del suelo como retenidas en partículas de arcilla. La mayoría de las plantas no crecen en estos suelos, o su crecimiento se altera de forma significativa.

Para evaluar si un suelo está afectado o no por las sales, se utilizan imágenes de síntomas como indicadores de salinidad del suelo (FAO, 2020).



Figura 68. Presencia de sales en los suelos (Osorio-Rivera et al., 2023).

Entre los indicadores visuales de la salinidad del suelo se pueden incluir los siguientes:

- Crecimiento irregular de los cultivos
- Suelo desnudo
- Cristales de sal en la superficie del suelo
- Suelos muy secos
- La presencia de especies y malezas tolerantes a la sal
- Colores gris claro o blanco en la superficie del suelo
- Algunas áreas dentro de un campo pueden tardar más en crecer

Al realizar el diagnóstico, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos: los síntomas visuales pueden variar según el tipo de suelo y el clima. En un suelo cultivado, es posible que no haya indicadores visuales de la salinidad del suelo. Cuando aparezcan esos indicadores, puede ser demasiado tarde porque el suelo ya podría estar alto en salinidad. La tabla 51 puede utilizarse para evaluar el porcentaje de cobertura y el grosor de la capa salina.

Tabla 51. Calificación de las características visuales de las sales en base a cobertura y espesor de la capa salina (FAO, 2009).

Cobertura	%	Espesor	mm
Ninguna	0-2	Ninguno	
Bajo	2-15	Delgado	< 2
Moderado	15-40	Medio	2-5
Alto	40-80	Grueso	5-20
Dominante	> 80	Muy grueso	> 20

La evaluación organoléptica de la salinidad del suelo se puede realizar mediante la información que se muestra en la figura 69. Este método práctico se basa en la emisión de una puntuación según las condiciones del suelo.

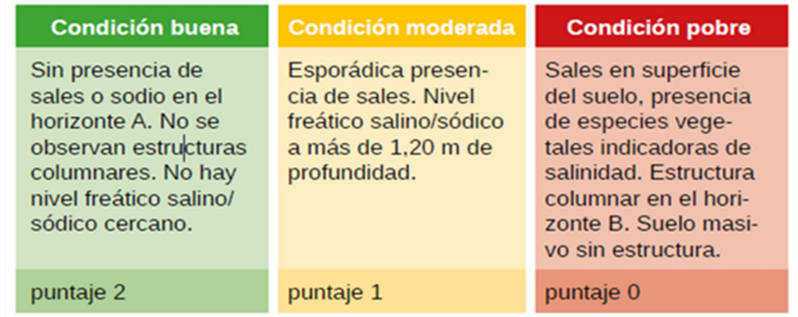


Figura 69. Evaluación organoléptica de la salinidad del suelo (Noellemeyer et al., 2021).

En la parte del análisis químico de los suelos, se muestra la evaluación de la fertilidad. Dicha evaluación se basa en la conductividad eléctrica y en otros indicadores.

6.4. Arena blanqueada o descolorida

La presencia de granos de arena sueltos y blanquecinos en la superficie es típica de ciertos suelos. Esta característica influye en las propiedades de reflectancia del área y, por lo tanto, en la imagen obtenida mediante teledetección. La tabla 52 indica las clases basadas en los porcentajes de superficie cubierta (FAO, 2009).

Tabla 52. Clasificación de las características de arena blanqueada, según porcentaje de superficie cubierta (FAO, 2009).

Clasificación	Característica	(%)
0	Ninguno	0-2
1	Bajo	2-15
2	Moderado	15-40
3	Alto	40-80
4	Dominante	>80

6.5. Presencia de carbonatos de cationes divalentes

Los carbonatos son un componente que, en algunos suelos, puede disminuir los rendimientos de los cultivos. Estos compuestos limitan la respuesta a la fertilización e incluso pueden llegar a impedir el desarrollo de ciertas especies de interés agrario. Las deficiencias de hierro, zinc, fósforo y nitrógeno se explican por la presencia excesiva de carbonatos. Cuando se presentan acumulaciones de carbonato a cierta profundidad en el perfil edáfico, las plantas pueden sufrir la muerte de su yema apical después de haber tenido un desarrollo inicial normal (Ibáñez, 2007).

Los carbonatos se observan a simple vista en algunos tipos de suelo, como en la figura 70. En dicha figura se observan los cuerpos blancos por debajo de una profundidad de unos 60 cm.



Figura 70. Masas de carbonato cálcico secundario en el horizonte cálcico de un Aridisol (Soil Science Division Staff, 2017).

Para comprobar el problema o cuando se sospecha de él, pero no se encuentra una señal visual, se utiliza la reacción al ácido clorhídrico al 10 %. La prueba consiste en adicionar el ácido con un gotero sobre una porción de suelo y en observar la reacción. Las burbujas de dióxido de carbono que se observan son la prueba de que la calcita u otro mineral de carbonato está presente. Se toma como referencia la tabla 53.

Tabla 53. Respuesta del suelo al ácido clorhídrico (FAO, 2009).

(%)	Característica	Respuesta al HCl
0	No calcáreo	No detectable visiblemente ni efervescencia audible
≈ 0-2	Ligeramento calcáreo	Se escucha la efervescencia pero no es visible
≈ 2-10	Moderadamente calcáreo	Efervescencia fuertemente visible
≈ 10-25	Fuertemente calcáreo	Efervescencia visible. Las burbujas forman poca espuma
≈ >25	Extremadamente calcáreo	Reacción extremadamente fuerte. Se forma la espuma espesa rápidamente

Cuando se observan los carbonatos en el suelo, es necesario conocer sus formas. Estas formas se muestran en la tabla 54. La clasificación se basa mayoritariamente en la consistencia.

Tabla 54. Clasificación de las formas de los carbonatos secundarios (León-Arteta, 2007).

Concreciones suaves
Concreciones duras
Concreciones duras huecas
Cal polvorienta dispersa
Pseudomicelio (poros rellenados con carbonatos, parecido al micelio)
Capa de greda
Capa dura cementada o capas de carbonatos (menos de 10 cm de grosor)

6.6. Olor

Es una propiedad del suelo dependiente de la humedad y la aireación. Dicha propiedad es un indicador de la actividad del suelo y su salud. El olor está determinado por los gases de los estados de reducción y oxidación generados por los microbios en el suelo. También depende de la cantidad y la calidad de la materia orgánica y el humus. Los suelos ricos en hongos producen olores a tierra, ricos, dulces, frescos o a humedad. La figura 71 muestra la foto de un suelo moderadamente sano (a la derecha) y de un suelo con problemas (a la izquierda).

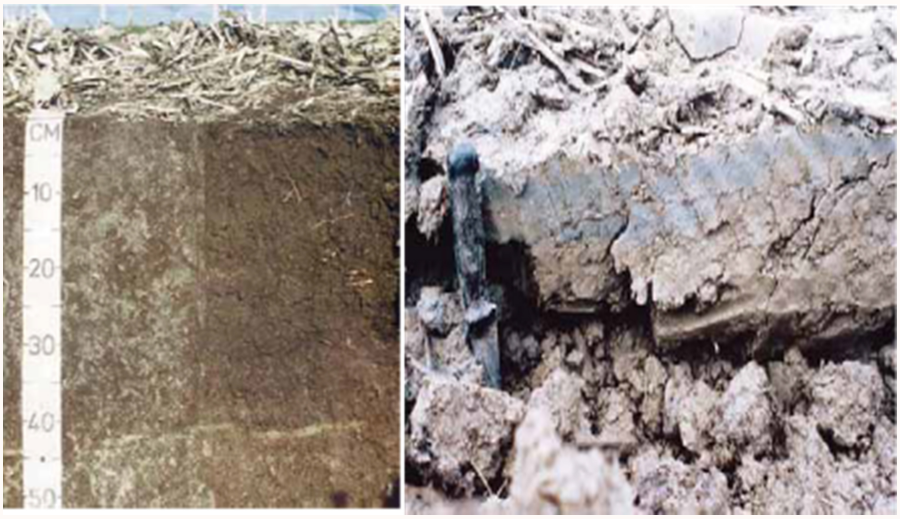


Figura 71. Foto de un suelo moderadamente sano (a la derecha) y de un suelo con problemas (a la izquierda) (Shepherd et al., 2008).

La tabla 55 permite una evaluación de los olores del suelo. Dicha evaluación se utiliza en la valoración de la salud del suelo. La clasificación se basa en una puntuación que depende de las características del olor.

Tabla 55. Evaluación de los olores del suelo para ser utilizada en la evaluación de su salud (Shepherd et al., 2008).

Calificación visual	Olor del suelo
1 (bueno)	El suelo tiene un olor rico distintivo, a tierra, dulce, saludable o fresco.
2 (moderado)	El suelo tiene un olor ligeramente terroso o dulce u olor a mineral
0 (pobre)	El suelo tiene un olor pútrido, amargo, químico o desagradable





7. INDICADORES BIOLÓGICOS DEL SUELO QUE SE UTILIZAN EN LA EOS

La actividad biológica del suelo es un parámetro que puede utilizarse como indicador del funcionamiento del suelo, es decir, de su calidad o salud. Este indicador se basa en el supuesto de que el componente biológico del suelo constituye una de las características más importantes para determinar la salud de un suelo, ya que dicho componente está formado por elementos vivos: macroorganismos y microorganismos del suelo, macrofauna, mesofauna, entre otros. Cuanto más diversos y abundantes sean los organismos, y cuanto más rápida sea la velocidad de descomposición de la materia orgánica, mayor será la calidad de ese suelo (FAO, 2020).

7.1. Profundidad de los horizontes húmicos

Se corresponde con la zona de mayor actividad biológica, según Cairo-Cairo & Fundora-Herrera (2005). Se define como la suma de horizontes húmicos y puede incluir los horizontes A1, A2, A3, B1 o AC. Su evaluación se puede realizar mediante la tabla 56.

Tabla 56. Indicadores para evaluar la profundidad de los horizontes húmicos (Cairo-Cairo & Fundora-Herrera, 2005).

Clasificación	Profundidad (cm)
Poco Profundo	< 20
Medianamente profundo	20 - 50
Profundo	50 - 100
Muy profundo	>100

7.2. Cobertura del suelo

La cubierta vegetal del suelo ayuda a mejorar la retención de la humedad del suelo y a reducir la evaporación. También reduce la incidencia de enfermedades al evitar el salpique de agua y suelo al follaje de las plantas y minimiza el impacto de la gota de lluvia. La cubierta vegetal crea un microclima (temperatura y humedad) adecuado para la germinación de la semilla y el desarrollo del cultivo en su fase inicial. Reduce el desarrollo de arvenses, la erosión del suelo y la volatilización de los fertilizantes. Incrementa los contenidos de materia orgánica, lo que ayuda en la estructuración del suelo con la formación de agregados. Además, incrementa la porosidad y la infiltración, disminuye la densidad aparente y favorece la actividad microbiológica del suelo. Protege al suelo de la erosión, mantiene la estructura del suelo, reduce el encostramiento e incrementa la infiltración del agua y la transpiración productiva (Valdivia et al., 2019). Como se puede observar en la figura 72, se pueden utilizar coberturas vivas y coberturas muertas.



Figura 72. 1-Cobertura verde de leguminosas y 2- Cobertura muerta o mulch (MAONIC, 2016).

Para la evaluación del EVS se puede utilizar como guía la figura 73. La clasificación se basa en el porcentaje de cobertura del terreno por residuos vegetales.



Figura 73. Elementos para evaluación EVS de la cobertura del suelo (Valdivia et al., 2019).

La cobertura del suelo se relaciona estrechamente con la costra superficial. Un suelo con una cobertura adecuada presenta pocas posibilidades de desarrollar costras en su superficie. Esto favorece un mejor desarrollo de las plantas y reduce el encharcamiento del área. Para la EVS, se evalúan ambos indicadores: el grado de costra superficial y la cobertura superficial. Para ello, se comparan ambos con las fotografías de la figura 74.

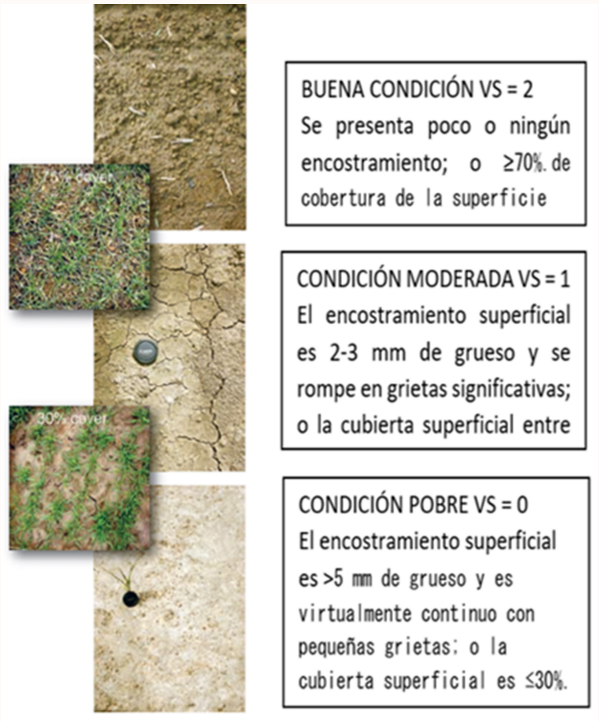


Figura 74. Relación entre la cobertura del suelo y la aparición de costras superficiales (Benites-Jump et al, 2001).

7.3. Conteo de lombrices (Número y tamaño)

La evaluación de la densidad de lombrices es un método de actividad biológica del suelo. Este método consiste en contar el número de lombrices de tierra (abundancia) por unidad de área en el campo. Cuanto mayor sea la cantidad de lombrices, mejor será la calidad del suelo. Las lombrices de tierra en el suelo realizan una descomposición acelerada de la materia orgánica, mejoran la estructura física del suelo y favorecen el ciclo de los nutrientes. Las excavaciones de lombrices mejoran la infiltración. Sus deyecciones mejoran la agregación. Las lombrices también empequeñecen pedazos mayores de residuos, que así pueden ser usados por otros organismos del suelo (FAO, 2020).

Para el análisis por el método EVS, se cuentan las lombrices manualmente en la muestra de 20 cm^3, tomada para analizar la estructura del suelo. Luego se compara con las cantidades en la tabla 57. En general, las cantidades de lombrices se reportan en metros cúbicos. El resultado de la muestra de 20 cm debe multiplicarse por 25 para obtener la cantidad por metro cúbico.

Debido a las variaciones de estas propiedades del suelo, el conteo de lombrices debe realizarse en diferentes momentos y cubriendo un área amplia. Esto asegura una muestra representativa. Las lombrices varían en tamaño y número según la especie y la estación. Por lo tanto, se deben realizar comparaciones anuales en el mismo momento del año, preferiblemente en invierno. Las poblaciones por lo general no exceden 200 lombrices por metro cuadrado en sistemas cultivados (USDA, 1999).

Tabla 57. Evaluación de la cantidad de lombrices (Shepherd et al., 2008).

Cal. Visual (VS)	Cantidad de lombrices (por cada 20 cm cúbicos de tierra)
2 (Bueno)	>30 (preferentemente con al menos 3 especies)
1 (Moderado)	15 - 30 (preferentemente con al menos 2 especies)
0 (Pobre)	< 15 (preferentemente con al menos 1 especie)

También es posible utilizar la figura 75 para la evaluación organoléptica. Para la clasificación, se cuentan las lombrices en la muestra inicial de suelos. El éxito del muestreo depende de algunas de las propiedades del suelo, por ejemplo, humedad.



Figura 75. Evaluación EVS del contenido de lombrices (Valdivia et al., 2019).

En resumen, esta tecnología presenta alta exactitud y poca complejidad. No muestra mucha dificultad de ejecución ni de entrenamiento, es poco exigente en insumos y de bajo costo. Además, sus necesidades para reemplazar elementos de la tecnología son reducidas. Debe tenerse en cuenta que el método solo ofrece una idea de la actividad biológica, pues se basa únicamente en un grupo de organismos del suelo (FAO, 2020).

7.4. Profundidad de penetración de la raíz y profundidad efectiva

La profundidad de penetración de la raíz, también conocida como profundidad efectiva, se define como la profundidad de enraizamiento máxima o potencial que las raíces de un cultivo pueden alcanzar sin mayores obstáculos. Esta profundidad permite a las raíces conseguir el agua y los nutrientes indispensables, además de cumplir su papel como anclaje de las plantas. La profundidad efectiva indica la habilidad del suelo para mantener una condición idónea para la colonización de las raíces vegetales. La profundidad de las raíces se relaciona con la especie vegetal y con las condiciones del suelo, tanto naturales como aquellas derivadas de los cambios causados por el hombre (Benites-Jump, 2001; León-Arteta, 2007).

Una profundidad de suelo adecuada resulta muy importante para los cultivos, en especial para los cultivos perennes y semiperennes. Cualquier impedimento al desarrollo normal de las raíces se refleja en la parte aérea del cultivo. Dicho impedimento origina una disminución del crecimiento y una merma en la producción o en la calidad de la producción (Valdivia et al., 2019) (Figura 76).

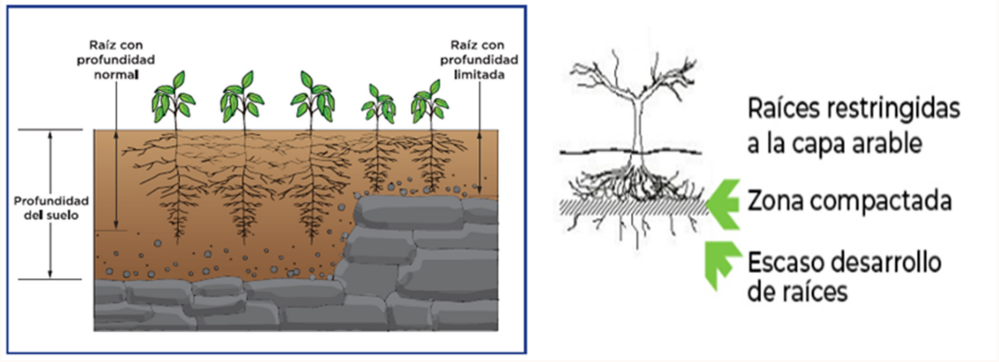


Figura 76. Afectaciones al sistema radical en suelos poco profundos (Valdivia et al., 2019).

La profundidad del suelo se mide en centímetros. Esta medición abarca desde la superficie del suelo hasta el límite superior de cualquier capa que restrinja el crecimiento de las raíces (Vargas-Rodríguez et al., 2020).

Las capas restrictivas incluyen:

- Roca continua
- Texturas arcillo limosa, arcillosa o arcillo arenosa sin estructura o masivas
- Horizontes B con texturas arcillo limosa, arcillosa o arcillo arenosa, con un gradiente textural B/A >2
- Presencia excesiva de fragmentos gruesos (mayor al 30% en volumen)
- Horizontes endurecidos (por ejemplo, Petrodúrico, petrocálcico)
- Una capa dura como el pie o piso de arado, inducidos por el hombre o natural de hierro, silíceo o calcítica.

Téngase en cuenta también si hay un engrosamiento excesivo de las raíces, como resultado de una alta resistencia a la penetración. Además, observe si las raíces se ven obligadas a crecer horizontalmente, fenómeno conocido como síndrome del ángulo recto. Valore la firmeza y la infiltración de agua en el suelo. Preste atención también a si el suelo es gris y muy gleyoso debido a un anegamiento prolongado.

Generalmente, la profundidad efectiva del suelo coincide con los horizontes A + B. Sin embargo, la presencia de raíces y la actividad biológica se observa a menudo en el horizonte C, especialmente en cultivos con raíces profundas como frutales y forestales. Esta observación realza la importancia de considerar este horizonte en la definición de profundidad del suelo (FAO, 2015a).

Para el método EOS, se evalúa la profundidad efectiva o potencial de las raíces mediante la excavación de un pozo. Debe excavarse de forma que se pueda observar en la pared lateral la profundidad a la que se llega hasta la aparición de una capa limitante o restrictiva, si la hubiera.

A medida que cava el pozo, note la presencia de canales nuevos y viejos de raíces, canales de lombrices y fisuras por los que las raíces pueden extenderse. Observe también si el suelo es demasiado gris por estancamiento de agua. Igualmente, verifique si hay una transición abrupta a un material muy fino arenoso, lo que dificulta el desarrollo de las raíces.

Observe las raíces de las plantas en el pozo y en la muestra de suelo. Para lograr una buena vista sobre las raíces, cave desde el tallo de una planta. Las raíces deberán estar bien ramificadas y con numerosos pelos radicales. La falta de pelos radicales indica escasez de oxígeno en la zona radical. Un crecimiento lateral indica la presencia de una capa dura o una capa compactada, como un hardpan. También debe fijarse en el apelotamiento de las raíces o en raíces que crecen hacia los costados (USDA, 1999).

En la figura 77, la profundidad efectiva del suelo se extiende hasta la punta del cuchillo. Allí el suelo está sumamente compacto y firme, sin raíces o canales de raíces viejas, sin galerías de lombrices de tierra y sin fisuras o grietas por donde las raíces puedan penetrar (Shepherd et al., 2008).



Figura 77. Ejemplo de profundidad efectiva en un suelo (Shepherd et al., 2008).

La calificación de la profundidad efectiva se realiza según los valores que se muestran en la tabla 58. La clasificación se establece mediante rangos de profundidad expresados en centímetros.

Tabla 58. Evaluación de la profundidad efectiva de un suelo (Cairo-Cairo & Fundora-Herrera, 2005).

Calificación visual	Profundidad (cm)
Muy profundo	> 150
Profundo	90-150
Medianamente profundo	50-90
Poco profundo	20-50
Muy poco profundo	< 20

El tamaño y la abundancia de las raíces son también indicadores necesarios para compararlas (Figura 78). La clasificación tiene en cuenta el diámetro y profundidad de las raíces.



Figura 78. Forma de observar el tamaño y abundancia de las raíces (Noellemeyer et al., 2021).

La evaluación del tamaño debe realizarse entre raíces de la misma clase. La FAO (2009), señaló que la abundancia de las raíces finas y muy finas se realiza de forma parecida a la de los poros. Dicha abundancia se expresa en número de raíces por metro cuadrado. La clasificación del tamaño y la profundidad potencial de las raíces puede realizarse mediante la información de la tabla 59.

Tabla 59. Clasificación del tamaño y la profundidad potencial de las raíces (SERFOR, 2016).

Tamaño de las raíces		Profundidad potencial de las raíces	
Descripción	**Diámetro**	**Rango VS**	**mm**
Muy finas	< 1 mm de diámetro	2 Bueno	> 800
Finas	1-2 mm de diámetro	1,5 Moderadamente bueno	600-800
Medianas	2- mm de diámetro	1 Moderado	400-600
Gruesas	5-10 mm de diámetro	0,5 Moderadamente pobre	200-400
Muy gruesas	> 10 mm de diámetro	0 Pobre	< 200

La figura 79 muestra los valores a utilizar en la EVS (Valdivia et al., 2019). La condición se establece según la profundidad del suelo.



Figura 79. Condiciones del suelo en base a la profundidad (Valdivia et al., 2019).

Un concepto muy relacionado con la profundidad efectiva es la denominada profundidad pedológica. Esta se refiere al volumen de suelo donde se manifiestan las principales transformaciones antrópicas y naturales, incluyendo el desarrollo de las raíces. Generalmente, la profundidad pedológica coincide con el horizonte A.

7.5. Grado de descomposición y humificación de la turba

En suelos orgánicos, especialmente turbosos o en suelos donde se encuentren capas o estratos orgánicos, no es posible determinar la clase textural. Por lo tanto, resulta más valioso realizar un estimado del grado de descomposición y humificación del material orgánico, tanto en seco como en húmedo. Dicho estimado se basa en el color y en el porcentaje del tejido vegetal reconocible. Para ello se puede utilizar la tabla 60.

7.6. Rasgos biológicos

Algunos científicos del suelo plantean que en el suelo existen más especies de organismos que en toda la superficie del bosque húmedo amazónico (Moebius-Clune et al., 2016). Estos rasgos biológicos se originan por la acción de organismos que viven en el mismo. Dichos organismos determinan cambios en las propiedades físicas y, en ocasiones, cambios químicos o biológicos. Estos cambios deben tomarse en cuenta al diseñar un sistema de cultivo. Los rasgos biológicos, como madrigueras de termitas, nidos de insectos, túneles de lombrices y madrigueras de animales más grandes, se describen en términos de abundancia y tipo (Figura 80).

Tabla 60. Estimación del grado de descomposición y humificación de la turba en el campo (FAO, 2009).

			Atributos de la turba seca		Atributos de la turba húmeda		
	Código	**Grado de descomposición/ humificación**	**Color**	**Tejidos vegetales visibles**	**Va entre los dedos al apretar en la mano**		**Remanente**
Fíbrico	D1	Muy Bajo	Blanco a Pardo claro	Solo	± Claro	Agua	**No turbio**
	D2	Bajo	Pardo oscuro	Mayoría	Pardo turbio	Lodo	Turbio
	D3	Moserado	Pardo oscuro a negro	Más de 2/3	Turbio		
Hermico	D4	Fuerte		1/3 a 2/3	½ a 2/3		Estructura de la planta más visible que antes
	D5.1			1/6 a 1/3	Más o menos todo		Solo remanentes pesados descompostables
Séprico	D5.2			Menos de 1/6			Sin remanentes



Figura 80. Ejemplos de diferentes rasgos biológicos de los suelos (Noellemeyer et al., 2021).

La presencia de lombrices es un indicador de la salud del suelo, como se trató en el epígrafe 7.3. Adicionalmente, se pueden registrar otras características que ayuden a conocer la salud del suelo y a mantenerla o mejorarla. La tabla 61 permite clasificar los diferentes rasgos biológicos. En general, un suelo más sano tendrá una buena estabilidad de sus agregados y una comunidad microbiana más activa.

Tabla 61. Clasificación de los rasgos biológicos (FAO, 2009).

Artefactos
Madrigueras (sin especificar)
Madrigueras grandes abiertas
Madrigueras grandes rellenas
Carbón
Canales de lombrices
Pedotubulos
Canales y nidos de termitas u hormigas
Otra actividad de insectos





8. INDICADORES PRINCIPALES DE DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS

La degradación de los suelos representa uno de los problemas que afecta los resultados de la agricultura actual. Esto ocurre debido al uso de sistemas agropecuarios inadecuados y a la disminución acelerada de las áreas con suelos sanos, provocada por el crecimiento de construcciones y viales (López-Falcón, 2002).

La degradación del suelo puede provocar cambios en las propiedades físicas, químicas, físico-químicas y biológicas de los suelos. También puede disminuir la productividad de los cultivos, incluso cuando el suelo presenta un estado nutricional adecuado.

El deterioro de las propiedades físicas ocurre tras muchos años de prácticas de cultivos (Benites-Jump, 2001). Este deterioro puede ser acelerado, perceptible o lento, los cuales son igualmente peligrosos. Tratar de corregir este daño toma más tiempo y resulta muy costoso.

Por ello, es importante mantener una observación continua por parte de agricultores y otros actores en las áreas agropecuarias.

La observación de indicios y manifestaciones de los procesos de degradación en el campo constituye un método o criterio visual sencillo. Este método permite la identificación de procesos de degradación que han ocurrido o que actúan dentro de un área particular. La acción de ciertos procesos de degradación puede ser poco evidente, o solo visible a largo plazo. No obstante, existen algunas evidencias o indicios que deben ser reconocidos para actuar de manera inmediata y controlar la degradación. La tabla 62 presenta importantes y sencillos criterios visuales para cada uno de los seis tipos generales de degradación (erosión hídrica y eólica, salinidad y alcalinidad, y degradación física, química y biológica), considerados en la metodología FAO-PNUMA-UNESCO (FAO, 1989). Estos criterios pueden ser de gran ayuda para una primera aproximación en la identificación de los procesos de degradación de los suelos.

Tabla 62. Métodos o criterios visuales sencillos para la identificación de los procesos de degradación de los suelos (FAO, 1989).

Erosión hídrica: Los indicios se observan mejor durante las tormentas o poco después de ellas	
1- Los surcos o pequeños canales. formados por el agua, especialmente cerca de la parte alta de los declives, en las cunetas o en los terrenos cultivados.	11- La roca madre queda al descubierto.
2- Las aguas fangosas y las corrientes de lodo que discurren durante las tormentas y después de éstas.	12- Las rocas y arenas secas, recientemente desprendidas y depositadas al pie de los declives de gran pendiente. Además de la fuerza de gravedad, contribuyen a estos fenómenos los vientos y la fuerza del agua de escorrentía.
3- Las cárcavas de todas clases que normalmente indican un problema de erosión.	13- Los calveros o manchas de terrenos sin vegetación en pastizales y praderas, que muy probablemente se deben al pastoreo excesivo, En ellos es posible que haya erosión o es probable que en ella se produzca.
4- Los pedestales de erosión que son columnas de suelo que quedan debajo de las piedras, cuando la erosión se ha llevado el suelo circundante. Este fenómeno ocurre con la máxima frecuencia en los campos de cultivo.	14-Capa arable desigual y manchas, en la superficie del suelo de color claro y oscuro.
5- Los pavimentos de erosión que están constituidos por la grava y las piedras que quedan sobre la superficie del terreno luego que el suelo haya sido arrastrado por las aguas. Se les puede observar en muchos campos arados y en los pastizales.	15-Los depósitos de grava, arena y limo en los cursos del agua. Estos depósitos pueden proceder de sedimentos formados del año anterior aguas arriba en el mismo cauce.
6- Los montoncitos de tierra residual con manojos de hierba adheridos.	16-Las raíces que quedan al aire en los cauces de los cursos de agua.
7- En los terrenos de declive, acumulación de sedimentos en la base de los tallos de los árboles, las piedras y las cercas.	17-La hojarasca superficial que se acumula o la que es arrastrada por las aguas. La erosión laminar tiende a llevarse la hojarasca reciente.

Tabla 62. Continuación.

8- Las raíces de los árboles y arbustos que quedan al descubierto. Los cambios de color de la corteza de los troncos y tallos. Loa anillos sin chamuscar de los tallos de los arbustos indican por lo común que la erosión se produjo después de una quema.	18-Las huellas de las pisadas hechas por los animales al pastar.
9- Las franjas de color claro en los lados de las rocas. Análogamente, las líneas de líquenes donde la erosión se lleva el suelo alrededor de las rocas, de tal manera que el liquen aparece como una línea divisoria debajo de la cual habría ocurrido remoción del suelo por erosión.	19-Los cambios en las especies vegetales.
10- Los depósito de sedimentos en las laderas de declive suave.	20-El depósito de los sedimentos en los reservorios de agua.
Erosión Eólica	
1- Las tormentas y los remolinos de polvo.	6-La formación de montículos o de dunas.
2- La presencia de arena dispersa o de capas ligeras de arena, generalmente blanca, sobre la superficie del terreno.	7-La acumulación de arena contra tallos de las plantas herbáceas, troncos de árboles, setos, cercas, taludes de carretera, etc.
3- Los surcos paralelos con nódulo de suelo arcilloso.	8-El desarrollo asimétrico de las plantas.
4- Las concentraciones superficiales de piedras, o pavimentos de desierto.	9-Las estrías, los alveolos o los rastros de corrosión en algunas rocas, especialmente, arenisca.
5- Las crestas de oleaje, que son pequeñas rizaduras en suelos arenosos.	10-Las raíces al descubierto.
Salinidad y alcalinidad	
1- Las eflorescencias e incrustaciones salinas sobre la superficie del suelo, en los bordes de los surcos .de riego o en las orillas de los ríos.	7-La presencia de horizontes B estructurales de columnas bien desarrolladas en los suelos alcalinos.
2- Las eflorescencias húmedas y oscuras $MgCl_2$ y $CaCl_2$. de finas masas cristalinas de NaCl, Na_2SO_4, Ca_2SO_4. $CaCO_3$; de costras sólidas, generalmente de yeso, de costras blancas y de color claros: NaCl, Na_2SO_4,, $MgSO_4$,, $NaNO_3$.; de color oscuro: suelos sódicos, materia orgánica dispersa.	8-Los suelos de las partes bajas son más salinos, mientras que los suelos de alturas moderadas son más bien alcalinos.
3- Loscalveros o el desarrollo enfermizo de las plantas.	9-La presencia d algunas plantas que son buenos indicadores de salinidad.
4- Los agregados de partículas de suelo carentes de estabilidad en el agua.	10-El efecto morfológico de los cultivos de tolerancia moderada pueden servir de guía de la intensidad de la salinidad, por ejemplo la irregularidad en el vigor de las plantas (achaparradas y con color verde azulado oscuro).
5- La adherencia, generalmente alta, de la arcilla.	11-La tolerancia de los cultivos sirve de criterio para juzgar la salinidad, por ejemplo, las cítricas y el aguacate son altamente sensibles a la alcalinidad, mientras que el trébol, la avena y el arroz son modernamente tolerantes.
6- Los suelos alcalinos pobres en sales, tienen partículas desfloculadas de estructura inestable en el agua. Son plásticos y pegajosos cuando están húmedos y duros y compactados cunado secos.	12-El suelo pobre en humus bajo cubierta vegetal natural.
Degradación Química	
1- La aparición de plantas resistentes a la acidificación, hasta pH bajo, en barbecho o después de cultivo, o entre hileras de cultivo según la región ecológica, estas plantas pueden ser juncos, helechos, cola de caballo, acedarilla, licopodio, plantas encáceas, etc.	3-La falta de respuesta a los fertilizantes. 4-La aparición de síntomas de toxicidad en las hojas, por exceso de hierro, cobre, manganeso, boro, cinc: o deficiencia de potasio, azufre y fósforo.
2- La arcilla dispersa en los charcos después de llover, el suelo se puede mostrar apelmazado y pegajoso.	5-El aumento de las enfermedades en las plantas. 6-La disminución de los rendimientos delos cultivos.

Tabla 62. Continuación.

Degradación Física	
1- El apelmazamiento y encostramiento de la superficie del suelo después de las tormentas.	5- La limitación en el desarrollo de las raíces se puede manifestar a través de la presencia de raíces de profundidad limitada, o que se quedan detenidas ante horizontes compactados, o bifurcadas por coerciones o principalmente las raíces principales.
2- La degradación de los semilleros y la mala germinación de las semillas.	
3- El aumento de la escorrentía y la disminución de la disponibilidad de agua en el suelo.	6- El hidromorfismo de los horizontes superficiales: el encharcamiento de agua después de las tormentas.
4- La degradación estructural: la estructura escamosa o laminar de la superficie del terreno, o la estructura masiva más o menos compacta y endurecida en la estación seca.	7-La disminución del rendimiento, primeramente en manchas aisladas del terreno y después en toda la superficie.
Degradación Biológica	
1- La disminución de la materia orgánica cuando la biomasa o los residuos de los cultivos no bastan para remplazar la degradación del humus. El color del suelo se vuelve más claro.	3-La disminución de la cantidad de lombrices de tierra, hormigas y roedores.
2- El apelmazamiento, encostramiento y la escorrentía mayor; la disminución de la agregación de las partículas de suelo en la superficie.	4-La disminución de la respuesta de los fertilizantes.
5-La mayoría de los criterios que sirven para identificar la degradación física.	

Los resultados de estos indicadores deben integrarse a los conocimientos sobre el entorno y el manejo de los suelos. Entre esos conocimientos se incluyen los datos climáticos actuales y anteriores, los sistemas de cultivos y, en general, todos los que ya se trataron en el epígrafe III (Informaciones generales y posición fisiográfica del área de estudio de este manual).





9. INDICADORES DE LA POSIBLE PÉRDIDA DE NUTRIENTES

La degradación de la fertilidad consiste en la disminución de la capacidad del suelo para soportar vida. Esta disminución ocurre debido a modificaciones en sus propiedades físicas, químicas, fisicoquímicas y biológicas, las cuales conllevan su deterioro.

Cuando el suelo se degrada, es necesario añadirle una mayor cantidad de abonos. A pesar de ello, se producen cosechas muy inferiores a las que el suelo generaría si no estuviera degradado.

La degradación puede ser química. Esta se origina por causas como la pérdida de nutrientes, la acidificación, la salinización, la sodificación o el aumento de la toxicidad por liberación o concentración de determinados elementos químicos. También puede ser física, por pérdida de estructura, aumento de la densidad aparente, disminución de la permeabilidad o disminución de la capacidad de retención de agua. Asimismo, puede ocurrir una degradación biológica, cuando se produce una disminución de la materia orgánica incorporada.

La pérdida de nutrientes y de materia orgánica afecta el comportamiento de los cultivos. Además, puede convertirse en un problema ambiental, pues los nutrientes pueden pasar al manto freático o a reservorios de agua como ríos, lagos o el mar.

Las pérdidas potenciales de nutrientes son influidas por factores como la lluvia y la capacidad del suelo para absorber y retener cationes y aniones. Entre los factores que indican el estado de salud del suelo se encuentran especialmente la estructura, la textura, el contenido de materia orgánica, la profundidad potencial del sistema radical y la cantidad de fertilizante y nitrógeno aplicado. Por ello, esas pérdidas pueden evaluarse mediante indicadores de la salud del suelo, como se muestra en la tabla 63 (Shepherd et al., 2008).

Tabla 63. Tarjeta para evaluar la posible pérdida de nutrientes en el suelo Shepherd et al., 2008).

Propietario:	Uso de la tierra:		
Localización del lugar:	Ref. GPS:		
Profundidad de la muestra:	Profundidad del primer horizonte:		
Tipo de suelo:	Clasificación del suelo		
Clase según drenaje:	Fecha:		
Grupo textural (m superior):			
Indicadores visuales del comportamiento de las plantas	**Resultados visuales (VS)** **0 - Condición pobre** **1 - Condición moderada** **2 - Condición buena**	**Valor**	**Rango VS**
Grupo textural (Protocolo de evaluación debajo)		X 3	
Estructura del suelo (Protocolo de evaluación debajo)		X 2	
Profundidad potencial de las raíces	(Tabla 59)	X 3	
Desarrollo de las raíces	(Figura 98)	X 3	
Cantidad y forma del fertilizante y N aplicado (Protocolo de evaluación debajo)		X 3	
Índice de pérdida de nutrientes (Suma de los rangos VS)			
Determinación de la pérdida de nitrógeno	**Índice de pérdida de nutrientes**		
Alto potencial de pérdidas de nutrientes	<11		
Moderado potencial de pérdidas de nutrientes	11 - 20		
Bajo potencial de pérdidas de nutrientes	>20		

9.1. Grupo textural

VS = 2 para arcilloso

VS = 1,5 para franco arcilloso
VS = 1 para loam fino
VS = 0,5 para limoso grueso
VS = 0 para loam grueso y arena

Si el suelo tiene un calificador textural húmico o de turba (por ejemplo, arcilla limosa húmica, turba marga limosa), añada 0,5 al resultado VS. Para el caso de turba, añada 1,0 al resultado VS.

Nota: el rango VS no puede ser superior a 2.

9.2. Estructura del suelo

¿Es la tierra más susceptible a: a) lavado o b): escorrentía?

Área susceptible a lavado: Área llana con poca o ninguna escorrentía (flujo superficial)

V = 2 para estructura pobre del suelo;
V = 1,5 para estructura moderadamente pobre del suelo;
V = 1 para estructura pobre del suelo; V = 0,5 para moderadamente buena estructura del suelo;
VS = 0 para buena estructura del suelo.
Área susceptible a escorrentía - de pequeña ondulación a tierra rodante
V = 2 para estructura buena del suelo;
V = 1,5 para moderadamente buena estructura del suelo;
V = 1 para estructura pobre del suelo;
V = 0,5 para estructura moderadamente pobre del suelo;
VS = 0 para pobre estructura del suelo.

9.3. Cantidad y forma del fertilizante nitrogenado aplicado

V = 2 cuando se utiliza aspersión foliar líquida o fertilizante basado en sales, acondicionador, o fertilizantes basados en sales de baja solubilidad en agua. Estas aplicaciones deben realizarse en cantidades bajas o moderadas. También se asigna V = 2 si se usan formas granuladas altamente solubles de N y fertilizantes, con valores menores a 15 kg P ha^{-1} por año y/o menores o iguales a 30 kg N ha^{-1} por año.

V= 1 cuando se emplean fertilizantes moderadamente solubles en agua en cantidades moderadas. También se asigna V = 1 si se aplican entre 25 - 35 kg P ha^{-1} por año y/o entre 60 y 90 kg N ha^{-1} por año, siempre que se usen fertilizantes basados en sales altamente solubles y fertilizante nitrogenado.

VS= 0 cuando se usan fertilizantes basados en sales altamente solubles y nitrógeno granulado en altas cantidades. En este caso, se aplican más de 45 kg P ha^{-1} por año y/o 120 kg N ha^{-1} por año.

VS = 2 cuando se utilizan pulverizaciones líquidas foliares, acondicionadores, o fertilizantes basados en sales de baja solubilidad en agua en cantidades de baja a moderada. También se asigna VS = 2 si se utilizan formas granuladas de N y fertilizantes altamente solubles, con aplicaciones menores a 15 kg P ha^{-1} por año y/o 30 kg N ha^{-1}.

VS = 1 cuando se usan fertilizantes moderadamente solubles en agua en cantidades moderadas. También se asigna VS = 1 si se aplican entre 25 y 35 kg P ha^{-1} por año y/o entre 60 y 90 kg N ha^{-1} por año usando fertilizantes nitrogenados altamente solubles basados en sales.

VS = 0 cuando se usan fertilizantes nitrogenados altamente solubles en altas cantidades. En este caso, se aplican 45 kg N ha^{-1} por año y/o 120 kg N ha^{-1} por año.





10. EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DE LA SALUD NUTRICIONAL DE LOS CULTIVOS

Los agricultores y los especialistas en manejo del suelo y nutrición de los cultivos deben mantener una alerta permanente acerca de la salud de los cultivos (Casas Castro & Casas Barba, 1999). En este manual se presta atención principal al estado y requerimientos nutricionales de los cultivos, los cuales podrían convertirse, por carencias o desequilibrios, en factores limitantes de la rentabilidad de la explotación.

La evaluación de la nutrición de los cultivos se realiza principalmente mediante análisis químicos y biológicos de tejidos vegetales. Sin embargo, como sucede con los análisis de suelos, no siempre se tiene acceso a los laboratorios de análisis de tejidos vegetales. Por lo tanto, es necesario recurrir a métodos organolépticos como el diagnóstico visual de deficiencias nutricionales en las plantas. Adicionalmente, se pueden utilizar algunos indicadores indirectos que refuercen el análisis organoléptico.

Los indicadores directos del estado de la salud de los cultivos que se utilizan en este manual son:

- Diagnóstico visual de deficiencias y excesos de nutrientes en los cultivos
- Presencia de nódulos activos en las raíces de las leguminosas

10.1. Diagnóstico visual de deficiencias y excesos de nutrientes en los cultivos

Nafiu et al. (2012), consideraron los síntomas de deficiencia de nutrientes como una herramienta muy poderosa para evaluar el estado nutricional de las plantas. No obstante, un síntoma visual individual raramente es suficiente para realizar un diagnóstico definitivo.

Por la apariencia de las plantas y el examen de la velocidad y manera en que estas crecen, es posible obtener indicios de posibles deficiencias. Por ejemplo, un color verde definido en las hojas es un indicador de una planta bien nutrida. Se debe realizar una observación directa de las variaciones en el crecimiento, aspecto y anatomía de los órganos. Esta observación debe enfocarse fundamentalmente en la presencia de coloraciones y malformaciones en las hojas, diferentes a las que presenta la planta cuando está correctamente nutrida.

Realmente, tomar en cuenta solo estos síntomas, representa un enfoque limitado. Ello se debe a que, si bien hay síntomas muy característicos para un nutriente en la mayoría de las plantas (como los síntomas de deficiencia de nitrógeno), las deficiencias de otros nutrientes no muestran síntomas tan particulares ni generalizados.

Por ello, la mayor efectividad del diagnóstico visual se logra al integrar la observación morfológica de las plantas con informaciones sobre el entorno en el que ellas se desarrollan. También se debe tomar en cuenta su historial.

10.1.1. Particularidades de la ocurrencia de síntomas visuales en las plantas

Los síntomas de deficiencia o exceso de nutrientes en los cultivos tienen una base fisiológica. Esta base se relaciona con el desarrollo de los cultivos y la concentración de los nutrientes en los órganos de las plantas (Figura 81).

Los síntomas visuales de deficiencias o excesos nutricionales debidos a un nutriente específico dependen en gran medida del papel que este nutriente desempeña dentro del vegetal. Los cambios pueden manifestarse en diferentes órganos de la planta: follaje (color, densidad, tamaño y forma), tallo (grosor, color y longitud de los entrenudos), raíces (color, fibrosidad, engrosamiento o adelgazamiento anormal), comportamiento de la floración (cantidad y momento de apertura de las flores) y frutos (tamaño, color, dureza y sabor).

Los síntomas visuales en las plantas no son un resultado único de deficiencias nutricionales o de una fertilidad insuficiente del suelo. También pueden ser provocados por otros factores que causan estrés al vegetal. Entre estos factores se incluyen la sequía o las inundaciones, las aplicaciones incorrectas de herbicidas o insecticidas y otros productos químicos, el sistema de cultivo, la salinidad del suelo, el ataque de plagas y enfermedades, y las propiedades físicas del suelo no adecuadas.

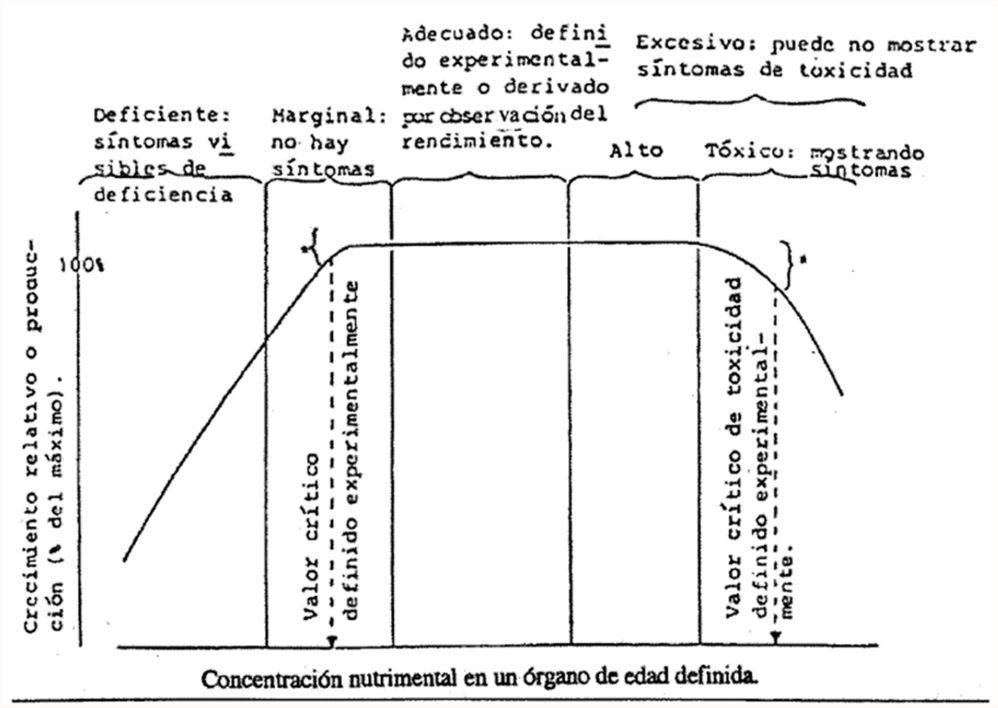


Figura 81. Diagrama que ilustra la relación entre el crecimiento y la concentración nutrimental de un cultivo (tomado de Etchevers Barra, 1999).

Las informaciones necesarias para realizar un diagnóstico visual de deficiencias y excesos de nutrientes en las plantas comprenden:

- Historial del campo
- Cultivo
- Condiciones del suelo
- Coloración de las hojas o de la planta
- Posición del órgano con síntoma de deficiencia
- Cambios morfológicos en las plantas
- Momento de la observación
- Plantas indicadoras
- Atlas de deficiencias y excesos

Al realizar la observación de los síntomas de deficiencia y excesos de nutrientes, deben precisarse los tipos de síntomas que se muestran en la figura 82. Los síntomas incluyen cambios en el color y la forma en los órganos aéreos de la planta.

El color de las plantas con problema nutricionales puede ser:

- Color verde pálido en las hojas (N)
- Color verde muy pálido o blanquecino (Mn)
- Oscurecimiento del color verde de las hojas (P)
- Coloración rojiza, púrpura, parda, verde-oscuro (P)

Otros indicadores que deben precisarse en el diagnóstico son:

- Posición del síntoma en la planta (Figura 83)
- Edad del órgano observado



Figura 82. Principales síntomas visuales de deficiencia y excesos de nutrientes en las plantas (láminas de diferentes autores).



Figura 83. Posición del síntoma visuales de nutrientes en la planta PortalFruticola.com, 2019)

La observación debe ser continua, pues existe la posibilidad de que algún síntoma desaparezca durante el desarrollo de las plantas. Como apoyo al diagnóstico visual de trastornos nutricionales, se ha identificado un grupo de plantas indicadoras de nutrientes específicos. Ejemplos de estas plantas se muestran en la tabla 64.

Tabla 64. Plantas indicadoras de deficiencias de nutrientes (tomado de Herrera-Altuve et al., 2021).

Nutriente	De bajo suministro o asimilación
Boro	Coliflor, remolacha y girasol
Calcio	Alfalfa y otras leguminosas, coliflor, rábano, colinabo
Cobre	Cítricos, maíz, cebolla, tabaco y tomate
Hierro	Cítricos, eucalipto, coliflor, col y papa
Magnesio	Cítricos, calabaza, maíz, papa, verdolaga, coliflor, nabina y colinabo
Manganeso	Cítricos, frijol, papa, remolacha y col
Molibdeno	*Brassica ssp*, cítricos, leguminosas, espinaca, tomate, coliflor, nabina, colinabo, col y lechuga
Nitrógeno	Col, coliflor, nabina, colinabo, cítricos y maíz
Fósforo	Maíz, tomate, coliflor y papa
Potasio	Alfalfa, frijoles, maíz, algodón, papa, tabaco, tomate, coliflor, nabina, colinabo y col
Zinc	Frijoles, cítricos, algodón, cebolla, espinaca y tomate

10.1.2. Fotos de deficiencias y excesos en varios cultivos

Al evaluar los resultados de las observaciones, se debe tener en cuenta la relación de la nutrición del cultivo con las condiciones del entorno, la característica de los suelos, el sistema de cultivo y su historial.

En el contexto del manual no es posible colocar fotos de todos los síntomas de los diferentes cultivos. Por lo tanto, a continuación se presenta un resumen de los principales síntomas de los distintos nutrientes esenciales y algunas fotos a modo de ejemplo, las cuales fueron tomadas de diferentes fuentes. El resto de las informaciones necesarias debe obtenerse mediante manuales especializados, atlas de deficiencia o acceso a INTERNET.

Síntomas de deficiencias de N en varios cultivos: Se observa clorosis en toda la planta. Las hojas viejas se amarillean a partir de la punta hacia la base, se deshidratan y presentan color café pálido en forma de "V" (maíz y sorgo). El envés y los nervios de las hojas toman a veces colores rojizos. Eventualmente, el crecimiento se ralentiza y la senescencia se adelanta. Los tallos son cortos y delgados; en los cereales, el amacollamiento es escaso. La raíz, en relación con la parte aérea, es muy larga y tiene pocas ramificaciones. Las plantas son pequeñas e hiladas, con apariencia rígida. Los frutos también son pequeños. Ocurre una recuperación inmediata tras administrar nitrógeno.

Síntomas de deficiencias de P en varios cultivos: El follaje presenta color verde obscuro con tonos morados en hojas, tallos, pecíolos y venas. Las hojas se tornan oscuras, de aspecto apagado y color azul-verdoso, y pueden volverse pálidas en deficiencias severas. Los tallos son cortos y delgados, con escaso amacollamiento en cereales. La raíz es larga, poco ramificada y presenta manchas café rojizas. Las plantas son pequeñas, al igual que sus hojas, semillas y frutos, y tienen apariencia rígida. En presencia de daño por frío también se desarrollan tonalidades moradas. El sistema radical se muestra poco desarrollado.

Síntomas de la deficiencia de potasio en varios cultivos: Se produce una decoloración café y necrosado en hojas viejas a partir de las puntas, que avanza hacia la base por los márgenes (maíz y sorgo). Los tallos son débiles y las plantas se acaman. Las raíces son largas, amarillentas y "correosas", con poca ramificación.

Las plantas aparentan marchitamiento y tienen poca resistencia al frío. Se observa ralentización o parada del crecimiento general de la planta. La planta presenta poca firmeza en ambientes secos. A veces, una deficiencia de potasio se denomina "enfermedad de borde", ya que los síntomas principales comienzan por el borde de las hojas; sin embargo, no debe confundirse con una escasez de calcio, que también hace que los bordes de las hojas se vuelvan amarillos o marrones. En INTAGRI (2017), están descritos los principales síntomas de deficiencias de macroelementos secundarios y microelementos.

Calcio: Las hojas jóvenes de las puntas de las ramas se tuercen. Las inflorescencias se secan como dañadas por tizón. La pudrición apical es típica en tomate, chile, pepino y sandía.

Magnesio: Se presenta clorosis intervenal en hojas viejas de plantas dicotiledóneas, con franjas violáceas en algodón o vid roja. En las gramíneas se observa un collar de puntos cloróticos a lo largo de las venas, que pueden estar rodeados de un fuerte enrojecimiento. Los tallos y las hojas se ven anormalmente delgados.

Azufre: Las hojas jóvenes presentan un color amarillo verdoso, incluyendo las nervaduras. Con frecuencia, las venas son más pálidas que la lámina foliar. La planta en general luce verde pálido y adquiere una apariencia rígida, similar a la falta de nitrógeno. Los tallos son delgados y leñosos, y presentan entrenudos anormalmente alargados. La raíz es profusa y blanca.

Manganeso: Las hojas muestran un color amarillo grisáceo o rojizo grisáceo con venas verdes. Pronto aparece necrosis, y las áreas muertas se caen, lo que da a la planta un aspecto deshilachado. Con frecuencia, la deficiencia ocurre primero en las hojas intermedias. Las raíces están poco desarrolladas y presentan color marrón. En las gramíneas, la clorosis se presenta en franjas, mientras que en dicotiledóneas adquiere una apariencia de mosaico.

Hierro: Se observa clorosis en las hojas jóvenes, mientras que las hojas adultas y los márgenes conservan el color por más tiempo. Las nervaduras permanecen verdes; en casos extremos, también se vuelven cloróticas. La hoja afectada se curva hacia arriba. Finalmente, la hoja entera adquiere un color amarillo blanquecino. Las raíces son cortas, de color café y profusamente ramificadas. La deficiencia ocurre en suelos calcáreos o alcalinos.

Cobre: En las gramíneas, las hojas se enrollan y se tornan blancas sin presentar amarillamiento. Se produce una fuerte formación de hijuelos y los tallos son delgados. La formación de espigas se inhibe o interrumpe; si existen, las espigas son blancas y vacías. En las dicotiledóneas, las hojas jóvenes se cuelgan y, a veces, se malforman. El crecimiento generativo resulta más afectado que el vegetativo y la inflorescencia. En frutales, los extremos de las ramas se resecan y se deshojan. El crecimiento de la raíz se limita, y las raicillas son largas, delgadas y blancas.

Molibdeno: Los síntomas son similares a la falta de nitrógeno en leguminosas. En tomate y cítricos aparece un moteado amarillento. Los márgenes y las puntas se necrosan, como ocurre por exceso de nitratos. Se observan perforaciones intervenales. La vena central crece, pero no la lámina foliar. En coliflor se presenta el síntoma de cola de látigo. Con frecuencia, las hojas jóvenes son las más afectadas.

Zinc: Se produce una clorosis que avanza rápidamente, con zonas muertas en hojas jóvenes o viejas; la clorosis puede llegar al color blanco. Las hojas jóvenes son muy pequeñas, angostas y gruesas. Los tallos presentan entrenudos muy cortos, lo que causa enanismo. Con frecuencia, se observa formación de roseta en las puntas de las ramas en crecimiento. El desarrollo de la raíz se limita de forma leve.

Boro: Las yemas son gruesas, pequeñas y deformes. Las hojas jóvenes de la yema terminal se decoloran a partir de su base. La hoja se deforma y se tuerce, con un aspecto áspero y acartonado. Los entrenudos son cortos, el crecimiento se detiene y las puntas de crecimiento mueren. Se observan tallos huecos o rajados, y en los tubérculos aparece corazón café. Las raíces son muy cortas, con puntas redondeadas y gruesas, y también presentan color café.

A continuación, se presentan algunos ejemplos de síntomas de deficiencias en cultivos, tomados de diferentes autores (Figuras 84, 85, 86 y 87).

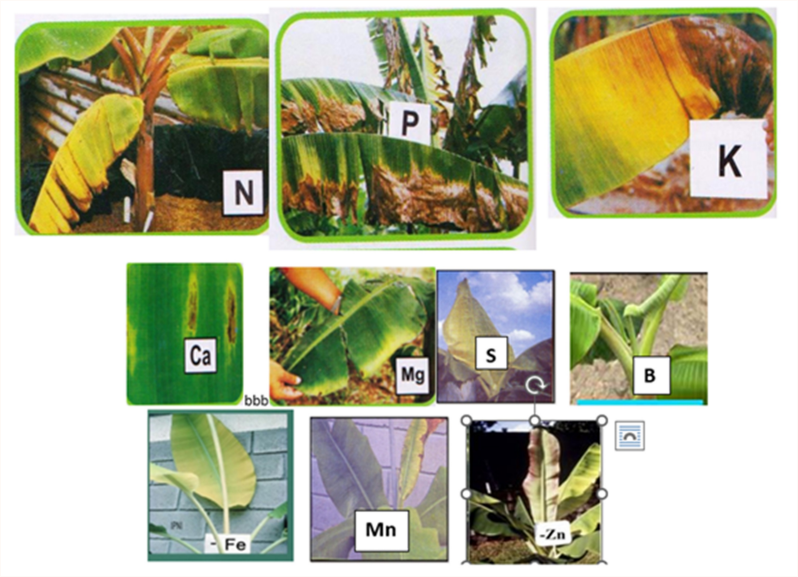


Figura 84. Síntomas de deficiencias de nutrientes en el cultivo del banano Hernández-Álvarez, 2011).

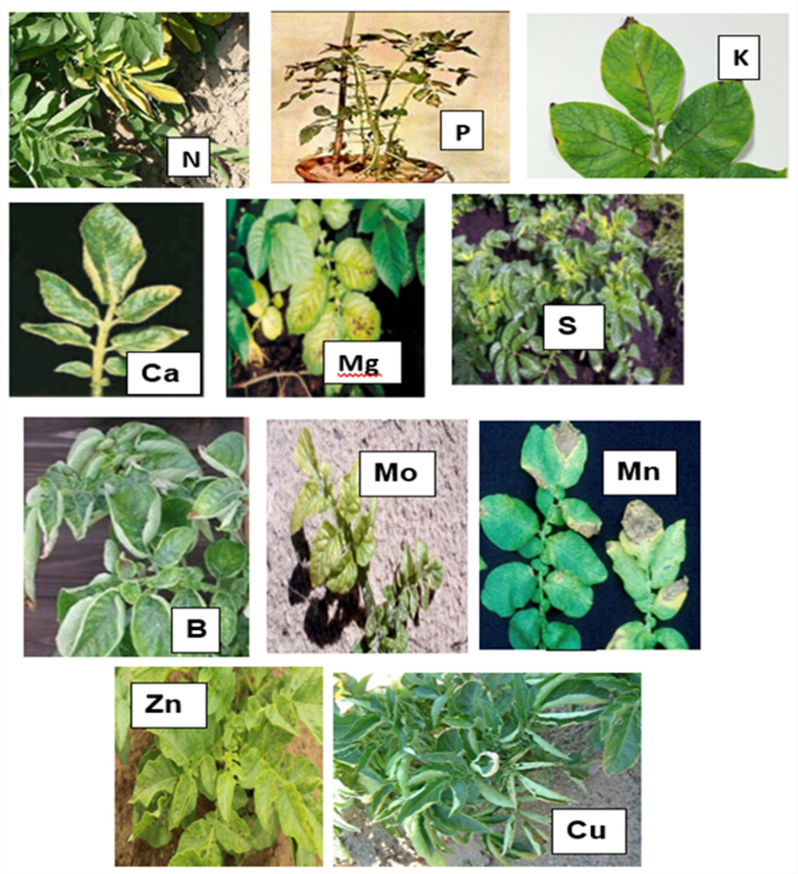


Figura 85. Síntomas de deficiencias de nutrientes en el cultivo de la papa.

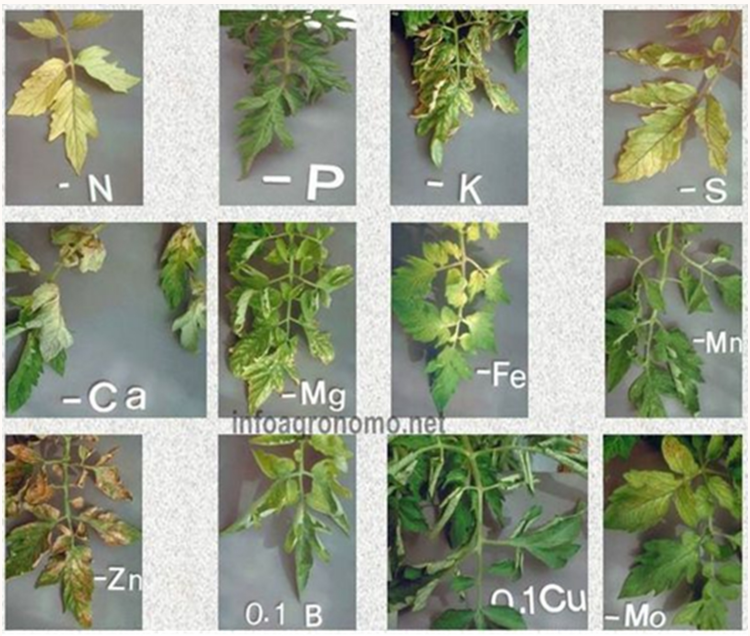


Figura 86. Síntomas de deficiencias de nutrientes en el cultivo del tomate (Infocampo, 2019).

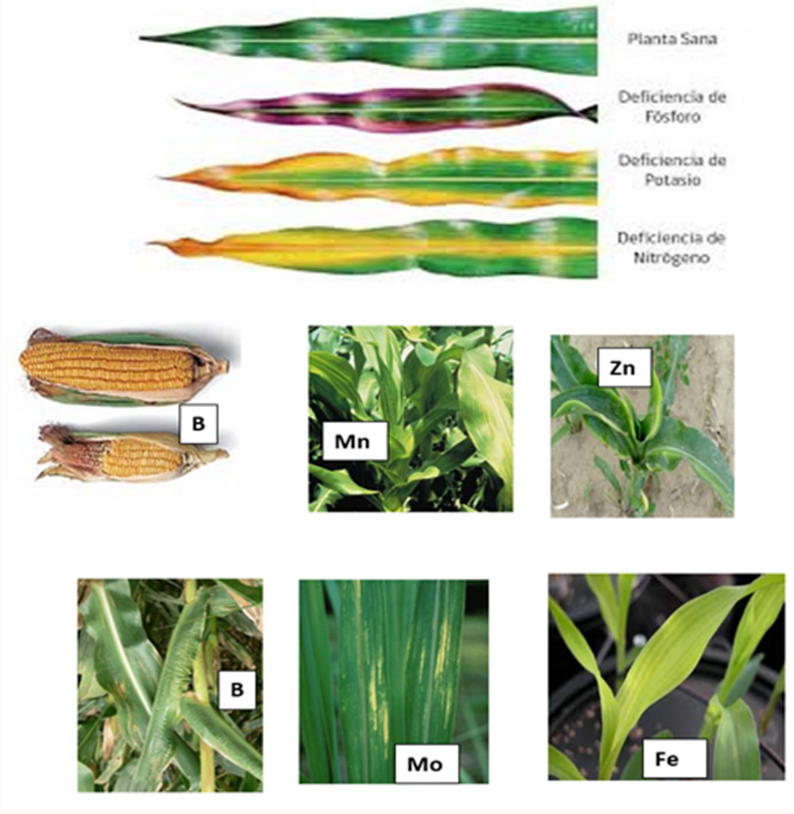


Figura 87. Síntomas de deficiencias de nutrientes en el cultivo del maíz.

Los ejemplos anteriores se refieren principalmente al follaje de las plantas. No obstante, también pueden ocurrir síntomas de deficiencia nutricional en otros órganos de las plantas, como se muestra en la figura 88.



Figura 88. Síntomas de deficiencia nutricional en diferentes órganos de las plantas.

La figura 89 permite realizar un diagnóstico visual de la deficiencia de nutrientes en las hojas. Esta herramienta facilita la identificación de síntomas foliares asociados a cada nutriente.

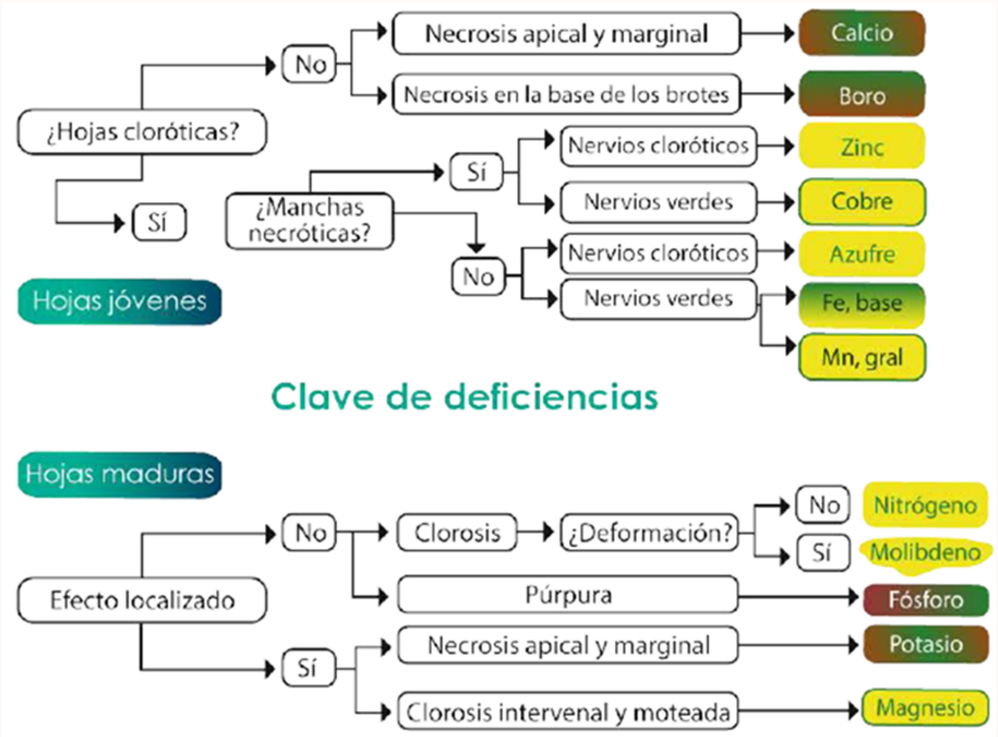


Figura 89. Claves para la identificación de síntomas visuales de deficiencia en hojas (tomado de INTAGRI, 2017).

Los síntomas de excesos de nutrientes en las plantas son más complejos que los síntomas de deficiencia. Esta complejidad se debe a que pueden manifestarse interacciones iónicas, las cuales resultan en síntomas engañosos. Por ejemplo, los síntomas visibles generalmente corresponden a nutrientes que no pueden ser utilizados por las plantas debido a antagonismos por exceso de otro nutriente. Aunque estos nutrientes no falten en el medio donde se desarrolla la planta, surgen síntomas propios del nutriente antagonizado o síntomas combinados, lo que dificulta mucho el diagnóstico.

Por ejemplo, los síntomas que se muestran en la figura 90 son propios de una deficiencia de P. No obstante, también pueden deberse a una deficiencia inducida por exceso de calcio en suelos alcalinos o sódicos alcalinos, de pH superior a 8.



Figura 90. Clorosis de las hojas de maíz por deficiencia de Fe en un suelo alcalino (Noellemeyer et al., 2021).

Los efectos del exceso de nutrientes más comunes incluyen quemaduras del follaje por la concentración excesiva en las soluciones nutritivas, las causadas por el exceso de sales, el efecto de la acidez tóxica cambiable o la denominada reversión de los nitratos cuando se aplica materia orgánica con una elevada relación carbono-nitrógeno. El exceso de fertilizante produce que las plantas crezcan débiles y se alarguen demasiado. Además, las puntas de las raíces pueden quemarse por el alto nivel de sales que contienen estas sustancias. Las plantas serán más susceptibles ante la presencia de alguna enfermedad. Pueden observarse hojas marchitas, con bordes quemados o manchas, que llegan a caer prematuramente. También se produce la caída de las flores. Asimismo, la presencia de plagas como los pulgones o la cochinilla puede indicar la posibilidad de que se haya suministrado a la planta un exceso de fertilizante. Los síntomas más generales del exceso de nutrientes se muestran a continuación.

Nitrógeno: las plantas muestran un crecimiento vegetativo dilatado y un atraso de la madurez del cultivo, con tallo grueso y hojas grandes de color verde oscuro. Ocurre la formación de yemas vegetativas y no reproductivas. Las raíces y los tallos se tornan de color marrón, con el ápice necrótico. Aparecen lesiones necróticas en el ramillete floral, caen las flores, ocurre una maduración irregular y puede producirse deficiencia de K o Mg.

Fósforo: la toxicidad se manifiesta en bordes acuosos del tejido celular, que luego se necrosan, pudiendo llegar a la muerte de la planta. En cultivos como el tomate, los síntomas pueden dar lugar a deficiencia de Zn, Fe, Mn o Ca, con los síntomas característicos de estos nutrientes o combinados. Las bajas temperaturas pueden acarrear una mala asimilación del fósforo, un hecho común, por ejemplo, en semilleros en invierno.

Potasio: es difícil encontrar síntomas visuales de exceso debido a la ocurrencia del consumo de lujo, excepto en suelos con alto contenido de Ca o Mg. En cítricos, el potasio influye fundamentalmente en la calidad de los frutos. Estos son grandes, pero con corteza gruesa, pulpa áspera y escaso zumo, normalmente muy ácido y con tendencia a pudrirse fácilmente (Figura 91).

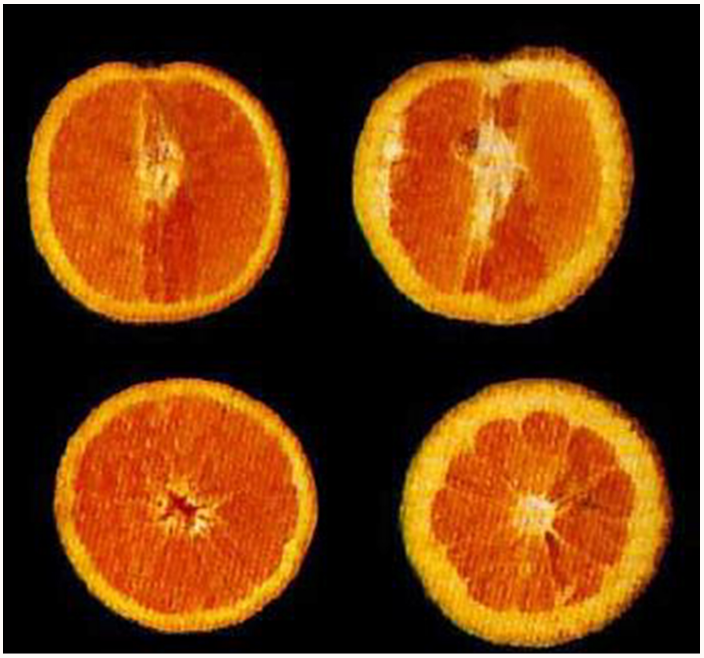


Figura 91. Frutos de cítricos normales (izquierda) y con efecto toxico por exceso de K (modificado de Legaz et al., 1996).

Azufre: El exceso provoca manchas necróticas en las hojas. Estas manchas se extienden luego por toda la hoja.

Boro: En general, surge clorosis y necrosis de los puntos de crecimiento y de los márgenes de las hojas. Esta necrosis progresa hacia el centro de las hojas. Más tarde, las hojas se caen, lo que puede llegar incluso a la muerte de la planta. En plátano, se manifiesta una necrosis marginal irregular de las hojas (Figura 92).

Hierro y manganeso: la deficiencia de hierro puede ser causada por una deficiencia del mismo nutriente o por un exceso de manganeso. El manganeso también puede producir síntomas similares por deficiencia o por excesos.

Calcio y magnesio: el exceso de calcio y magnesio se manifiesta generalmente por su antagonismo con otros cationes y por los síntomas particulares de ellos o combinados. Elevadas cantidades de potasio y calcio pueden causar deficiencia de magnesio.

Pueden aparecer síntomas de problemas en el follaje o la raíz debido a causas que no responden a la fertilidad del suelo. Estas causas incluyen plagas y enfermedades, especialmente en las raíces, así como enfermedades como el ataque de virus. Los virus provocan síntomas en las hojas similares a los de la carencia de nutrientes u ocultan los síntomas de deficiencia, como ocurre en un fuerte ataque de hongos como la fumagina. Por ejemplo, los síntomas iniciales de *Verticillium* y fusarium pueden confundirse con los de una deficiencia de potasio (K).

El sistema de cultivo tiene una importancia relacionada con los demás factores mencionados. Por ejemplo, las plantas bajo sombra, por lo general, no manifiestan una deficiencia de zinc, mientras que las que crecen bajo la influencia de una intensidad lumínica alta sí la exhiben. Asimismo, una incorrecta preparación del suelo en suelos poco profundos puede llevar a la superficie porciones de subsuelos cálcicos, elevar el pH y crear problemas a varios nutrientes. También puede limitar el desarrollo radical. También ocurren desfavorables condiciones físicas del suelo, sequía o inundaciones, así como aplicaciones incorrectas de herbicidas o insecticidas. Por ello es importante poder definir si la deficiencia nutricional se debe a problemas en la salud del suelo o a otras causas.

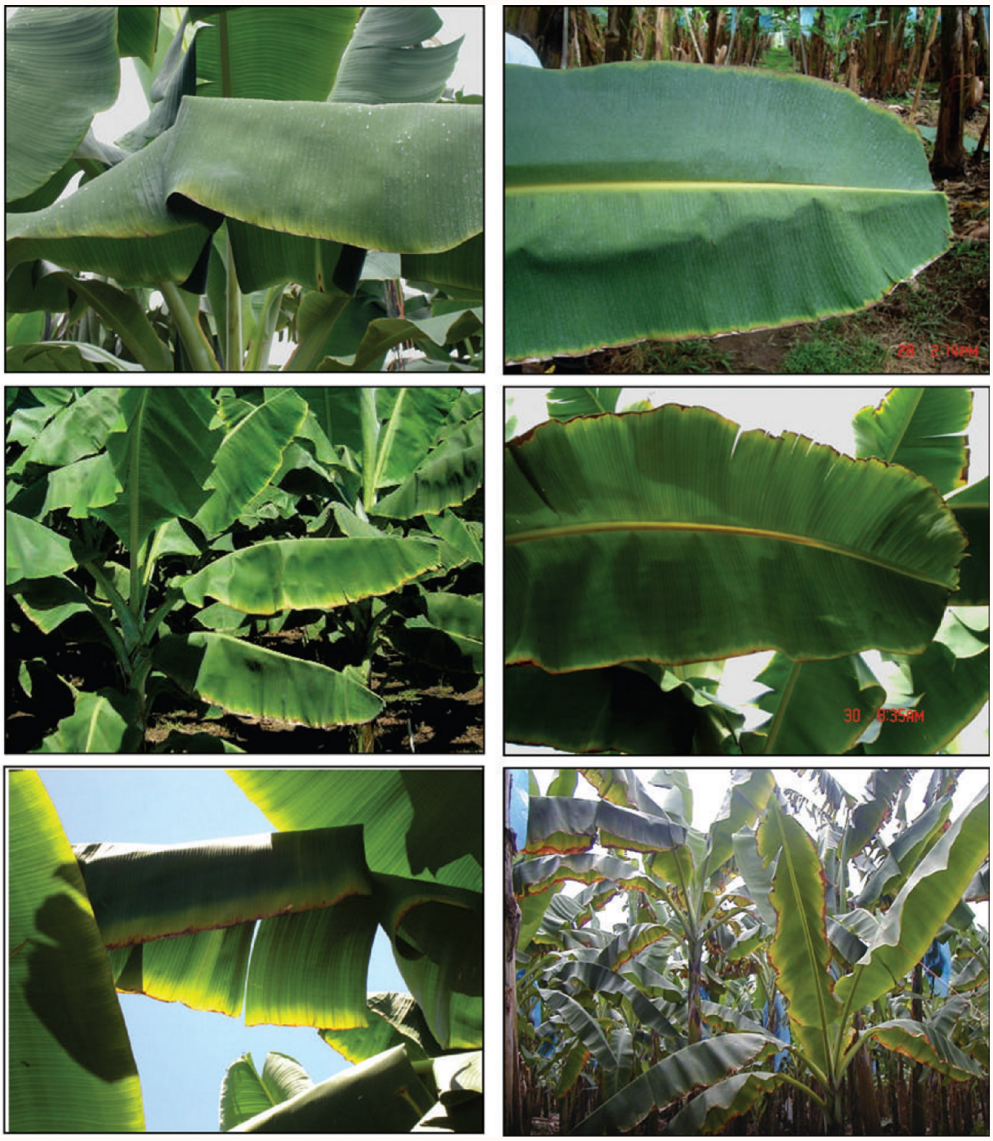


Figura 92. Hojas de plantas de banano (*Musa* AAA) con diferente intensidad de síntomas propios de una toxicidad alta de boro (Vargas et al., 2007).

Para diferenciar si un síntoma visual responde a una falta de nutriente en el suelo o a otras causas, se pueden tomar en cuenta algunas ideas, como las siguientes:

- Los síntomas de deficiencia de nutrientes ocurren generalmente en áreas compactas en los campos y no en plantas individuales, como ocurre con la ocurrencia de plagas y enfermedades o daños físicos. Para confirmar el diagnóstico se puede revisar la presencia de insectos o síntomas de enfermedades y si fuera necesario, consultar a un entomólogo o fitopatólogo.
- Los síntomas por productos químicos y el exceso de humedad pueden ocurrir en manchas, por lo que es importante estudiar el historial del campo, para prever su ocurrencia.
- La localización de los síntomas en la planta responde a la movilidad interna del nutriente, por ejemplo, la del nitrógeno en las hojas más viejas y la de azufre en las más jóvenes, a diferencia del déficit de agua que se manifiesta en toda la planta. Adicionalmente, los síntomas de deficiencia de nutrientes manifiestan diferente intensidad, en relación a su movilidad.

- Los síntomas de deficiencia generalmente son simétricos, por ejemplo, ocurren en las hojas de un mismo par o en hojas sucesivas y en todas direcciones en los árboles. Por su parte, los síntomas de plagas no tienen un patrón tan definido.
- Algunos de los factores antes mencionados provocan la ocurrencia de deficiencias de varios nutrientes, mientras que, por la ley del mínimo, los primeros síntomas son los del nutriente relativamente en menor disponibilidad para las plantas.

10.2. Presencia de nódulos activos en las raíces de las leguminosas

Otra observación útil y necesaria en el cultivo de leguminosas es la presencia de nódulos propios de la simbiosis de estas plantas con dichas especies. Al cortar un nódulo, el interior rojo indica que se fija biológicamente el nitrógeno de la atmósfera. Este resultado se muestra en la figura 93.



Figura 93. Nódulos con bacterias del género *Rhizobium* activas en diferentes plantas (Pommeresche y Hansen, 2017).

Si no muestra el color rojo, significa que el N no se está fijando (Figura 94, izquierda). En cambio, si se trata de un nódulo viejo ya inactivo, puede presentar un aspecto parecido al mostrado en la figura 94 (derecha).

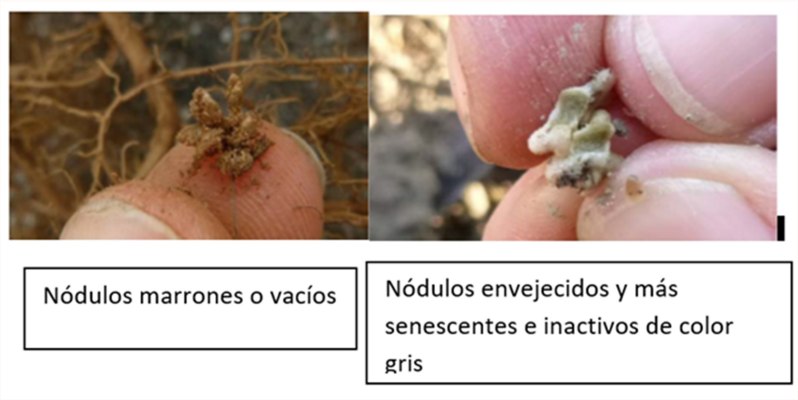


Figura 94. Ejemplos de nódulos que no fijan N de la atmósfera (Pommeresche & Hansen, 2017).

Metodología de evaluación

Preferentemente, realice la selección de dos a cuatro plantas de leguminosas dos semanas antes de la floración. También puede realizar esta selección en cualquier momento del ciclo de cultivo. Las plantas deben provenir de una parte representativa del campo.

- Excave y extraiga una muestra de suelo (de aproximadamente 25 x 25 cm y tan profundo como las raíces o lo que permita la pala, alrededor de la planta leguminosa.
- Levante con la pala, cuidadosamente, la muestra de suelo y colóquelo en una lámina de plástico.
- Separe manualmente, con cuidado, el suelo de las raíces e intente aflojar las raíces de las leguminosas con un tenedor. Si el suelo es pesado se deberá utilizar agua para poder remover el suelo sin dañar los nódulos.
- Inmediatamente después de extraer las raíces, busque los nódulos y determine si éstos son o no activos, corte tres nódulos por la mitad en cada planta.
- Repita el proceso con plantas de otra parte del campo, con mejor o peor crecimiento.

Durante el proceso, observe y anote la información solicitada en la tabla 65.

Tabla 65. Evaluación de la fijación biológica simbiótica de N atmosférico (Pommeresche & Hansen, 2017).

Aspecto de la planta	**Si tiene aspecto vigoroso con hojas de color verde oscuro o si la planta se ve débil presentando un menor número de hojas con tonalidad pálida.**
Desarrollo de las raíces	Si se han desarrollado bien las raíces y si son largas y con ramificación frecuente
Número, tamaño y distribución de los nódulos en la raíz	Si se pueden encontrar nódulos en las raíces Si hay pocos nódulos o si hay muchos Si los nódulos son de tamaño regular o muy grandes Si los nódulos se han desarrollado en la raíz principal (raíz primaria) solamente o también en las raíces laterales Si los nódulos se encuentran solo en el tercio superior del sistema radical o también en el resto
Color de los nódulos de la raíz	De qué color son los nódulos que han sido cortados por la mitad Rojo / morado / rosado = bacterias activas; Verde grisáceo o marrón = bacterias viejas o inactivas; Blanco = nódulos jóvenes o nódulos cambiando a activos o inactivos

En la tabla 66 se muestra una categorización de la nodulación en leguminosas.

Tabla 66. Categorización de la nodulación en leguminosas (Pommeresche & Hansen, 2017).

Observaciones	**Observaciones, posibles conclusiones y recomendaciones**
Tamaño de los nódulos	Nódulos uniformemente distribuidos y de tamaño regular a menudo indican mayores tasas de fijación de nitrógeno que la presencia de algunos pocos nódulos de gran tamaño.
Distribución de los nódulos en las raíces	La presencia de nódulos únicamente en la parte superior de la zona radical puede ser una indicación de falta de aire en la zona radical más profunda. En tal caso, una mejor estructura del suelo puede favorecer la aireación de la zona inferior de raíces y también el acceso al nitrógeno, y como resultado estimular el desarrollo de nódulos en las capas más profundas del suelo.
Distribución de los nódulos en las raíces	La presencia de nódulos solamente en la raíz principal puede indicar que las bacterias intentan compensar una baja fijación aumentando su número dentro de los nódulos.



11. INDICADORES INDIRECTOS DE LA SALUD DEL SUELO Y LA NUTRICIÓN DE LOS CULTIVOS DE ACUERDO AL COMPORTAMIENTO DE LAS PLANTAS

En la evaluación organoléptica de la salud del suelo y la nutrición de los cultivos se incluye un grupo de indicadores basados en el comportamiento de las plantas. Estos indicadores aportan ideas que amplían o confirman las informaciones directas.

Al utilizarlos, es necesario hacer el análisis de sus resultados tomando en cuenta la situación de otros factores que influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Dichos factores apoyan mediante evaluaciones cualitativas las conclusiones sobre la salud del suelo y la nutrición de los cultivos.

Se utilizará el cultivo del maíz como ejemplo de la evaluación visual de un cultivo anual. Posteriormente se presentarán evaluaciones de pastizales y de frutales. En el manual de Shepherd et al. (2008), se encuentra una información amplia sobre los diferentes cultivos mencionados.

11.1. Cultivo del maíz

La tabla 67 corresponde con la tarjeta que se utiliza para recoger los resultados de los indicadores visuales. Estos indicadores permiten evaluar el comportamiento de las plantas de maíz.

Con los resultados del suelo y de la planta, se procede a realizar un análisis comparativo de la salud del suelo. Debe tomarse en cuenta que este primer análisis solo considera un grupo de indicadores. Para responder a por qué pueden diferir los resultados del suelo y la planta, es necesario incluir el resto de los indicadores presentes en el manual.

Tabla 67. Tarjeta de indicadores visuales para la Evaluación del comportamiento de las plantas de maíz y comparación entre los resultados del suelo y de las plantas (Shepherd et al., 2008).

Indicadores visuales del comportamiento de las plantas	**Evaluación visual (EV)** **0= Condición pobre** **1= Condición moderada** **2= Condición buena**	**Ponderación**	**EV**
Establecimiento del cultivo	(Figura 95)	x3	
Altura de la planta en la maduración	(Figura 96)	x3	
Color del follaje	(Figura 97)	x3	
Variabilidad del comportamiento de las Plantas a lo largo del surco	(Tabla 68)	X3	
Desarrollo radical	(Figura 98)	X3	
Enfermedades de las raíces	(Tabla 89	X2	
Arvenses	(Figura 99)	X2	
Tamaño y forma de las mazorcas	(Figura 100)	X3	
Rendimiento del cultivo	(Tabla 72)	X3	
Costo de producción	(Tabla 73)	x2	
Encharcamiento superficial	(Figura 101)		
Índice de calidad de suelo (Suma de puntajes EV)			
Evaluación de la calidad del suelo		**Índice de Calidad**	
Pobre		0 - 20	
Moderado		20 - 37	
Bueno		> 37	
Resumen			
Comparación entre la evaluación de la calidad del suelo y el desarrollo de la planta		**¿Los indicadores del suelo y de la planta difieren? ¿Si es así, por qué?**	
Indicadores del suelo	Indicadores de la planta		
Notas			
Capacidad total de retención del agua disponible			

11.1.1. Establecimiento del cultivo

La buena germinación de las semillas, la emergencia de la planta y el establecimiento del cultivo dependen de varios factores. Estos factores parten de las condiciones de los suelos, que incluye la calidad del laboreo del suelo en el momento de la siembra y de las semanas inmediatamente siguientes. Los suelos con pobre estructura se deterioran rápidamente con un manejo incorrecto. Este deterioro se refleja en el establecimiento de los cultivos. La figura 95 ayuda a valorar cualitativamente la salud del suelo de acuerdo con cómo ocurre el establecimiento del cultivo.



Figura 95. Diferentes comportamientos del cultivo del maíz (Shepherd et al., 2008).

Condición buena V= 2 Buen establecimiento del cultivo, con pocos fallos a lo largo del surco. El cultivo muestra una altura homogénea.

Condición moderada V= 1 Establecimiento del cultivo moderado, con significativo número de fallos a lo largo del surco y una significativa diferencia en la altura de las plántulas. La emergencia también puede ser moderadamente lenta, pero se recupera.

Condición pobre V= 0 Pobre establecimiento del cultivo, con un gran número de fallos a lo largo del surco y una gran variación en la altura de las plántulas. La emergencia también puede ser lenta, con limitada recuperación.

11.1.2. Altura de la planta en la maduración

Si bien la altura de la planta responde a factores climáticos, el cultivar, la fertilidad del suelo y el momento de la siembra, puede ser un indicador visual útil de la calidad del suelo y del comportamiento de la planta. Dicho indicador resulta particularmente útil cuando factores agronómicos no han limitado la emergencia del cultivo ni el desarrollo durante la etapa vegetativa de la planta. En la figura 96 se puede realizar una comparación visual de plantas con diferente altura.



Figura 96. Comparación visual de plantas de maíz con diferente altura (Shepherd et al., 2008).

Condición buena V= 2 El cultivo está o casi está en su altura máxima para la madurez. El cultivo del maíz, por ejemplo, tienen entre 2,3 m y 2,7 m en la madurez.

Condición moderada V= 1 La altura del cultivo es significativamente bajo del máximo en la madurez. El cultivo del maíz, por ejemplo, tienen entre 1,8 m y 2,2 m en la madurez.

Condición pobre V= 0 La altura del cultivo es significativamente bajo del máximo en la madurez está bien abajo del máximo en la madurez. El cultivo del maíz, por ejemplo, tienen entre 1,2 m y 1,7 m en la madurez.

11.1.3. Color del follaje

El color de las hojas, y también del follaje en general, constituye un buen indicador del desarrollo del cultivo. A partir de este indicador se manifiestan los síntomas que aparecen cuando alguno de los nutrientes esenciales está en déficit o en exceso.

Shepherd et al. (2008) propone una evaluación basada en láminas del desarrollo del cultivo. Dichas láminas responden más a una deficiencia de nitrógeno, aunque si se toman en cuenta los síntomas de los otros nutrientes esenciales, se puede enriquecer el análisis de las láminas (Figura 97).

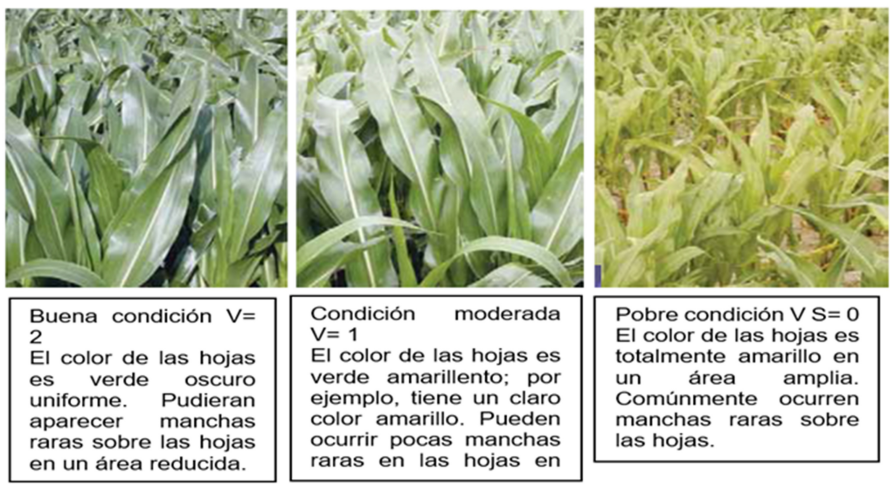


Figura 97. Evaluación del suelo en base a color de las hojas de maíz (Shepherd et al., 2008).

Los síntomas varían según el nutriente y el cultivo. Por lo tanto, es difícil establecer un valor basado únicamente en el color de la planta. En el epígrafe Diagnóstico visual se describe cómo realizar un diagnóstico visual integral de deficiencias y excesos.

11.1.4. Variabilidad en el comportamiento del cultivo a lo largo del surco

La variabilidad en el comportamiento del cultivo a lo largo del surco puede ser un buen indicador visual del estado del suelo. Este comportamiento puede estar fuertemente relacionado con variadas propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

Destacan aquellas áreas del campo que tienen un comportamiento deficiente. Esto sugiere dónde profundizar en la evaluación y qué medidas correctivas se pueden tomar.

Se debe mirar a lo largo del surco, principalmente desde una vista lateral. Se debe observar cualquier variabilidad en el comportamiento del cultivo (en términos de altura del cultivo, densidad de plantas y hojas, grosor del tallo y color de las hojas). Lo observado se compara con los valores de la tabla 68. Al realizar la evaluación, también se deben considerar otros factores que pueden afectar el rendimiento de un cultivo, como ataques de plagas y enfermedades. Estos factores no están relacionados con el estado del suelo (Shepherd et al., 2008).

Tabla 68. Calificación visual de la variabilidad en el comportamiento del cultivo a lo largo del surco (Shepherd et al., 2008).

Calificación visual	Variabilidad del comportamiento del cultivo a lo largo del surco
1 (buena)	El comportamiento del cultivo es bueno y uniforme a lo largo del surco
2 (moderada)	El comportamiento del cultivo es moderadamente variable a lo largo del surco
3 (pobre)	El comportamiento del cultivo es extremadamente variable a lo largo del surco

11.1.5. Desarrollo radical

Una buena longitud y densidad del sistema radical propicia la exploración y utilización del suelo para el agua y nutrientes. Además, resiste mejor la sequía y permite un desarrollo general adecuado de la planta. Como consecuencia, se incrementa la deposición de materia orgánica en el suelo y con ello mejoran sus propiedades químicas, físicas y biológicas.

La figura 98 se utiliza para evaluar la calidad del suelo en base al desarrollo de las raíces. Es necesario observar que no se presenten problemas del desarrollo radical por otras causas que no sean las condiciones del suelo.

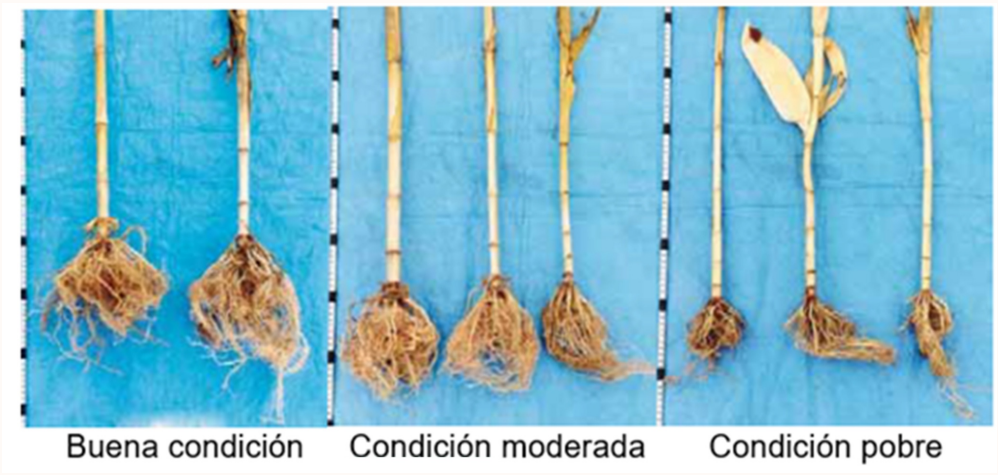


Figura 98. Fotos para evaluar la salud del suelo en base al desarrollo de las raíces de plantas de maíz (Shepherd et al., 2008).

Condición buena VS= 2 Desarrollo irrestricto de desarrollo de las raíces con el largo del bulbo principal hasta 250 mm de ancho y 250 mm de profundidad.

Condición moderada VS= 1 Desarrollo vertical y lateral de las raíces está moderadamente restringido y no es común el síndrome del ángulo derecho. El principal bulbo radical es comúnmente de 150 mm de ancho y 150 - 180 mm de profundidad.

Condición pobre VS= 0 El desarrollo vertical y lateral de las raíces está severamente restringido con un sistema radical reducido, el síndrome del ángulo recto, sobre engrosamiento, o desarrollo a través de canales finos.

11.1.6. Enfermedades de las raíces

La falta de oxígeno, el exceso de humedad y la resistencia del suelo al crecimiento de las raíces favorecen la ocurrencia de enfermedades de la raíz, como pudrición de la raíz y patógenos originarios del suelo. Estos factores reducen la resistencia de las raíces ante patógenos residentes en el suelo (Tabla 69).

Tabla 69. Calificación visual de la afectación de las raíces por enfermedades (Shepherd et al., 2008).

Calificación visual (VS)	Ocurrencia de enfermedades de la raíz debido a las condiciones del suelo
2 (Bueno)	Son raras las enfermedades de las raíces
1 (Moderado)	Son comunes las enfermedades de las raíces
0 (Pobre)	Las enfermedades de las raíces son comunes

11.1.7. Presencia de arvenses

La degradación estructural del suelo reduce la aireación del suelo y el potencial de enraizamiento del cultivo. Esta condición permite que malezas más vigorosas se establezcan y compitan con el cultivo (Alaoui, 2018). En la figura 99 se muestra cómo evaluar el contenido de arvenses en el maíz. En suelos con problemas de salud se facilita la ocurrencia de las arvenses, por lo que este indicador refleja la salud del suelo.



Figura 99. Fotos para evaluar la salud del suelo en base a la presencia de arvenses (Shepherd et al., 2008).

Condición buena VS = 2 Las arvenses no son comunes en la mayoría de las estaciones y no son consideradas como un problema. Los intersurcos pueden estar protegidas por mulch o hiervas pequeñas.

Condición moderada VS = 1 Pas arvenses son comunes en la mayoría de las estaciones y son un problema moderado.

Condición pobre VS = 0 Las arvenses son extremadamente comunes en la mayoría de las estaciones y son un serio problema

Carlesi & Bàrberi (2017), propusieron una metodología para relacionar la presencia de algunas arvenses con las propiedades del suelo donde estas se desarrollan mejor. Las observaciones de las arvenses y, si fuera necesario la recolección de muestras de plantas, deben hacerse en tres períodos de muestreo, cuando las especies son más fáciles de identificar. Este procedimiento permite combinar la información para tener una idea clara de las especies más relevantes presentes en el agroecosistema y reduce el riesgo de ignorar especies de ciclo corto con importancia estacional.

Se debe realizar la evaluación en una o varias parcelas del sitio de trabajo, especialmente en aquellas que muestran alteraciones en las condiciones del suelo. Se debe observar o muestrear en toda la parcela, evitando las partes cerca de linderos o donde existan diferencias con el resto del área. Para ello se inicia con un recorrido por toda la parcela y, si la parcela no es homogénea, se identifican las subáreas con una composición claramente diferente.

Se debe comenzar por un extremo y recorrer la parcela a modo de zigzag. Se toma nota de las principales especies de arvenses presentes y, visualmente, se estima el porcentaje de cobertura de suelo de cada una de ellas.

Debe centrarse la inspección en la composición genérica de las arvenses y en las especies dominantes. En caso de no poder identificar alguna de las principales especies presentes, se recogen algunos especímenes para su reconocimiento posterior. Las mejores plantas para muestrear son aquellas que tengan flores y frutos.

Las plantas muestreadas se pueden conservar aplanadas, con las hojas abiertas entre dos hojas de periódico, y se coloca algo de peso encima. Cuando estén secas, se pueden pasar a una hoja gruesa de papel blanco y se fijan con alfileres o cinta adherente.

Es necesario determinar si las especies principales encontradas son anuales o perennes. Si no se tiene la información, se intenta extraer una planta. Si se puede arrancar de raíz fácilmente, incluyendo una gran cantidad del sistema radical, entonces es anual. Si la planta se rompe al tratar de arrancarla de raíz, será probablemente perenne.

Finalizado el trabajo de campo, si se tienen especies que no se han podido reconocer, se consulta a alguien con mayor experiencia. Se comprueba que las que se han registrado como dominantes están incluidas en el grupo de especies bioindicadoras (Tabla 70). En la tabla se presentan solamente aquellas especies consideradas de alta confianza, pero en la publicación de Carlesi & Bàrberi (2017), se encuentran otras de menor fiabilidad.

Tabla 70. Relación de especies de arvenses y las características del suelo donde se desarrollan mejor.

Especies	Características del suelo donde se desarrollan mejor
Reacción de suelo	
Hieracium aurantiacum syn. *Pilosella aurantiaca* Asteraceae	Ácido
Hieriacium pratense syn. *H. caespitosum, Pilosella caespitosa* Asteraceae	
Rumex acetosella Polygonaceae	
Sonchus spp. Asteraceae	
Spergula arvensis Caryophyllaceae	
Viola arvensis Violaceae	
Anagallis arvensis Primulaceae	Alcalino
Disponibilidad de agua	
Carex lasiocarpa Cyperaceae	Suelo húmedo
Poa annua Graminaceae	
Polygonum persicaria syn. *Persicaria maculosa* Polygonaceae	
Ranunculus spp. Ranunculaceae	
Tussilago farfara Asteraceae	
Compactación del suelo	
Euphorbia maculata Euphorbiaceae	
Galium aparine Rubiaceae	
Plantago major Plantaginaceae	
Poa annua Graminaceae	

Se procede a sumar el valor de cobertura del suelo de cada especie perteneciente a la misma tipología de bioindicador, para cada subárea muestreada. En el caso de que especies bioindicadoras de características opuestas del suelo aparezcan en la misma subárea, se descarta dicha característica.

Si las especies dominantes de malas hierbas pertenecen a diversas tipologías de bioindicadores que no presentan contradicciones, las características descritas en la tabla de especies bioindicadoras pueden verificarse con las características reales del suelo. Así se comprueba si la información extraída de la tabla es correcta.

La información obtenida del uso de las arvenses como bioindicadores debe contrastarse con las observaciones de campo y la evaluación del suelo. Por lo tanto, durante el recorrido se realizan observaciones de las condiciones del suelo, mediante la metodología EOS del manual, de forma que se compruebe o mejore la evaluación de los principales problemas que se detectan en el suelo.

Este tipo de análisis no siempre proporciona resultados consistentes, porque la relación entre las malas hierbas y las condiciones del suelo es compleja. Además, requiere conocimientos botánicos básicos para la identificación de especies.

Algunas de las especies arvenses o las denominadas como plantas silvestres se desarrollan mejor en determinadas condiciones de suelo. Por ello pueden utilizarse como bioindicadores de las condiciones del suelo, relacionándolas con las características del suelo (como pH o textura) y con el manejo del suelo (como el uso del agua, falta o exceso de nutrientes o compactación) (Carlesi & Bàrberi, 2017). Shepherd (2010), propuso el empleo de una tabla de interpretación para determinar el grado de infestación por arvenses (Tabla 71).

Tabla 71. Tabla de interpretación para determinar el grado de infestación por arvenses (Shepherd, 2010).

Grado de la evalaucón visual por infestación de arvenses (VS)	Puntuación visual
Las arvenses no son comunes en distintas épocas y no son consideradas un problema	2
Las arvenses son comunes en la mayoría de las épocas y son un problema moderado	1
Las arvenses son comunes en la mayoría de las épocas y son un problema serio	0

11.1.8. Tamaño y forma de las mazorcas

El tamaño de las mazorcas está gobernado por varios factores, entre ellos el genotipo, la disponibilidad de agua, las condiciones del suelo, la disponibilidad de nitrógeno y otros nutrientes, así como la producción de carbohidratos, almidón y proteínas. La respuesta del cultivo a las condiciones del suelo puede ser un indicador indirecto de su salud. A través de la figura 100, el tamaño de las mazorcas permite evaluar las condiciones del suelo donde se desarrolla el cultivo.



Figura 100. Fotos para evaluar la salud del suelo en base al tamaño de las mazorcas (Shepherd et al., 2008).

Condición buena VS = 2 Mazorcas grandes, con un largo que varía entre 180 y 220 mm y muestran un bien llenados de los granos en las hileras y las puntas, y aparecen pocos rasgos de estrés.

Condición moderada VS = 1 Mazorcas de largo mediano, que varían en largo entre 150 y 180 mm. Las mazorcas muestran a menudo llenado incompleto de las hileras y las puntas, y en ocasiones aparecen rasgos de estrés.

Condición pobre VS = 0 Mazorcas grandes, con un largo que varía entre 100 y 150 mm. Las mazorcas son a menudo subdesarrolladas y los granos poco desarrollados en las puntas. Son comunes los rasgos de estrés.

También se pueden considerar las posibles deformaciones de las mazorcas. Estas deformaciones, como se trató en el epígrafe de diagnóstico foliar de deficiencias y excesos de nutrientes, pueden ser un síntoma de un problema nutricional de un nutriente específico o de un problema en la fecundación.

11.1.9. Rendimiento del cultivo

Los resultados serán cualitativos, ya que el suelo es afectado por diferentes factores y condiciones, como el genotipo, el sistema de cultivo y la fertilidad del suelo. Se pregunta a los agricultores y a otras personas que puedan aportar información sobre el tema cuáles son los cultivos más importantes de la secuencia o rotación de cultivos en el sitio. Estos cultivos deben ser considerados en términos de ingresos o impactos ambientales, y se les asigna una valoración entre 0 y 2 (Tabla 72).

Tabla 72. Evaluación visual del rendimient del cultivo en maiz (Shepherd et al., 2008).

Calificación visual (VS)	Rendimiento del cultivo
2 (Bueno)	El cultivo tiene 40 mazorcas por metro cuadrado. Las mazorcas son de talla mediana (150-150 mm en longitud) y muestran un completo llenado de los granos y pocos signos de estrés, plagas o enfermedades. El rendimiento en cosecha es superior al promedio para la región.
1 (Moderado	El cultivo tiene 20 - 30 mazorcas por metro cuadrado. Las mazorcas son largas (180-220 mm en longitud) y muestran desigual y pobre llenado de los granos y a menudo están pobre en las puntas. Son moderadamene comunes síntomas de estrés, plagas o enfermedades. El rendimiento en cosecha es ceercano al al promedio de la región.
0 (Pobre)	El cultivo tiene < 20 mazorcas por metro cuadrado. Las mazorcas son generalmente pequeñas (100-180 mm en longitud) y muestran un moderado llenado de los granos pobre todo en las puntas. Son muy comunes síntomas de estrés, plagas o enfermedades. El rendimiento en cosecha inferior al promedio de la región.

11.1.10. Costos de producción

Los principales costos de producción del maíz son los fertilizantes, la preparación del suelo y los productos fitosanitarios, incluyendo los herbicidas. Estos costos se incrementan si los suelos se degradan. Si los precios de esos productos no se incrementan por otras causas, entonces son un indicador de la salud del suelo. Para evaluar ese indicador, se puede utilizar la tabla 73.

Tabla 73. Evaluación de la salud del suelo por la variación del costo de producción del cultivo (Shepherd et al., 2008).

Calificación visual (VS)	Costos de producción
Bueno (2)	Los costos de producción, incluyendo los requerimietos en fertilizantes, preparación del suelo, herbicidas y pesticidas no se han incrementado
Moderado (1)	Los costos de producción, incluyendo los requerimietos en fertilizantes, preparación del suelo, herbicidas y pesticidas se han incrementdo modedradamente
Pobre (0)	Los costos de producción, incluyendo los requerimietos en fertilizantes, preparación del suelo, herbicidas y pesticidas se han incremetnado fuertemente

11.1.11. Encharcamiento superficial

Como ya se explicó en general en el epígrafe V.1.1, en el cultivo del maíz el encharcamiento superficial y la duración del tiempo que el agua permanece en la superficie dan una idea de la velocidad de infiltración del suelo, la profundidad del manto freático y el tiempo en que el suelo permanece saturado. Todo esto se relaciona directamente con la salud del suelo y el desarrollo de los cultivos. La figura 101 muestra el efecto del encharcamiento superficial en el maíz (Alaoui & Schwilch, 2016).



Figura 101. Fotos para evaluar la salud del suelo en base a la ocurrencia de encharcamiento (Shepherd et al., 2008).

La velocidad de infiltración del agua es un indicador del tiempo que necesita un suelo para disponer del agua gravitacional. Este proceso permite la recuperación de inundaciones y el avance del agua de riego en el perfil. Se puede interpretar con la tabla 74 (USDA, 1999).

Tabla 74. Velocidades y clases de Infiltración (USDA, 1999).

Minutos por centímetro	Centímetros por hora	Clases de infiltración
< 1,18	> 50,80	Muy rápido
1,18-3,94	15,24-50,80	Rápido
3,94-11,81	50,80-15,24	Moderadamente rápido
11,81-39,37	15,24-5,08	Moderado
39,37-118,11	5,08-1,52	Moderadamente lento
118,11-393,70	1,52-0,51	Lento
393,70-15748,03	0,51-0,0038	Muy lento
> 15748,03	< 0,0038	Impermeable







12. PASTIZALES

Los pastizales tienen sus propias exigencias y un comportamiento muy relacionado con el efecto del ganado que se pastoree. También influye el paso de las maquinarias que se utilizan en las áreas forrajeras.

12.1. Calidad y salud de suelos sobre pastos

En la tabla 75 se presenta una tarjeta para la evaluación visual de la calidad del suelo dedicado a pastoreo en terrenos planos y ondulados. Dicha herramienta fue modificada de Shepherd (2010).

Tabla 75. Tarjeta para la evaluación visual de la calidad del suelo dedicados a pastoreo en terrenos planos y ondulados (Modificado de Shepherd, 2010).

Indicadores visuales para evaluar la calidad de suelos agrícolas dedicados al pastoreo					
Propietario			Uso del suelo		
Ubicación del Sitio o potrero			Coordenadas		
Ambiente			Fecha		
Profundidad de la muestra			Clasificación Taxonómica del suelo		
Posición en el relieve			Clasificación de uso		
Clase textural en la superficie	Arenoso	Franco	Limoso	Arcilloso	Otra
Humedad	Seco	Poco Húmedo	Húmedo	Muy Húmedo	Mojado
Condiciones climáticas de la estación	Seca	Húmeda	Fría	Cálida	Promedio
Tarjeta para la Evaluación de Suelos					
Indicadores visuales de calidad de suelos			**Evaluación Visual 0= Condición pobre 1= Condición moderada 2= Condición buena**	**Ponderación**	**EV**
Estructura y consistencia				x3	
Porosidad				x3	
Color				x2	
Moteados (número y color)				x2	
Lombrices/Macrofauna (Número y tamaño medio)				x3	
Relieve superficial				X1	
Índice de calidad de suelo (Suma de puntajes EV)					
Evaluación de la calidad del suelo				Índice de Calidad	
Pobre				0-10	
Moderado				10-20	
Bueno				> 20	
Notas					

Para la descripción y la forma de evaluar los indicadores del suelo, se pueden utilizar aquellos que se encuentran en el epígrafe V y VI del Manual. La evaluación del relieve superficial se debe realizar con las fotos de la figura 102, las cuales se presentan a continuación.

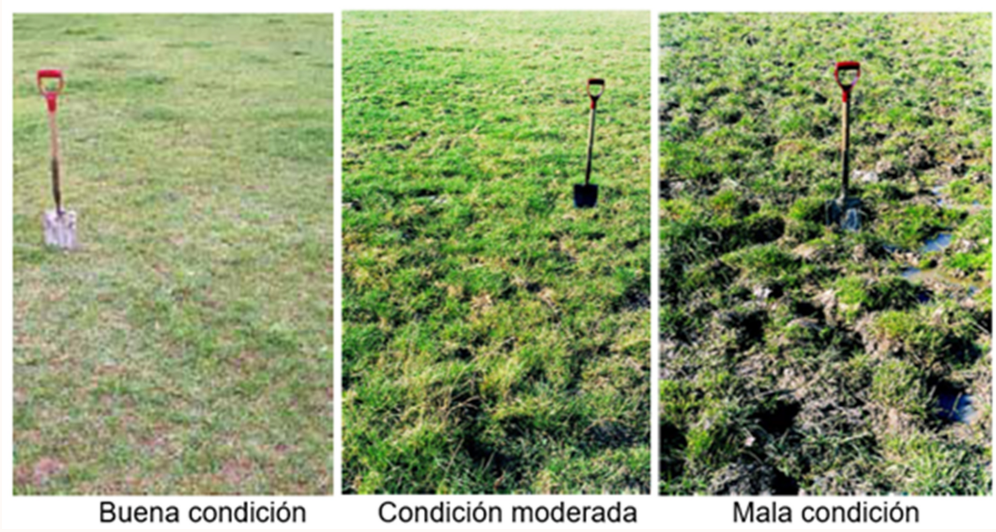


Figura 102. Evaluación del relieve superficial en pastos (Shepherd, 2010).

Condición buena VS = 2 La superficie es relativamente lisa y sin deterioro

Condición moderada VS = 1 El terreno superficial está algo fragmentado y deteriorado por pisadas ocasionales, pero no es difícil caminar sobre este.

Condición mala VS = 0 La superficie está muy deteriorada y profundamente afectada por pisadas repetidas y severas. El terreno es difícil de cruzar y se debe tener cuidado para evitar torcerse los tobillos

12.2. Calidad y salud de los pastos

Un grupo de indicadores visuales se relaciona con el comportamiento del pasto. Estos indicadores permiten conocer la salud y la calidad del suelo dedicado a la producción ganadera, así como el estado nutricional del cultivo (Tabla 76).

Tabla 76. Tarjeta de la evaluación visual de la salud y calidad de los suelos y de los pastizales de acuerdo al comportamiento de las plantas (Modificado de Shepherd et al., 2008).

Indicadores visuales de calidad de suelos	Evaluación Visual (EV) 0= Condición pobre 1= Condición moderada 2= Condición buena		Ponderación	EV
Calidad del pasto	1	(Figura 103)	X3	
Composición del pasto	1	(Figura 105)	X3	
Tasa de crecimiento y rebrote de pastos	1	(Tabla 77)	X3	
Color del pasto y desarrollo relativo a parches urinarios	1	(Figura 106)	X3	
Largo y densidad de las raíces	1	(Figura 107)		
Nódulos de trébol	1	(Tabla 78)	X3	
Utilización del pasto	1	(Tabla 79)	X3	
Área de suelo desnudo	1	(Figura 108)	X2	

Tabla 76. Continuación.

Indicadores visuales de calidad de suelos		**Evaluación Visual (EV)** **0= Condición pobre** **1= Condición moderada** **2= Condición buena**	**Ponderación**	**EV**
Estrés por sequía	1	(Figura 109)	X2	
Encharcamiento superficial	1	(Figura 110)	X2	
Presencia de arvenses en pastos	1	(Figura 111)	X2	
Capacidad de carga de ganado y uso de fertilizantes *	1	(Tabla 80)	X2	
Costo de producción para mantener la capacidad de carga de ganado	1	(Tabla 81)	X1	0 29 58
Índice de calidad de suelo (Suma de puntajes EV)				
Percibido				
Evaluación de la calidad del suelo			**Índice de Calidad**	
Pobre			< 20	
Moderado			20 - 35	
Bueno			> 35	
Resumen				
Comparación entre la evaluación de la calidad del suelo y el desarrollo de la planta			**¿Los indicadores del suelo y de la planta difieren? ¿Si es así, por qué?**	
Indicadores del suelo	Indicadores de la planta			
Notas				
Capacidad total de retención del agua disponible				

12.2.1. Calidad del pasto

La calidad de los pastos varía de acuerdo con la cantidad de hojas verdes y tallos de hierba, el contenido de legumbres, la materia seca, la composición botánica y el contenido de azúcar (energía) del pasto. La figura 103 se puede utilizar para evaluar la calidad de un pastizal.



Figura 103. Láminas para evaluar la calidad de un pastizal (Shepherd et al., 2008).

Condición buena VS = 2 El pasto tiene ≥ 95 por ciento de hojas de hierba verdes con ≥ 60 % de cobertura de leguminosas (≥ 40 por ciento de masa seca) y < 5 % de masa muerta. Los niveles de brix de azúcar son ≥ 12. La composición del pasto posee una buena mezcla de especies de pastos productoras (raigrás, trébol blanco, pata de gallo, etc.) y especies intolerantes a la aireación pobre e inundaciones. La mezcla de pastos refleja la original. Las hierbas forrajeras también contribuyen a la calidad del pasto.

Condición moderada VS = 1 El pasto tiene 75 - 80 por ciento de hojas de hierba verdes con 20 - 40 % de cobertura de leguminosas (10 - 20 por ciento de masa seca) y 20 - 25 % de masa muerta. La composición del pasto posee una mezcla de especies de alta y baja productoras. El pastizal también muestra un rango de tolerancia a las inundaciones y a las pisadas del ganado. Los niveles de brix de azúcar son 6-9. La mezcla de pastos difiere algo de la original.

Condición pobre VS = 0 El pasto tiene 75 - 80 por ciento de hojas de hierba verdes con poca o ninguna leguminosa, y ≥ 50 % de masa muerta. Los niveles de brix de azúcar son ≤ 3. El pastizal está dominado por especies poco productoras, propias de suelos de baja fertilidad, y por especies que son más tolerantes a la aireación pobre e inundaciones debido al paso de los animales. También está dominado por especies como el ryegrass, que son más tolerantes a la carga animal, y por especies tales como el trébol blanco, que coloniza rápidamente las áreas vacías creadas por el paso del ganado. La composición del pasto tiene una pequeña relación con la mezcla original de semillas. Para calcular los porcentajes de cubrimiento de las hojas de hierbas verdes se puede utilizar la figura 104.

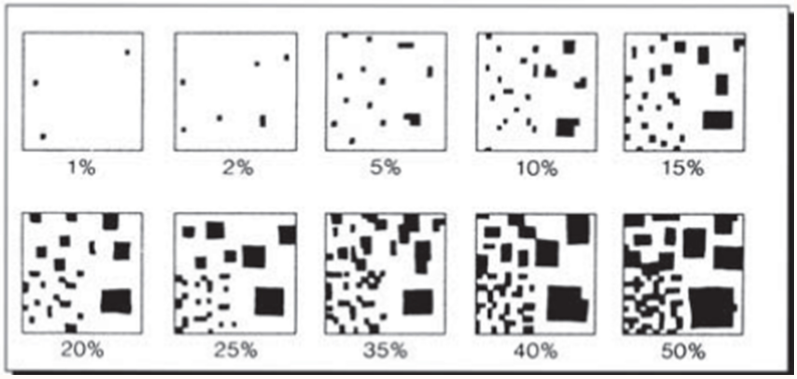


Figura 104. Lámina para determinar los % de pastos (Shepherd et al., 2008).

12.2.2. Composición del pasto

Evaluar la composición botánica del pasto (la proporción de cada especie presente) debe realizarse en el invierno o a principios de la primavera. La figura 105 puede utilizarse para evaluar la calidad de un pastizal.



Figura 105. Láminas para evaluar la composición botánica de un pastizal (Shepherd et al., 2008).

Condición buena VS = 2 La composición del pasto presenta una buena mezcla de especies de pastos de alta producción y especies intolerantes a la mala aireación y al anegamiento. Existen pocas malezas. La composición de los pastos refleja la mezcla original.

Condición moderada VS = 1 En esta condición están presentes especies de pastos con una gama de tolerancias a anegamientos y pisadas de ganado. Los pastos pueden contener un número de malezas y hierbas forrajeras. La mezcla de pastos difiere algo de lo sembrado originalmente.

Condición mala VS = 0 Los pastos a menudo están dominados por especies más tolerantes a la mala aireación y al anegamiento debido al pisoteo de animales. También dominan especies más tolerantes al efecto de las pisadas y especies que colonizan rápidamente el suelo desnudo creado por el exceso de pisadas. Las malas hierbas son muy comunes. La composición del pasto tiene poca relación con la mezcla de semillas original.

12.2.3. Tasa de crecimiento y rebrote de pastos

La evaluación del estado visual (VS) se llevan a cabo mediante aproximaciones visuales de los niveles de producción de materia seca. Estas aproximaciones se realizan generalmente al inicio de la primavera, con la información presente en la tabla 77.

Tabla 77. Evaluación de la tasa de crecimiento y rebrote de los pastos.

Puntuación visual VS	Tasas de crecimiento y rebrote de los pastos
Bueno (2)	Buen crecimiento y rebrote de los pastos
Moderado (1)	Crecimiento y rebrote moderados de los pastos
Pobre (0)	Pobre crecimiento y rebrote de los pastos

12.2.4. Color del pasto y desarrollo relativo a parches urinarios

El color del pasto está determinado por el área general del pastizal y por las diferencias de color y desarrollo de los parches. Estos parches se originan por la deposición de excretas y orina de los animales. La evaluación del VS se realiza mediante la figura 106.



Figura 106. Láminas para evaluar el color del pasto y desarrollo relativo a parches urinarios (Shepherd et al., 2008).

Condición buena VS = 2 El color del pasto es uniformemente verde intenso, con poca diferencia en el desarrollo entre los parches de orina. Las manchas de color extraño en las hojas pueden ser evidentes en un área amplia.

Condición moderada VS = 1 Se observan deficiencias moderadas en el color de los pastos y de los parches urinarios. El pasto es amarillo verdoso o medio verdoso entre los parches urinarios. Pueden ocurrir unas pocas manchas de color extraño en las hojas.

Condición mala VS = 0 Existen diferencias significativas en el color y el crecimiento del pasto y los parches de orina. El pasto es muy amarillo entre los parches urinarios. Pueden ocurrir comúnmente manchas de color extraño en las hojas.

12.2.5. Largo y densidad de las raíces

El largo y la densidad de las raíces dependen de las características del suelo. Estas características se relacionan especialmente con la consistencia, compactación y estructura del suelo. La evaluación de la VS se realiza mediante la figura 107.



Figura 107. Láminas para evaluar ls longitud y densidad de las raíces de pastos (Shepherd et al., 2008).

Condición buena VS = 2 Se observa una buena longitud y densidad de las raíces. Además, el sistema radical presenta una distribución uniforme.

Condición moderada VS = 1 La longitud y densidad de las raíces son moderadas. El sistema radical es algo irregular.

Condición mala VS = 0 La longitud y densidad de las raíces son pobres. El sistema radical queda restringido a áreas limitadas.

122.6. Nódulos en plantas de leguminosas

La capacidad de fijación de N de un pasto puede determinarse por la densidad, el color y la profundidad de los nódulos en sus raíces. Este tema se trató en el epígrafe X. Para plantas de la familia Fabácea, como el trébol y los frijoles, remueva 3 o 4 plantas hasta unos 25 cm de profundidad. Con cuidado, remueva el suelo para exponer el sistema radical y los nódulos del trébol. Cuente el número de nódulos, su tamaño, la profundidad en la que estos aparecen y el color del interior del nódulo. Luego, compare los resultados con los datos de la tabla 78.

Tabla 78. Puntuación visual de los nódulos en plantas de la familia Fabácea (modificado de Shepherd et al., 2008).

Puntuación visual VS	Nódulos de trébol
Bueno (2)	Las raíces de plantas de la familia Fabácea, como el trébol y los frijoles, tienen ristras y conjuntos de varios nódulos (4-8 por 20 mm) y ocurrir a una profundidad de 150-200 mm; muchos son mayores (> 2 mm). Al menos 50 % de los nódulos tienen un tono rosa pálido en la superficie y un contenido de leghaemoglobina Roja brillante o marrón que sangra cuando se abren y aprietan.
Moderado (1)	Las raíces de trébol y de especies similares, tienen un moderado número de nódulos (1 por 20 mm) a una profundidad de 75 a 150 mm. Los mayores nódulos son de tamaño medio (1-2 mm) y tienen un tono rosado tenue en la superficie y un contenido de leghaemoglobina marrón rojizo pálido cuando se abre.
Pobre (0)	Las raíces de trébol tienen poco o ningún nódulo y solo aparecen en los primeros 75 mm superiores del suelo. Los nódulos son pequeños (< 1 mm) y son blancos en la superficie con pocos o sin signos de leghaemoglobina cuando se abre.

12.2.7. Utilización del pasto

Evalúe la utilización del pasto mediante la proporción del pasto que ha sido pastoreado y que no ha sido manchada ni pisoteada en el barro por los animales. La evaluación VS se realiza con la tabla 79, a partir de la observación del estado del pasto.

Tabla 79. Evaluación visual de la utilización de los pastos (Shepherd et al., 2008).

Puntuación visual (VS)	Utilización de pastos
Bueno (2)	Buen aprovechamiento de los pastos, con solo un poco del pasto bajo pisoteado en el barro
Moderado (1)	Utilización moderada con una significativo cantidad de pasto cubierto y pisoteado en el barro
Pobre (0)	Mala utilización, con una gran proporción de pasto cubierto y pisoteado en el barro

12.2.8. Área de suelo desnudo

Evalúe el área de suelo desnudo en invierno o a principios de primavera. Compare la superficie del suelo con las tres fotografías de la figura 108. Si hay cierre del dosel, separe el pasto con las manos y marque a nivel del suelo. Una evaluación de un área de terreno desnudo después de un largo período seco mostrará cuántos pastos han muerto por falta de humedad.



Figura 108. Láminas para evaluar el área de suelo desnudo en el pastizal (Shepherd et al., 2008).

Condición buena VS = 2 El crecimiento de la pastura es vigoroso y cubre casi toda la superficie.

Condición moderada VS = 1 El pastizal muestra áreas significativas de suelo desnudo y crecimiento esporádico. Se observa la introducción de malezas y trébol blanco causado por daños por el pisoteo.

Condición mala VS = 0 Grandes áreas de suelo desnudo se producen por daños de la pisada de los animales. Esto conlleva la consiguiente reducción de la densidad y el vigor de las plantas de pasto. El trébol blanco y especies menos deseables de pasto pueden haber invadido zonas degradadas y desnudas por la sequía.

12.2.9. Estrés por sequía

Evaluar, a partir de evidencia visual y conocimiento local, el grado en que el pasto sufre estrés por sequía durante los períodos secos. Para ello, se compara el verdor del pasto con las tres fotografías de la figura 109. También se debe tomar en cuenta qué especies de pasto prevalecen, especialmente aquellas menos productivas pero tolerantes a la sequía.



Figura 109. Láminas para evaluar el estrés por sequía en el pastizal (Shepherd et al., 2008).

Condición buena VS = 2 Los pastos permanecen relativamente verdes y secos. La producción de materia es capaz de aguantar más un verano seco, aunque en niveles bajos. Durante los periodos secos, la composición del pasto es dominada por especies más resistentes a la sequía.

Condición moderada VS = 1 Los pastos no tolerantes a la sequía se debilitan y enralecen significativamente durante los meses secos. No obstante, todavía quedan ligeras manchas verdes cerca del suelo. La producción de materia seca es muy baja. Los pastos son dominados durante la sequía por aquellos más resistentes a estas condiciones. Malezas de raíces profundas también pueden ser comunes en el área.

Condición mala VS = 0 Con la posible excepción de las especies tolerantes a la sequía, los pastos se afectan. El crecimiento del pasto se detiene durante los periodos secos. Los pastos mueren en épocas de sequía prolongada. Con exclusión de especies tolerantes a la sequía, los pastos tardan mucho para salir en otoño. La estructura del suelo se vuelve quebradiza y se convierte en polvo bajo las pisadas.

12.2.10. Encharcamiento superficial

Evaluar el grado de encharcamiento de la superficie requiere observar la situación presente en el momento de la observación. Se debe utilizar la figura 110 o una opinión general basada en el recuerdo del tiempo que tardó en desaparecer el agua estancada después de una lluvia o después de fuertes lluvias en el invierno (ver al lado). Las áreas amarillas o pálidas de pasto, o el pasto que yace acostado sobre la superficie, indican encharcamiento superficial reciente.

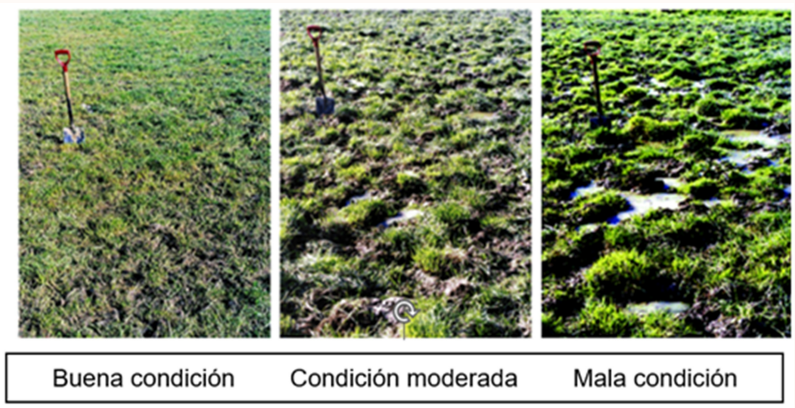


Figura 110. Láminas para evaluar el encharcamiento superficial en el pastizal (Shepherd et al., 2008).

Condición buena VS = 2 No se evidencia encharcamiento de agua 24 horas después de fuertes lluvias en suelos que estaban en o cerca de la saturación.

Condición moderada VS = 1 Puede producirse un encharcamiento superficial moderado hasta 3 días después de fuertes lluvias en los suelos que estaban en o cerca de la saturación.

Condición mala VS = 0 Se produce un importante encharcamiento superficial durante más de 3 días después de fuertes lluvias en suelos que estaban en o cerca de saturación. El pasto ha adquirido un color amarillento o pálido.

12.2.11. Presencia de arvenses en pastos

La presencia de arvenses no deseadas puede ser una respuesta a condiciones deficientes del suelo. Esta condición afecta a las especies menos resistentes y promueve la aparición de aquellas que, a pesar de no ser de alta producción de pastos, son capaces de subsistir ante esos problemas. Se puede utilizar la figura 111 para evaluar la presencia de arvenses.



Figura 111. Condición del suelo en relación a la presencia de arvenses (Shepherd et al., 2008).

Condición buena VS = 2 El pasto tiene pocas o ninguna arvense.
Condición moderada VS = 1 Las malezas son muy comunes y cubren de 5 a 10 % de la superficie del suelo.
Condición mala VS = 0 Las arvenses son abundantes y cubren ≥ 20 % de la superficie del suelo. Ello puede indicar una fuerte compactación, pobre aireación, encharcamiento, poco carbón orgánico funcional y Ca, o pobre composición mineral y microbiológica. Para calcular los porcentajes, se puede utilizar la figura 104.

12.2.12. Capacidad de carga de ganado y uso de fertilizantes

Evalúe la capacidad de carga de ganado. Base esta evaluación en su conocimiento del potrero. Considere, además, si se requiere fertilizante adicional para mantener dicha capacidad de carga. Utilice la tabla 80.

Tabla 80. Para evaluación de la capacidad de carga de ganado y uso de fertilizantes (Shepherd, 2010).

Puntuación visual VS	Capacidad de carga de ganado y uso de fertilizantes
2 (Bueno)	Aplicaciones de fertilizantes estándar para mantener capacidad de carga de ganado
1 (Moderado)	Se requiere algo de fertilizante adicional para mantener las tasas de población
0 (Pobre)	Se requiere una cantidad significativa de fertilizante adicional para mantener la carga ganadera, especialmente durante los periodos de mayor necesidad

12.2.13. Costo de producción para mantener la capacidad de carga de ganado

El costo de producción para mantener la capacidad de carga ganadera en un pastizal ofrece una idea de la calidad del suelo y de las especies del pasto. La evaluación correspondiente se realiza mediante la tabla 81.

Tabla 81. Evaluación del costo de producción para mantener la capacidad de carga ganadera (Shepherd et al., 2008).

Puntuación visual VS	Costos de producción
2 (Bueno)	Los costos de producción no se han incrementado. Solamente se requiere fertilización de mantenimiento mara mantener la capacidad de carga ganadera
1 (Moderado)	Se requieren algunos costos adicionales para mantener la carga ganadera.
0 (Pobre)	Se requiere costos adicionales significativos para mantener la carga ganadera, incluyen cantidades significativas de fertilizante adicional.







13. HUERTOS (FRUTALES)

Los frutales son cultivos diferentes a los cultivos anuales y a los pastos. Esta diferencia se observa tanto en su fisiología como en las exigencias de las características de los suelos.

13.1. Evaluación visual de la salud y la calidad de los suelos dedicados a frutales

La tabla 82 corresponde a una tarjeta de evaluación de la salud y la calidad de los suelos en árboles frutales.

Tabla 82. Tarjeta de la evaluación de la calidad y salud de los suelos en plantaciones de frutales (Modificado de Shepherd et al., 2008).

Tarjeta para la Evaluación de Suelos para utilizar en huertos (frutales)					
Indicadores visuales para evaluar la calidad de suelos agrícolas					
Propietario			Uso del suelo		
Ubicación del lugar			Coordenadas		
Ambiente			Fecha		
Profundidad de la muestra			Clasificación taxonómica		
Posición en el relieve			Clasificación de uso		
Clase textural en la superficie	Arenoso	Franco	Limoso	Arcilloso	Otra
Humedad	Seco	Poco Húmedo	Húmedo	Muy Húmedo	Mojado
Condiciones climáticas de la estación	Seca	Húmeda	Fría	Cálida	Promedio
Tarjeta para la Evaluación de Suelos					
Indicadores visuales de calidad de suelos	**Evaluación Visual (EV) 0= Condición pobre 1= Condición moderada 2= Condición buena**			**Ponderación**	**EV**
Textura	Tabla 27			x3	
Estructura y consistencia	Figura 10			x3	
Porosidad	Figura 58			x3	
Color	Figura 62			x2	
Moteados (número y color)	Figura 64			x2	
Lombrices/Macrofauna (Número y tamaño medio)	Figura 74 Tabla 57			x3	
Profundidad de raíces (m)	Tabla 83			x3	
Encharcamiento	Tabla 11			x1	
Costras/cobertura	Figura 15			x2	
Erosión eólica/hídrica	Figura 113			x2	
Índice de calidad de suelo (Suma de puntajes EV)					
Evaluación de la calidad del suelo				Índice de Calidad	
Pobre				0 -15	
Moderado				15 - 30	
Bueno				> 30	

La descripción y la forma de evaluar los indicadores del suelo se pueden aplicar a aquellos que figuran en los epígrafes V y VI. Debido a las características de los árboles y a la forma de cultivo, la evaluación de la profundidad de las raíces y la erosión debe realizarse de manera distinta a la de los cultivos anuales.

13.1.1 Profundidad de raíces

El sistema radical de los árboles alcanza lugares más lejanos y profundos que los de otros cultivos (Figura 112).



Figura 112. Esquema del sistema radical de un árbol (Shepherd et al., 2008).

La evaluación se realiza en base a la tabla 83. Los valores de la clasificación visual se corresponden con la profundidad efectiva de las raíces.

Tabla 83. Evaluación de la profundidad de las raíces (Benites-Jump, 2001).

Calificador visual (CV)	Profundidad efectiva (m)
2,0 (Buena)	> 0,8
1,5 (Moderadamente Bueno)	0,6-0,8
1,0 (Moderado)	0,4-0,6
0,5 (Moderadamente Pobre)	0,2-0,4
0 (Pobre)	< 0,2

13.1.2. Erosión eólica/hídrica

Para la evaluación visual de la erosión se deben utilizar las fotos de la figura 113.



Figura 113. Evaluación de la erosión del suelo en árboles frutales (Shepherd et al., 2008).

Condición buena VS = 2 Presenta poca o ninguna evidencia de erosión del suelo. Se observa una pequeña diferencia de altura entre las hileras y el suelo alrededor de la base del tronco del árbol. El sistema radical se encuentra completamente cubierto.

Condición moderada VS = 1 Muestra una erosión moderada del suelo con una importante diferencia de altura entre las hileras y el suelo alrededor de la base del tronco del árbol. Parte del sistema radical superior queda expuesta de manera ocasional.

Condición mala VS = 0 Presenta una severa erosión del suelo con barrancos profundamente seccionados u otras características de movimiento de masas entre filas. Hay una gran diferencia de altura entre los espacios entre los surcos y el suelo alrededor de la base del tronco del árbol. El sistema radical suele estar bien expuesto y, a veces, socavado.

13.2. Evaluación del comportamiento de los frutales y su relación con la salud del suelo y las plantas

No hemos encontrado indicadores generales indirectos del comportamiento de los frutales y su relación con la salud del suelo y las plantas. Por lo tanto, utilizaremos los que se emplean en el cultivo del olivo (Tabla 84). Aunque el olivo no es un cultivo que se desarrolle en Cuba, su análisis ofrece una base para estudiar otros frutos tropicales y para preparar indicadores en ellos.

Tabla 84. Tarjeta de la evaluación visual de la salud y calidad de los suelos y de los frutales de acuerdo al comportamiento de las plantas de olivo (Modificado de Shepherd et al., 2008).

Indicadores visuales de calidad de suelos	**Evaluación Visual (EV)** **0= Condición pobre** **1= Condición moderada** **2= Condición buena**	**Ponderación**	**EV**
Volumen de la copa del árbol		X2	
Densidad de la copa del árbol		X3	
Longitud de los brotes		X3	
Floración		X3	
Color de las hojas		X3	
Rendimiento		X2	
Variabilidad del comportamiento de las plantas a lo largo del surco		X2	
Índice de calidad de suelo (Suma de puntajes EV)			
Percibido			
Evaluación de la calidad del suelo		**Índice de Calidad**	
Pobre		< 10	
Moderado		10 - 25	
Bueno		> 25	

13.2.1. Volumen de la copa del árbol

El volumen de la copa en la etapa de floración depende de varios factores: la edad del árbol, el cultivar, la poda, el manejo del huerto, las enfermedades y los factores climáticos. Una pobre estructura y aireación del suelo, el limitado movimiento y almacenamiento de agua, y la erosión del suelo, como resultado de la degradación estructural, pueden reducir el crecimiento y el vigor de las plantas. No obstante, el volumen de la copa puede ser un indicador visual útil de la producción, la calidad y la salud del suelo cuando los factores climáticos no han limitado el desarrollo del cultivo (Shepherd et al., 2008). La figura 114 muestra un ejemplo de la relación entre el volumen de la copa y la salud del suelo.



Figura 114. Ejemplo de evaluación del volumen de la copa de plantas de olivo (Shepherd et al., 2008).

Condición buena VS = 2 El volumen de la copa es mayor que 100 m^3 (con valores desde 4-5 m de alto por 5-6 m de ancho o más) para plantas maduras plantadas en un espaciamiento de 5x5 o 6x6 m. Los árboles presentan una buena distribución de las hojas.

Condición moderada VS = 1 El volumen de la copa es de aproximadamente 50 m (con valores de 3-4 m de alto por 4 m de ancho) para árboles maduros plantados en un espaciamiento de 5x5 o 6x6 m. Los árboles tienen una distribución moderada de las hojas.

Condición mala VS = 0 El volumen de la copa es inferior a 23 m (es decir, ≤ 2-3 m de alto por 3 m de ancho) para árboles maduros plantados en un espaciamiento de 5x5 o 6x6 m. Los árboles presentan una pobre distribución de las hojas.

13.2.2. Densidad de la copa del árbol

La densidad de la copa constituye un buen indicador de la salud y el vigor del árbol. Esto se refleja en el número de brotes, el número de hojas por brote y la edad de las hojas. Además del clima, el vigor de los árboles está fuertemente relacionado con la disponibilidad de agua y nutrientes, así como con la textura del suelo. Los suelos con buenos niveles de materia orgánica y de vida del suelo muestran un proceso biológico y químico activo, lo que favorece la liberación y absorción de agua y nutrientes y, en consecuencia, el crecimiento y vigor del árbol (Shepherd et al., 2008). La figura 115 muestra un ejemplo de la relación entre la densidad de la copa y la salud del suelo.

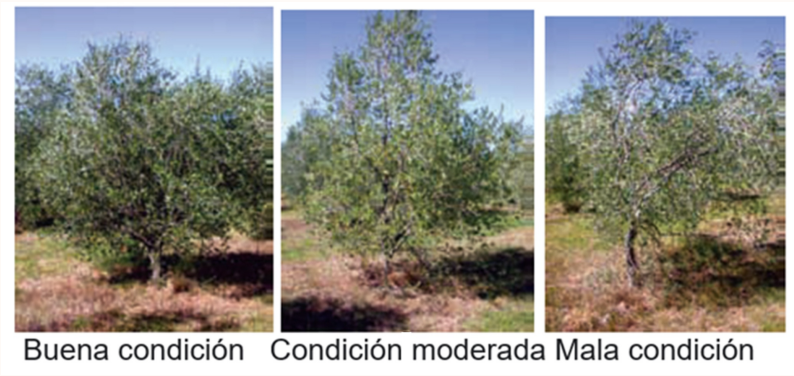


Figura 115. Ejemplo de evaluación de la densidad de la copa de plantas de olivo (Shepherd et al., 2008).

Condición buena VS = 2 El volumen de la copa es mayor que 100 m3 (con valores desde 4-5 m de alto por 5-6 m de ancho o más) para plantas maduras plantadas en un espaciamiento de 5x5 o 6x6 m. Los árboles tienen una buena distribución de las hojas.

Condición moderada VS = 1 El volumen de la copa es de aproximadamente 50 m (con valores de 3-4 m de alto por 4 m de ancho) para árboles maduros plantados en un espaciamiento de 5x5 o 6x6 m. Los árboles presentan una distribución moderada de las hojas.

Condición mala VS = 0 El volumen de la copa es inferior a 23 m (es decir, ≤ 2-3 m de alto por 3 m de ancho) para árboles maduros plantados en un espaciamiento de 5x5 o 6x6 m. Los árboles tienen una pobre distribución de las hojas.

13.2.3. Longitud de los brotes

La longitud del brote determina la cantidad de yemas, algunos de los cuales producirán flores. Esta variable también presenta una fuerte relación con las propiedades físicas y la fertilidad química del suelo. A su vez, el suelo está influenciado por el manejo que se realice sobre él. La longitud de los brotes constituye una expresión del vigor y el crecimiento de la planta. La evaluación de la longitud de los brotes se puede realizar mediante la figura 116.



Figura 116. Láminas para la evaluación de la longitud de los brotes Shepherd et al., 2008).

Condición buena VS = 2 Los brotes presentan una longitud de al menos 200 mm (según variedad) en la parte externa de la planta.

Condición moderada VS = 1 La longitud del brote es moderadamente inferior al máximo (según variedad) en la parte externa de la planta.

Condición mala VS = 0 La longitud del brote es significativamente menor que el máximo (según variedad) en la parte externa de la planta.

13.2.4. Floración

El número y la distribución de las flores afectan el comportamiento de fructificación. La presencia de una gran cantidad de flores también indica altos rendimientos. La floración se puede evaluar con la figura 117.



Figura 117. Láminas para la evaluación de la floración (Shepherd et al., 2008).

Condición buena VS = 2 se presenta un alto número de flores por brote y bien distribuidas sobre el árbol.

Condición moderada VS = 1 se produce un número moderado de flores.

Condición mala VS = 0 hay poco número de flores y mal distribuidas sobre el árbol.

13.2.5. Color de las hojas

El color de la hoja puede proporcionar una buena indicación del estado de nutrientes y la condición del suelo. Cuanto mayor es la fertilidad del suelo, más verde es el color de las hojas. El color de las hojas se relaciona principalmente con la disponibilidad de agua y nutrientes, y especialmente con la de N. El color de las hojas se puede evaluar con la figura 118.



Figura 118. Láminas para la evaluación de la floración (Shepherd et al., 2008).

Condición buena VS = 2 se presenta un alto número de flores por brote y bien distribuidas sobre el árbol.

Condición moderada VS = 1 se produce un número moderado de flores.

Condición mala VS = 0 hay poco número de flores y mal distribuidas sobre el árbol.

13.2.6. Rendimiento

El rendimiento puede ser un buen indicador visual de las propiedades y la condición del suelo. Los árboles (de olivo) pueden verse estresados por la sequía, especialmente durante la etapa crucial de floración. También pueden verse afectados por una disminución en la calidad del suelo, causada por la reducción del almacenamiento de agua y la disponibilidad de agua, las deficiencias de nutrientes, la mala aireación y el desarrollo restringido de las raíces. Esto último puede ser resultado de la compactación del suelo, una capa dura, un nivel freático fluctuante, etc. El rendimiento se puede evaluar con la figura 119.



Figura 119. Láminas para la evaluación visual del rendimiento (Shepherd et al., 2008).

Condición buena VS = 2 el rendimiento promedio es de >5 kg de aceitunas/m^3 en un árbol maduro (10-15 años de edad).

Condición moderada VS = 1 el rendimiento medio es de 0,3-0,5 kg de aceitunas/m^3 en árboles maduros (de 10 a 15 años).

Condición mala VS = 0 el rendimiento medio es de <0,3 kg de aceituna/m^3 en árboles maduros (de 10 a 15 años).

13.2.7. Variabilidad del comportamiento de las plantas a lo largo del surco

La variabilidad del desempeño de los árboles a lo largo de la hilera representa un buen indicador visual de las propiedades y la salud del suelo. En particular, la variabilidad lineal en el rendimiento del árbol se relaciona a menudo con la disponibilidad de agua y nutrientes, así como con la textura del suelo.

Los suelos en buen estado poseen buena estructura y porosidad, además de una zona radical profunda y bien aireada. Estas condiciones permiten el movimiento irrestricto del aire y el agua hacia y a través del suelo, el desarrollo y la proliferación de raíces superficiales (alimentadoras), y una respiración y transpiración irrestrictas.

La variabilidad espacial del comportamiento de los árboles a lo largo de la hilera también resulta un indicador útil. Dicha variabilidad destaca aquellos árboles que tienen un rendimiento inferior al de la mayoría, lo cual permite una investigación específica sobre las causas de sus dificultades y las posibles medidas correctivas. El rendimiento se puede evaluar mediante la información de la tabla 85.

Tabla 85. Puntajes visuales para la variabilidad del desempeño del árbol a lo largo de la hilera (Shepherd et al., 2008).

Puntuación visual (VS)	Variabilidad en el comportamiento de los árboles a lo largo de la hilera
2 (Bueno)	El comportamiento del árbol es bueno y uniforme a lo largo de la hilera
1 (Moderado)	El comportamiento del árbol es moderadamente variable a lo largo de la fila
0 (Deficiente)	El comportamiento del árbol es extremadamente variable a lo largo de la hilera

Para realizar estas evaluaciones en otros árboles o arbustos más importantes para la agricultura de la región, debe realizarse un estudio previo en plantas con diferente desarrollo. Estas plantas sirven inicialmente de elemento de comparación. A medida que se emplea el método, se preparan guías para identificar plantas con condiciones buenas, moderadas o pobres.

La evaluación organoléptica es un método práctico, rápido y económico de realizar. Por lo tanto, todo especialista agrícola debe tener un dominio, aunque sea general, del mismo.

No obstante, no debe hacerse una valoración excesiva de sus posibilidades, ya que en el método influyen multitud de factores. Dichos factores deben ser de dominio de los especialistas que lo utilicen para obtener buenos resultados.

La experiencia y la dedicación de los especialistas para dominarlo son esenciales. Este requisito no se diferencia de las exigencias cuando se utilizan métodos de análisis de laboratorio, y bien realizado, su resultado no es demasiado diferente entre ellos.



BIBLIOGRAFÍA

Alaoui, A. (2018). *Visual Soil Quality Assessment Manual v2: Assessment of soil and plant quality for the season 2018* (p. 49). iSQAPER. www.isqaper-is.eu/documents

Alaoui, A., & Schwilch, G. (2016). *Soil quality and agricultural management practices inventory at case study sites* (Vol. 1).

Arévalo, A., Urrea, J. L., & Arango, J. (2018). *Cómo medir la salud del suelo de manera simple y a bajo costo?* (p. 10). Programa de Investigación de CGIAR (CRP).

Astier-Calderón, M., Maass-Moreno, M., & Etchevers-Barra, J. (2002). Derivación de indicadores de calidad de suelos en el contexto de la agricultura sustentable. *Agrociencia*, *36*(5), 605-620.

Barham, P., Begg, E., Foote, S., Henderson, J., Jansen, P., Pert, H., Scott, J., Wong, A., & Woolner, D. (2006). *Guidelines for soil description Fourth edition* (Fourth). Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Bautista-Cruz, A., Barra, J. E., Castillo, R. F. del, & Gutiérrez, C. (2004). La calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas*, *13*(2), 90-97.

Benites-Jump, J. R. (2001). Indicadores de la calidad de la tierra y su uso para la agricultura sostenible y el desarrollo rural. *Actas del taller de Trabajo*, 1-6.

Benites-Jump, J. R. (2015). *Evaluación visual del suelo Guía de Campo*. https://suelosandinos.org/wp-content/uploads/2015/02/evaluacic3b3n-visual-de-suelos-j-benites.pdf

Bernal-Fundora, A., & Hernández-Jiménez, A. (2017). Influencia de diferentes sistemas de uso del suelo sobre su estructura. *Cultivos Tropicales*, *38*(4), 50-57.

Blanco-Sepúlveda, R. (2009). La relación entre la densidad aparente y la resistencia mecánica como indicadores de la compactación del suelo. *Agrociencia*, *43*(3), 231-239.

Bunning, S., McDonagh, J., & Rioux, J. (2016). *Manual for Local Level Assessment of Land Degradation, Sustainable Land Management and Livelihoods. Part 2 - Field methodology and tools* (p. 183). FAO.

Cairo-Cairo, P., & Fundora-Herrera, O. (2005). *Edafología 2da parte*. Editorial Félix Varela.

Carlesi, S., & Barberi, P. (2017). *Las malas hierbas como bioindicadores del suelo: Cómo muestrear y usar los datos* [Report]. Research Institute of Organic Agriculture (FiBL) & Scuola Superiore Sant'Anna (SSSA), Investigación y Formación Agrarias (CIFA). https://orgprints.org/id/eprint/32467/

Casas Castro, A., & Casas Barba, E. (1999). *El análisis de suelo-agua-planta y su aplicación en la nutrición de los cultivos hortícolas en la zona del sureste peninsular*. Caja Rural De Almería.

Chavarría-Aráuz, F. J. (2011). *Curso de Edafología 1*. Universidad de Extremadura.

Ciancaglini-Prosap, N. (2017). *R-001-Guía para la determinación de textura de suelos por método organoléptico, 10*. INTA. http://www.prosap.gov.ar/Docs/INSTRUCTIVO_R001_Guíaparaladeterminacióndetexturadesuelospormétodoorganoléptico.pdf

Dorronsoro, C. (2010). *Introducción a la edafología*. Revista Virtual Pro. http://www.edafologia.ugr.es

Etchevers Barra, J. D. (1999). Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. *Terra Latinoamericana*, *17*(3), 209-219.

Fadda, G., Fernández, F., & Corbella, R. (2017). *Morfología del suelo Guía de estudio* (p. 16). Cátedra de Edafología Facultad de Agronomía y Zootecnia Universidad Nacional de Tucumán.

FAO. (1989). *Metodología provisional para la evaluación de la degradación de los suelos*. FAO-PNUMA-UNESCO.

FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos* (IV). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf

FAO. (2015a). *Las funciones del suelo*. http://www.fao.org/resources/infographics/infographics-details/es/c/294325/

FAO. (2015b). *Levantamiento de suelos «Propiedades Químicas»*. https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/

FAO. (2020). *Soil Testing Methods-Global Soil Doctors Programme-A farmer-to-farmer training programme*. Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome. https://doi.org/10.4060/ca2796en

Fertilab. (2014). *El color del suelo como Indicador de su Fertilidad* (p. 3). https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/El%20Color%20del%20Suelo%20como%20Indicador%20de%20su%20Fertilidad.pdf

García-Navarro, A. (2004). *Gestión y conservación del suelo. Lección 3. Degradación física. Dificultades para la nacencia*. Área de Edafología y Química Agrícola, Fac. de Ciencias, Universidad de Extremadura.

Garrido Valero, S. (1994). *Interpretación de análisis de suelos, N 5/93* (5/93HD; p. 40). Instituto Nacional de Reforma y Desarrollo Agrario. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Gómez-Giraldo, J. C. (2013). *Manual de Prácticas de Campo y del Laboratorio de Suelos* (p. 103). Centro Agropecuario «La Granja» Espinal-Tolima.

Hernández, A. (2019). Degradación de las propiedades de los suelos ferralíticos rojos lixiviados de la «llanura roja de la habana», por el cultivo continuado. Algunos resultados sobre su Mejoramiento. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*, *9*(3), 18-22.

Hernández-Álvarez, J. (2011). *Imágenes de las Deficiencias de Nutrientes en Plátano y Banano*.

Hernández-Jiménez, A., Bojorquez-Serrano, I. B., & Morell-Planes, F. (2010). *Fundamento de la estructura de los suelos tropicales*. Universidad Autónoma de Nayarit, Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. https://books.google.com.cu

Herrera-Altuve, J. A., Ramírez-Santoyo, L. F., Guzmán-Mendoza, R., & Núñez-Palenius, H. G. (2021). *Evaluación de la fertilidad del suelo y la nutrición de los cultivos*. Ed. Científico Técnica. https://www.libreriavirtual.cu/evaluacion-de-la-fertilidad-de-los-suelos-y-los-cultivos

Ibáñez, J. J. (2007). *Profundidad efectiva y Capacidades de Uso del Suelo (Régulo León Arteta)—Un Universo invisible bajo nuestros pies*. https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/03/14/61286

Infocampo. (2019). *Cómo reconocer qué nutrientes les faltan a tus plantas*. Infocampo. https://www.infocampo.com.ar/como-reconocer-que-nutrientes-les-faltan-a-tus-plantas/

INTAGRI. (2017). *Diagnóstico Visual de Deficiencias Nutrimentales | Intagri S.C.* [Serie Nutrición Vegetal Núm. 97.]. INTAGRI. https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/Diagnostico-Visual-de-Deficiencias-Nutrimentales

IUSS Grupo de Trabajo WRB. (2007). *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007*. FAO.

Jaramillo, D. F. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/70085

Klein, C., & Hurlbut, C. S. (1998). *Manual de Mineralogía: I y II* (cuarta). Editorial Reverté.

Legaz, F., Serna, M., & Primo, E. (1996). *Sintomatologías de las Deficiencias y Excesos Minerales en los Cítricos* (p. 10). Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias.

León-Arteta, R. (2007). *Carbonatos del Suelo: Curso de Diagnóstico de Suelos en Campo* [Madri+d Blogs]. Un Universo invisible bajo nuestros pies-Los suelos y la vida. https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2007/05/01/64693

López-Falcón, R. (2002). *Degradación del suelo, causas, procesos, evaluación e investigación* (SC-75; p. 273). Centro Interamericano De Desarrollo E Investigación Ambiental Y Territorial.

MAONIC. (2016). *Manual Técnico Agroecológico* (p. 70). Movimiento de Productoras y Productores Agroecológicos y Orgánicos de Nicaragua. https://amecafe.org.mx/wp-content/uploads/2017/10/MANUAL-TECNICO-MAONIC.pdf

Martín-Alonso, N. J., & Abad-Orta, I. (2011). Generalidades más importantes de las Ciencias del Suelo. En *El Suelo su Fertilidad y Manejo* (pp. 10-20). Universidad Agraria de la Habana.

Moebius-Clune, B. N., Moebius-Clune, D. J., & Cugino, B. K. (2016). *Comprehensive Assessment of Soil Health—Training Framework Manual* (3ra ed.). Cornell University. https://www.css.cornell.edu/extension/soil-health/manual.pdf

Moreno, H., Blanquer, J. M., & Ibáñez, S. (2010). *El color del suelo* (p. 7). Universidad Politécnica de Valencia. https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/aebbe2d4-75bf-4585-bc6b-9d241fba96e1/content

Nafiu, A. K., Abiodum, M. O., Okpara, I. M., & Chude, V. O. (2012). Soil fertility evaluation: A potential tool for predicting fertilizer requirement for crops in Nigeria. *African Journal of Agricultural Research*, *7*(47), 6204-6214. https://doi.org/10.5897/ajar12.210

Noellemeyer, E., Quiroga, A., Fernandez, R., Frasier, I., Alvarez, C., Álvarez, L., Leizica, E., & Gómez, F. (2021). *Guía para la evaluación visual de la calidad del suelo. info: Ar-repo/semantics/informe técnico. La Pampa: Cátedra de Edafología y Manejo de Suelos, Universidad Nacional de La Pampa* (1a ed. Mejorada). Editorial de la Universidad Nacional de La Pampa.

Olivera Sánchez, C., & Vellaneda-Torres, L. M. (2018). *Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales: Construcción participativa del diagnóstico de suelos*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO. http://hdl.handle.net/20.500.12324/35025

Ortiz, F. (s/f). *Presentación Serpentinita*. Scribd. https://es.scribd.com/presentation/619040780/Presentacion-Serpentinita

Osorio, S. (2010). *Apuntes de geotecnia con énfasis en laderas*. http://geotecnia-sor.blogspot.com/2010/11/consistencia-del-suelo-limites-de_19.html

Osorio-Rivera, M. A., López-Sampedro, S. E., Haro-Altamirano, J. P., & Carrillo-Barahona, W. E. (2023). *El suelo. Principios y análisis*. Editorial Madero.

Pellegrini, A. (2019). *Apunte de Edafología TEMA 3—Textura y Color del Suelo—EDAFOLOGÍA* [Curso Edafología, Facultad De Ciencias Agraria Y Forestales]. U.N.L.P. Studocu. https://www.studocu.com/es-mx/document/instituto-tecnologico-de-ursulo-galvan/estadistica/tema-3-textura-y-color-util/86611210

Pommeresche, R., & Hansen, S. (2017). *Examinando la actividad de los nódulos en raíces de leguminosas* (FertilCrop). www.fertilcrop.net

PortalFruticola.com. (2019, marzo 8). *Guía de síntomas de deficiencias de micronutrientes en las plantas*. https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/03/08/guia-de-sintomas-de-deficiencias-de-micronutrientes-en-las-plantas/

Rodrigo-Ortega, B., & Martínez, M. L. (2022). Qué nos indica la textura de un suelo y cómo determinarla—Mundoagro. *Mundagro capacita*. https://mundoagro.io/cl/que-nos-indica-la-textura-de-un-suelo-y-como-determinarla/

Roundy. (2023). *Rill Erosion and Gully Erosion Explained—NativeSeed Group*. NativeSeedGroup. https://nativeseedgroup.com/resources/blog/rill-erosion-and-gully-erosion-explained

Salgado, A., & Guijarro Calleja, S. (2012). El secreto de los paisajes: Formación de suelos. *El secreto de los paisajes*. https://elsecretodelospaisajes.blogspot.com/2012/05/formacion-de-suelos.html

Sastre-Rodríguez, B. E., Antón Iruela, A., & Bienes-Allas, R. (2008). *¿Cómo evaluar la calidad de tu suelo?* (p. 36). Proyecto ACCIÓN del Grupo Operativo LEÑOSOST. https://www.comunidad.madrid/sites/default/files/doc/medio-ambiente/guia_como_evaluar_la_calidad_de_tu_suelo.pdf

Schoeneberger, P. J., Wysocki, D. A., Benham, E. C., & Broderson, W. D. (2002). *Field book for describing and sampling soils* (version 2.0). Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center. https://books.googleusercontent.com

SERFOR. (2016). *Guía Rápida SERFOR para el Levantamiento de Suelos en Campo*. Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestres. Studocu. https://www.studocu.com/co/document/servicio-nacional-de-aprendizaje/mecanica-de-suelos/guia-rapida-para-el-levantamiento-de-suelos-en-campo/37730966

Servicio Agrícola Ganadero. (2013). *Agricultura orgánica nacional, bases técnicas y situación actual* (p. 157). Ministerio de Agricultura. Servicio agrícola y ganadero Chile.

Shepherd, T. G. (2010). *Visual indicators of environmental performance under cropping A guide* (p. 92). FAO. https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/328796/

Shepherd, T. G., Stagnari, F., Pisante, M., & Benites-Jump, J. (2008). *Visual Soil Assessment (VSA) | FAO*. FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/328546/

Soil Science Division Staff. (2017). *Soil survey manual* (C. Ditzler, K. Scheffe, & H. C. Monger, Eds.). Government Printing Office. https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/cc50cd52-65cd-42b8-ae87-d18518083ce8

Torri, S. A. (2024). *Muestreo de suelos*. https://es.slideshare.net/Shvana/muestreo-de-suelos-5277423

Torri, S. A., Cabello, M. J., & Lavado, R. J. (2006). Diagnóstico de la calidad de los suelos y su fertilidad para el pecán. En *Capítulo 4* (p. 21). Universidad de Buenos Aires. https://www.academia.edu/34681824/Diagn%C3%B3stico_de_la_calidad_de_los_suelos_y_su_fertilidad_para_el_cultivo_de_pec%C3%A1n

USDA. (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo* (S. VASST & A. SNOECK, Eds.). US Department of Agriculture.

USDA. (2014). *Claves para la Taxonomía de Suelos*. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Conservación de Recursos Naturales.

Valdivia, R., Pilarte, F., & Espinoza, A. (2019). *Evaluación Visual de Suelos* (Instructivo No. 2; p. 28). Catholic Relief Services Programa para Nicaragua.

Vargas, A., Arias, F., Serrano, E., & Arias, D. (2007). Toxicidad de Boro en plantaciones de banano (Musa AAA): En Costa Rica. *Agronomía Costarricence*, *31*(2), 21-29.

Vargas-Rodríguez, D. F., Cerón-González, A., Olivares-Martínez, L. D., & Bobadilla-Ballesteros, M. D. (2020). *Manual de Evaluación de Suelos* (p. 47). 3er. Concurso Mexicano de Evaluación de Suelos, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-nacional-autonoma-de-mexico/ciencia-del-suelo/manual-3cmes2020/103305861

Zita-Fernández, A. (2021). *Usos del Suelo*. https://www.todamateria.com/suelo/

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Modelo de unidades del relieve y sus principales procesos relacionados a la morfogénesis y a la edafogénesis

Figura 2 Formas del relieve

Figura 3 Factores y procesos formadores en la formación del perfil del suelo

Figura 4 Edafogénesis: proceso de formación del suelo

Figura 5 Componentes de la salud del suelo

Figura 6 Ejemplo de calicata

Figura 7 Ejemplo de perfil que se puede aprovechar para evaluar las propiedades de los suelos

Figura 8 Extracción de la muestra de suelos para el método EVS.

Figura 9 Prueba de los fragmentos

Figura 10 Láminas para evaluar la estructura del suelo mediante la prueba de fragmentos

Figura 11 Evaluación de la presencia de terrones en los suelos

Figura 12 Ejemplo de excavación para realizar estudios de las características del suelo

Figura 13 Ejemplo de encharcamiento o escurrimiento superficial

Figura 14 Ejemplo de costra

Figura 15 Evaluación del encostramiento para ser utilizado en EVS

Figura 16 Valores de la erosión para utilizar en la EVS

Figura 17 Ejemplo de varios tipos de erosión

Figura 18 Ejemplo de erosión por surco y erosión laminar

Figura 19 Ejemplo de un barranco (o cárcava) causado por erosión

Figura 20 Evaluación de la erosión en el método EVS

Figura 21 Afloramientos rocosos

Figura 22 Relación porcentual para fragmentos gruesos,

moteados, concreciones y otros

Figura 23 Ejemplo de abundante pedregosidad superficial

Figura 24 Grietas superficiales en el suelo

Figura 25 Roca caliza como material de origen en suelos

Figura 26 Ejemplo de serpentinita como material de origen del suelo

Figura 27 Suelo húmico calcimórfico típico formado a partir de marga

Figura 28 Partículas que componen el suelo

Figura 29 Separación de la tierra fina

Figura 30 Inicio de la prueba del lanzamiento de la bola para determinar textura

Figura 31 Evaluación de la prueba del lanzamiento de la bola para determinar textura

Figura 32 Prueba de compresión de la bola para determinar textura

Figura 33 Prueba para determinar las proporciones aproximadas de arena, limo y arcilla

Figura 34 Inicio de la prueba de la bola de barro

Figura 35 Final de la prueba de la bola de barro para determinar la textura del suelo de fina a gruesa

Figura 36 Pasos a, b y c del método de la cinta.

Figura 37 Pasos d y e del método de la cinta

Figura 38 Inicio de la prueba de la manipulación

Figura 39 Continuación de la prueba de la manipulación

Figura 40 Final de la prueba de la manipulación

Figura 41 Inicio de la prueba de sacudimiento de la bola

Figura 42 Continuación de la prueba de sacudimiento de la bola

Figura 43 Inicio de la prueba de desmenuzamiento en seco

Figura 44 Final de la prueba de desmenuzamiento

Figura 45 Clasificación de la estructura de acuerdo a su grado de desarrollo

Figura 46 Estructuras en suelos desagregados

Figura 47 Principales tipos de estructura de suelos agregados

Figura 48 Prueba de la estabilidad de un agregado

Figura 49 Prueba de estabilidad de los agregados en húmedo

Figura 50 Diferentes grados de consistencia de los suelos

Figura 51 Clasificación de la consistencia del suelo en seco al aire

Figura 52 Método para determinar la adhesividad de un suelo

Figura 53 Clasificación de la plasticidad del suelo al tacto

Figura 54 Ejemplo de medición táctil y con un penetrómetro de la resistencia del suelo

Figura 55 Perfil del suelo indicando la capa compactada

Figura 56 Presencia de piso (o pie) de arado

Figura 57 Tamaños de poros en distintos tipos de suelos

Figura 58 Base para la evaluación EVS de la porosidad del suelo

Figura 59 Esquema para la estimación de los poros, tomando en cuenta su abundancia y tamaño

Figura 60 Ejemplo de diferencia en color de los horizontes del suelo

Figura 61 Modo de observar el color en un agregado de un suelo

Figura 62 Elementos para la evaluación EVS del color del suelo

Figura 63 Ejemplo de una hoja de la tabla de colores de Munsen

Figura 64 Elementos para la evaluación EVS de los moteados en el suelo

Figura 65 Horizontes genéticos principales en un perfil de suelo

Figura 66Topografía entre límites de horizontes

Figura 67Ejemplo de delimitación de un horizonte de un suelo.

Figura 68Presencia de sales en los suelos

Figura 69 Evaluación organoléptica de la salinidad del suelo.

Figura 70 Masas de carbonato cálcico secundario (en el horizonte cálcico de un Aridisol

Figura 71 Foto de un suelo moderadamente sano (a la derecha) y de un suelo con problemas (a la izquierda)

Figura 72 1-Cobertura verde de leguminosas y 2- Cobertura muerta o mulch

Figura 732 Elementos para evaluación EVS de la cobertura del suelo

Figura 74 Relación entre la cobertura del suelo y la aparición de costras superficiales

Figura 75 Evaluación EVS del contenido de lombrices

Figura 76 Afectaciones al sistema radical en suelos poco profundos

Figura 77 Ejemplo de profundidad efectiva en un suelo

Figura 78 Forma de observar el tamaño y abundancia de las raíces

Figura 79 Condiciones del suelo en base a la profundidad

Figura 80 Ejemplos de diferentes rasgos biológicos de los suelos

Figura 81 Diagrama que ilustra la relación entre el crecimiento y la concentración nutrimental de un cultivo

Figura 82 Principales síntomas visuales de deficiencia y excesos de nutrientes en las plantas (láminas de diferentes autores).

Figura 83 Posición del síntoma visuales de nutrientes en la planta

Figura 84 Síntomas de deficiencias de nutrientes en el cultivo del banano

Figura 85 Síntomas de deficiencias de nutrientes en el cultivo de la papa

Figura 86 Síntomas de deficiencias de nutrientes en el cultivo del tomate.

Figura 87 Síntomas de deficiencias de nutrientes en el cultivo del maiz

Figura 88 Síntomas de deficiencia nutricional en diferentes órganos de las plantas

Figura 89 Claves para la identificación de síntomas de deficiencia visuales

en hojas

Figura 90 Clorosis de las hojas de maíz por deficiencia de Fe en un suelo alcalino

Figura 91 Frutos de cítricos normales (izquierda) y con efecto toxico por exceso de K

Figura 92 Hojas de plantas de banano (*Musa* AAA) con diferente intensidad de síntomas propios de una toxicidad alta de boro

Figura 93 Nódulos con bacterias de rizobio activas en diferentes plantas

Figura 94 Ejemplos de nódulos que no fijan N de la atmósfera

Figura 95 Diferentes comportamientos del cultivo del maíz

Figura 96 Comparación visual de plantas de maiz con diferente altura

Figura 97 Evaluación del suelo en base a color de las hojas de maiz

Figura 98 Fotos para evaluar la salud del suelo en base al desarrollo de las raíces de plantas de maiz

Figura 99 Fotos para evaluar la salud del suelo en base a la presencia de arvenses

Figura 100 Fotos para evaluar la salud del suelo en base al tamaño de las mazorcas

Figura 101 Fotos para evaluar la salud del suelo en base a la ocurrencia de encharcamiento

Figura 102 Evaluación del relieve superficial en pastos

Figura 103 Láminas para evaluar la calidad de un pastizal

Figura 104 Lámina para determinar los % de pastos

Figura 105 Láminas para evaluar la composición botánica de un pastizal

Figura 106 Láminas para evaluar el color del pasto y desarrollo relativo a parches urinarios

Figura 107 Láminas para evaluar la longitud y densidad de las raíces de pastos

Figura 108 Láminas para evaluar el área de suelo desnudo en el pastizal

Figura 109 Láminas para evaluar el estrés por sequía en el pastizal

Figura 110 láminas para evaluar el encharcamiento superficial en el pastizal

Figura 111 Condición del suelo en relación a la presencia de arvenses

Figura 112 Esquema del sistema radical de un árbol

Figura 1132 Evaluación de la erosión del suelo en árboles frutales

Figura 114 Ejemplo de evaluación del volumen de la copa de plantas de olivo

Figura 115 Ejemplo de evaluación de la densidad de la copa de plantas de olivo

Figura 116 Láminas para la evaluación de la longitud de los brotes

Figura 117 Láminas para la evaluación de la floración

Figura 118 Láminas para la evaluación de la floración

Figura 119 Láminas para la evaluación visual del rendimiento

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Conjunto de indicadores físicos, químicos y biológicos propuesto para monitorear los cambios que ocurren en el suelo

Tabla 2 Condiciones climáticas pasadas

Tabla 3 Clasificación de la vegetación natural o semi natural

Tabla 4 Clasificación de usos del suelo

Tabla 5 Clasificación del uso de la tierra

Tabla 6 Indicadores que caracterizan la influencia humana

Tabla 7 Jerarquía de las geoformas principales

Tabla 8 Clases de gradientes de la pendiente

Tabla 9 Factores que determinan la variabilidad de las propiedades de un suelo

Tabla 10 Tarjeta de la evaluación y cálculo de los indicadores y del índice de calidad del suelo

Tabla 11 Evaluación del encharcamiento superficial para EVS

Tabla 12 Estimación simple de la conductividad hidráulica en base a un flujo 3-D

Tabla 13 Estimación simple de la conductividad hidráulica en base a un flujo 1-D

Tabla 14 Clasificación de los atributos del encostramiento

Tabla 15 Evaluación de la intensidad de la erosión

Tabla 16 Clases de erosión acelerada

Tabla 17 Clasificación recomendada de afloramientos rocosos

Tabla 18 Clases de pedregrosidad superficial

Tabla 19 Evaluación porcentual de la cobertura de fragmentos gruesos y artefactos

Tabla 20 Clasificación de fragmento gruesos superficiales en términos de porcentaje de cobertura superficial

Tabla 21 Clasificación de las grietas superficiales de acuerdo con su ancho, profundidad y separación

Tabla 22 Posibles materiales parentales de los suelos

Tabla 23 Clasificación Internacional de las partículas del suelo por su diámetro

Tabla 24 Propiedades del suelo asociadas con la textura

Tabla 25 Método de campo en la determinación de la clase textural

Tabla 26 Guía para la determinación textural

Tabla 27 Relación entre la clase textural y la calificación del suelo

Tabla 28 Clasificación del grado de desarrollo de la estructura

Tabla 29 Evaluación de la estabilidad de los agregados

Tabla 30 Consistencia de la masa de suelo en húmedo

Tabla 31 Consistencia de los suelos húmedos

Tabla 32 Consistencia del suelo en seco

Tabla 33 Clasificación de la consistencia de los suelos en seco

Tabla 34 Para definir por tacto la plasticidad de un suelo

Tabla 35 Determinación de la clase textural en el campo

Tabla 36 Colores del suelo y su expresión en la notación Munsen

Tabla 37 Clasificación de la abundancia de moteados en el suelo

Tabla 38 Clasificación de los moteados individuales

Tabla 39 Clasificación del contraste de los moteados

Tabla 40 Clasificación del límite entre el moteado y la matriz del suelo

Tabla 41 Distinción entre límites de horizontes

Tabla 42 Topografía entre límites de horizontes

Tabla 43 Evaluación del Horizonte A o capa arable del suelo

Tabla 44 Evaluación organoléptica de la densidad aparente

Tabla 45 Clasificación de los fragmentos rocosos y artefactos por su tamaño

Tabla 46 Clasificación de la intemperización de los fragmentos rocosos

Tabla 47 Clasificación de los revestimientos de acuerdo a su cantidad

Tabla 48 [a] Guía gráfica para estimar el contenido de humedad de suelos de diferente textura, mediante los sentidos y la apariencia

Tabla 48 [b] Guía gráfica para estimar el contenido de humedad de suelos de diferente textura, mediante los sentidos y la apariencia

Tabla 49 Grado de repelencia al agua

Tabla 50 Clasificación de la Gleyzación por la profundidad de aparición

Tabla 51 Calificación de las características visuales de las sales en base a cobertura y espesor de la capa salina

Tabla 52 Clasificación de las características de arena blanqueada

Tabla 53 Respuesta del suelo al ácido clorhídrico

Tabla 54 Clasificación de las formas de los carbonatos secundarios

Tabla 55 Evaluación de los olores del suelo para ser utilizada en la evaluación de su salud

Tabla 56 Indicadores para evaluar la profundidad de los horizontes húmicos

Tabla 57 Evaluación de la cantidad de lombrices

Tabla 58 Evaluación de la profundidad efectiva (Horizonte A + B)

Tabla 59 Clasificación del tamaño y la profundidad potencial de las raíces

Tabla 60 Estimación del grado de descomposición y humificación de la turba en el campo

Tabla 61 Clasificación de los rasgos biológicos

Tabla 62 Métodos o criterios visuales sencillos para la identificación de los procesos de degradación de los suelos

Tabla 63 Tarjeta para evaluar la posible pérdida de nutrientes en el suelo

Tabla 64 Plantas indicadoras de deficiencias de nutrientes

Tabla 65 Evaluación de la fijación biológica simbiótica de N atmosférico

Tabla 66 Categorización de la nodulación en leguminosas

Tabla 67 Tarjeta de indicadores visuales para la Evaluación del comportamiento de las plantas de maiz y comparación entre los resultados del suelo y de las plantas

Tabla 68 Calificación visual de la variabilidad en el comportamiento del cultivo a lo largo del surco

Tabla 69 Calificación visual de la afectación de las raíces por enfermedades

Tabla70 Relación de especies de arvenses y las características del suelo donde se desarrollan mejor.

Tabla 71 Tabla de interpretación para determinar el grado de infestación por arvenses

Tabla 72 Evaluación visual del rendimient del cultivo en maiz

Tabla 73 Evaluación de la salud del suelo por la variación del costo de producción del cultivo

Tabla 74 Velocidades y clases de Infiltración

Tabla 75 Tarjeta para la evaluación visual de la calidad del suelo dedicados a pastoreo en terrenos planos y ondulados

Tabla 76 Tarjeta de la evaluación visual de la salud y calidad de los suelos y de los pastizales de acuerdo al comportamiento de las plantas

Tabla 77 Evaluación de la tasa de crecimiento y rebrote de los pastos

Tabla 78 Puntuación visual de los nódulos en plantas de la familia Fabaceae

Tabla 79 Evaluación visual de la utilización de los pastos

Tabla 80 Para evaluación de la capacidad de carga de ganado y uso de fertilizantes

Tabla 81 Evaluación del costo de producción para mantener la capacidad de carga ganadera

Tabla 82 Tarjeta de la evaluación de la calidad y salud de los suelos en plantaciones de frutales

Tabla 83 Puntuaciones visuales para la profundidad potencial de enraizamiento en árboles

Tabla 84 Tarjeta de la evaluación visual de la salud y calidad de los suelos y de los frutales de acuerdo al comportamiento de las plantas de olivo

Tabla 85 Puntajes visuales para la variabilidad del desempeño del árbol a lo largo de la hilera

CubaFruta es un programa de cooperación que contribuye a garantizar la soberanía alimentaria en Cuba y a mejorar la gestión de la cadena de valor de la fruta en la provincia de Matanzas y es financiado por la Cooperación Italiana y ejecutado por la Agencia Italiana de Cooperación para el Desarrollo (AICS), junto al Ministerio de Agricultura (MINAG), el Grupo Empresarial Agrícola (GAG), el Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical y el Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia (IIIA).

Contactos:

Agencia Italiana de Cooperación para el Desarrollo (AICS)

Edificio Someillán, Calle 17 / N y O, Vedado, La Habana, Cuba.

+53 78327079

lavana.aics.gov.it

aicslavana

aics_lavana

AICS La Habana



CUBA FRUTA

Ministero degli Affari Esteri
e della Cooperazione Internazionale

AGENZIA ITALIANA
PER LA COOPERAZIONE
ALLO SVILUPPO

MINAG
MINISTERIO DE LA AGRICULTURA

GAG
GRUPO AGRÍCOLA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES PARA LA INDUSTRIA ALIMENTICIA

Financiado por la Cooperación Italiana