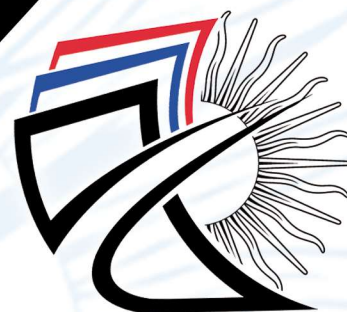




PUERTO MADERO
EDITORIAL

SUELOS: CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

Autores:

Miguel Ángel Osorio Rivera
Juan Pablo Haro Altamirano
William Estuardo Carrillo Barahona
José Hernán Negrete Costales



puertomaderoeditorial.com.ar



La Plata - Argentina

SUELOS
CARACTERIZACIÓN E
IMPORTANCIA



SUELOS

CARACTERIZACIÓN E

IMPORTANCIA

AUTORES:

Miguel Ángel Osorio Rivera
Juan Pablo Haro Altamirano
William Estuardo Carrillo Barahona
José Hernán Negrete Costales



Suelos : caracterización e importancia / Miguel Angel Osorio Rivera... [et al.].- 1a ed.-
La Plata : Juan Carlos Santillán Lima, 2022.
Libro digital, PDF/A

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-987-88-5025-2

1. Ingeniería de Suelos. 2. Medio Ambiente. I. Osorio Rivera, Miguel Angel.
CDD 631.401



Licencia Creative Commons:

Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)



Primera Edición, Mayo 2022

SUELOS
CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA
ISBN: 978-987-88-5025-2

Editado por:

Sello editorial: ©Puerto Madero Editorial Académica (J. C. Santillán Lima)
ISBN Editorial: 978-987-88
Nº de Alta: 933832

Editorial: ©Juan Carlos Santillán Lima
CUIL: 20630333971
Calle 45 N491 entre 4 y 5
Dirección de Publicaciones Científicas Puerto Madero Editorial Académica
La Plata, Buenos Aires, Argentina
Teléfono: +54 9 221 314 5902
+54 9 221 531 5142
Código Postal: AR1900

Este libro se sometió a arbitraje bajo el sistema de doble ciego (peer review)

Corrección y diseño:

Puerto Madero Editorial Académica
Diseñador Gráfico: José Luis Santillán Lima

Diseño, Montaje y Producción Editorial:

Puerto Madero Editorial Académica
Diseñador Gráfico: Santillán Lima, José Luis

Director del equipo editorial: Santillán Lima, Juan Carlos

Editor: Santillán Lima Guido Patricio

Hecho en Argentina
Made in Argentina

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento a nuestro equipo de trabajo integrado por los docentes de la Sede Morona Santiago de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo: Miguel Osorio, Juan Pablo Haro, William Carrillo y Hernán Negrete, quienes dedicaron su tiempo, conocimiento y horas en la escritura del libro.

Queremos agradecer de forma especial a nuestras familias, quienes con su apoyo y motivación han sido el pilar fundamental para que cada uno de los autores pueda cumplir a cabalidad el trabajo propuesto para desarrollar los contenidos del libro.

A nuestra querida institución, la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a las autoridades encabezadas por el PhD. Byron Vaca - *Rector*; PhD. Jenny Basantes - *Vicerrectora Académica*, MSc. Landy Ruiz *Vicerrectora Administrativa*, y, PhD. Pablo Vanegas, *Vicerrector de Investigación y Posgrado*.

A las autoridades de la Sede Morona Santiago, en especial al Ing. Alex Erazo - *Director* e Ing. Ángel Flores - *Coordinador*.

Finalmente, agradecemos de manera general a nuestros compañeros de trabajo y estudiantes, quienes nos motivan a seguir creando y generando nuevos contenidos a favor de la academia y la sociedad.





INTRODUCCIÓN

El objetivo principal de la investigación es la caracterización e importancia de los suelos; partiendo de su comprensión, análisis y entendimiento de la naturaleza, formación, propiedades, funcionalidades y dinámicas que se desarrollan dentro de su sistema. Un requerimiento fundamental para alcanzar este objetivo es estudiar íntegramente la morfología de los suelos y demás características obtenidas a través de la experiencia analítica, debido a que sus propiedades son variables en el tiempo y en el espacio.

Es importante que la caracterización, descripción y definición de la importancia del suelo sea desarrollada exhaustivamente ya que sirve como base para la clasificación de suelos y la evaluación in situ de los diferentes procesos que se desarrollan; así como también para realizar las interpretaciones sobre la génesis y funciones medioambientales que cumple el recurso edáfico en favor de las especies.

El Proceso de caracterización es fruto de un análisis y recopilación de resultados en forma sistémica y organizada dentro del cual se analiza a) la definición, perfil y estructura del suelo ,el tipo de suelo, textura de suelo su clasificación característica y su composición, b) el manejo y conservación del suelo con temáticas de principios y prácticas de la conservación del suelo el agotamiento y procesos de compost; c) fertilizantes químicos su producción clasificación y grados de los fertilizantes; d) el agua en el suelo con los temas de fuerzas de retención y propiedades químicas del agua; e) el estudio del organismo y materia orgánica del suelo con los temas de organismos del suelo y materia orgánica; f) minerales del suelo como su alteración migración y ciclos de los minerales en el suelo, así como su evolución y posesos genéticos generales; g) las propiedades del suelo con los temas de nomenclatura de horizontes , horizontes diagnósticos, así como sus propiedades específicas de los suelos.

Los suelos son afectados por diversas actividades antropogénicas, naturales e industriales resultantes de estos procesos son el desgaste, la pérdida o reducción de sus funciones, afectando directamente al desarrollo del consorcio edáfico en general. Para prevenir esta degradación de suelos y plantear aspectos de rehabilitación potencial de suelos degradados se requiere datos de edáficos confiables, los mismos que servirán de insumo para el diseño de sistemas de uso de tierra y prácticas de manejo de suelos, vinculados entre sí para lograr un mejor entendimiento del desarrollo del suelo y el medio ambiente.

El presente libro está dirigido a estudiantes universitarios de grado y posgrado, principalmente para las áreas de Ciencias Ambientales y Ciencias Agronómicas. Los contenidos se constituyen en una guía para el estudiante, donde se pueden realizar consultas de temas relacionados a los diversos tipos de suelo. Además, contiene elementos básicos de los componentes de las ciencias de suelo, los cuales se deben ir adquiriendo en la universidad y aplicar en su vida profesional.

El libro consta de siete partes distribuidos en los siguientes contenidos:

- ❑ El **primer capítulo** abarca las *GENERALIDADES*, integradas por la definición, perfil y estructura del suelo, tipos de suelo, textura de suelo, pH, clasificación, características, composición y fases del suelo.
- ❑ El **segundo capítulo** contiene las *PROPIEDADES DEL SUELO*, con los temas de nomenclatura de horizontes, horizontes diagnósticos, así como sus propiedades específicas de los suelos
- ❑ El **tercer capítulo** contiene los *MINERALES Y EVOLUCIÓN DEL SUELO*, con los temas de alteración de los minerales, ciclos de los minerales, migraciones, evolución y procesos genéticos generales del suelo.
- ❑ El **cuarto capítulo** abarca el *AGUA EN EL SUELO*, con los temas de fuerzas de retención y propiedades químicas del agua
- ❑ El **quinto capítulo** trata de los *ORGANISMOS Y MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO*, con los temas de materia orgánica y organismos del suelo.
- ❑ El **sexto capítulo** describe los *FERTILIZANTES*, integrando a los fertilizantes químicos y orgánicos.
- ❑ El **séptimo capítulo** describe el *MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL SUELO*, con temáticas de principios, prácticas de la conservación del suelo, el agotamiento de los suelos y el compostaje y proceso de compost.

PRÓLOGO

El suelo, junto con el agua, son uno de los recursos naturales más importantes para el desarrollo y sustento de la vida en la tierra. El término suelo involucra el concepto edafológico (influencia de las características del suelo en el desarrollo de las plantas) y el concepto pedológico, relaciona al cuerpo natural producto de la meteorización, cuyas características son evaluadas a través de criterios establecidos en un sistema de clasificación de suelos aceptado internacionalmente.

El suelo es un sistema heterogéneo que cumple múltiples funciones como: capacidad depurativa, retención de agua y nutrientes, acumulación de carbono, entre otros. Por todo ello el suelo se han convertido en la base fundamental para la producción de alimentos requeridos para la creciente población mundial.

La pérdida de este recurso, a través de procesos naturales como la erosión eólica e hídrica y antropogénica producto de las malas prácticas agropecuarias, traen como consecuencia problemas ambientales que actualmente afronta la humanidad. Para evitar estos inconvenientes se debe aplicar buenas prácticas agrícolas que ayuden a mantener los suelos sanos y saludables, ya que son la clave para una verdadera seguridad alimentaria y un futuro sostenible.

Es importante comprender el efecto de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo para poder evaluar su cantidad y calidad. Con ello podremos entender la capacidad de funcionamiento dentro de un ecosistema natural o manejado y a su vez conocer la interacción entre la productividad de plantas y animales en el contexto de sistemas productivos desarrollados en distintos ambientes ecológicos. Para entender de mejor forma el presente libro se convierte en una herramienta importante para estudiantes de pregrado, posgrado y comunidad científica, interesados en implementar acciones para un correcto manejo y uso sostenible de los suelos.

Sin duda el presente libro es un aporte importante para la caracterización de los suelos de nuestro país ya que son un componente clave en los procesos dirigidos a asegurar la sostenibilidad ambiental, social y económica. Además, pone de manifiesto ideas, doctrinas y conceptos sobre lo que representa el suelo para la población en general y a través de algunos ejemplos busca animar a los lectores e interesarles por la conservación de este recurso, en razón de que toda la vida en el planeta se desarrolla sobre el suelo.

Marco Rodríguez Llerena

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I: GENERALIDADES.....	
1.1. DEFINICIÓN	1
1.2. EL PERFIL Y LOS HORIZONTES DEL SUELO.....	1
1.3. ESTRUCTURA DEL SUELO	2
1.3.1. <i>Clases y tipos de estructura del suelo</i>	6
1.4. TIPOS DE SUELO	9
1.4.1. <i>Suelos de climas húmedos</i>	10
1.4.2. <i>Suelos de climas húmedos</i>	10
1.4.3. <i>Suelos de climas templados</i>	11
1.5. TEXTURA DE SUELO	11
1.6. POROSIDAD SUELO.....	13
1.7. COLOR	13
1.8. POTENCIAL DE HIDRÓGENO - pH	14
1.9. CLASIFICACIÓN DE SUELOS	15
1.9.1. <i>Suelos orgánicos</i>	16
1.9.2. <i>Suelos de baja evolución condicionados por el material originario</i>	16
1.9.3. <i>Suelos de baja evolución condicionados por la topografía</i>	17
1.10. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS	18
1.10.1. <i>Suelos Vertisoles (Sonzocuite)</i>	19
1.10.2. <i>Suelos Entisoles</i>	20
1.10.3. <i>Suelos Inceptisoles</i>	21
1.10.4. <i>Suelos Mollisoles</i>	22
1.10.5. <i>Suelos Alfisoles</i>	23
1.10.6. <i>Suelos Ultisoles</i>	24
1.10.7. <i>Suelos Oxisoles</i>	25
1.10.8. <i>Suelos Histosoles</i>	26
1.11. COMPOSICIÓN Y FASES DEL SUELO	28

1.11.1. <i>Partículas minerales</i>	28
1.11.2. <i>Fase sólida</i>	29
1.11.3. <i>Fase líquida</i>	29
1.11.4. <i>Fase gaseosa</i>	29

CAPÍTULO II: PROPIEDADES DE LOS SUELOS31

2.1. NOMENCLATURA DE HORIZONTES, HORIZONTES DE DIAGNÓSTICO Y CLAVE PARA LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN LA LEYENDA F.A.O. 1998 ...	32
2.1.1. <i>Nomenclatura de horizontes</i>	32
2.1.2. <i>Horizontes de diagnóstico</i>	40
2.2. PROPIEDADES ESPECÍFICAS DE ALGUNOS SUELOS	79
2.2.1. <i>Propiedades de diagnóstico</i>	79
2.2.2. <i>Clave simplificada de los grupos más frecuentes en la Unión Europea</i>	88
<i>Clave aproximada de las unidades del suelo</i>	88

CAPÍTULO III: MINERALES Y EVOLUCIÓN DEL SUELO93

3.1. ALTERACIÓN DE LOS MINERALES EN EL SUELO	94
3.2. CICLOS DE LOS MINERALES EN EL SUELO	96
3.2.1. <i>El ciclo del nitrógeno en los suelos</i>	96
3.2.2. <i>El ciclo del fósforo en los suelos</i>	97
3.2.3. <i>El ciclo de potasio en los suelos</i>	98
3.2.4. <i>El ciclo del calcio en los suelos</i>	98
3.2.5. <i>El ciclo del magnesio en los suelos</i>	99
3.2.6. <i>El ciclo del hierro en los suelos</i>	100
3.2.7. <i>El ciclo del aluminio en los suelos</i>	101
3.2.8. <i>El ciclo del silicio en los suelos</i>	101
3.2.9. <i>El ciclo del sodio en los suelos</i>	102
3.3. MIGRACIONES EN EL SUELO	103
3.4. LA EVOLUCIÓN DE LOS SUELOS	105
3.4.1. <i>Factores físicos</i>	106

3.4.2. Factores biológicos.....	107
3.5. PROCESOS GENÉTICOS GENERALES EN LOS SUELOS	108
3.5.1. Procesos ligados a la humificación.....	108
3.5.2. Procesos ligados fundamentalmente a la alteración química.....	111

CAPÍTULO IV: EL AGUA EN EL SUELO 114

4.1. FUERZAS DE RETENCIÓN DEL AGUA EN EL SUELO.....	115
1.1.1. Movimientos descendentes del agua.....	115
1.1.2. Movimientos capilares ascendentes.....	116
4.2. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL AGUA.....	116
4.2.1. El intercambio iónico	116
4.2.2. Acidez del suelo - pH.....	117
4.2.3. El Potencial de óxido reducción.....	118

CAPÍTULO V: ORGANISMOS Y MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO 120

5.1. MATERIA ORGÁNICA	121
5.1.1. Compuestos húmicos.....	121
5.1.2. Tipos de humus.....	122
5.1.3. Influencia de las condiciones ambientales en el suelo.....	123
5.2. ORGANISMOS EN EL SUELO	126
5.2.1. Macrofauna edáfica.....	126
5.2.2. Microfauna edáfica	127
5.2.3. Macroflora edáfica.....	128
5.2.4. Microflora edáfica	128

CAPÍTULO VI: FERTILIZANTES 130

6.1. FERTILIZANTES QUÍMICOS (F.Q.).....	131
6.1.1. Clasificación	131
6.1.2. Producción de fertilizantes.....	132

6.1.3. Grados de los fertilizantes	133
6.2. FERTILIZANTES ORGÁNICOS (F.O)	135

CAPÍTULO VII: MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL SUELO 140

7.1. MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL SUELO	141
7.2. PRINCIPIOS DE CONSERVACIÓN DEL SUELO	141
7.3. PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DEL SUELO	144
7.4. EL AGOTAMIENTO DE LOS SUELOS	148
7.4.1. Degradación del suelo.....	148
7.4.2. Pérdida del suelo.....	150
7.5. EL COMPOSTAJE Y EL COMPOST.....	150
7.5.1. Beneficios del compostaje	152
7.5.2. Desarrollo del compostaje	152
7.5.3. Sistemas de compostaje	153
7.5.4. Parámetros del compostaje	155
7.5.5. Proceso de compostaje	155
7.5.6. Fases del compostaje.....	156
7.5.7. Monitoreo durante el compostaje.....	157
7.5.8. Aplicación del compost.....	162

BIBLIOGRAFÍA..... 164

AUTORES.....	169
MIGUEL ANGEL OSORIO RIVERA	
JUAN PABLO HARO ALTAMIRANO	
WILLIAM ESTUARDO CARRILLO BARAHONA	
JOSÉ HERNÁN NEGRETE	

*





CAPÍTULO I: GENERALIDADES

SUELOS

1.1. DEFINICIÓN

El suelo es la capa de tierra donde crecen las raíces y donde las plantas extraen el agua y el alimento que necesitan para crecer y mantenerse sanas; está formado por materiales de la roca madre mezclados con materiales orgánicos, agua, aire y organismos vivos (Van Konijnenburg, 2006). El suelo constituye el medio en el cual crecen las plantas; es capaz de aportar con los nutrientes fundamentales para su crecimiento y almacenar agua de lluvias cediéndola a las plantas a medida que la necesitan (INIA, 2015).



El proceso de formación del suelo ha sido de millones de años; sin embargo, en poco tiempo se puede degradar o perder a causa de varios factores como: prácticas agrícolas inadecuadas, sobrepastoreo en tierras frágiles, deforestación, entre otras; generando efectos graves para el suelo.

1.2. EL PERFIL Y LOS HORIZONTES DEL SUELO



Figura 1. Perfil del suelo

El perfil del suelo es un corte vertical conformado por una serie de capas denominadas “horizontes” distribuidos paralelamente, compuestos por materiales de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua; con propiedades físicas y químicas diferentes en cada horizonte. Los horizontes que conforman el perfil del suelo son:

- **Horizonte A:** de lixiviación o lavado, suele ser oscuro debido a la abundancia de materia orgánica; sin embargo, es pobre en minerales solubles. Proporciona elementos nutritivos para las plantas, y se divide en varios estratos.
- **Horizonte B:** de precipitación o acumulación, contiene gran cantidad de arcilla, suele ser de color claro por falta de materia orgánica, donde se acumulan las sales minerales disueltas provenientes del Horizonte A.
- **Horizonte C:** o de transición, constituido por la roca madre en proceso de meteorización de la roca madre subyacente. El suelo crece hacia abajo, ya que al alterarse la roca madre se incorpora al nivel C del suelo.
- **Horizonte D:** conformado por la roca madre sin alterar.

1.3. ESTRUCTURA DEL SUELO

La estructura del suelo se define por la forma en que se agrupan las partículas individuales de arena, limo y arcilla; es así que, cuando las partículas individuales se agrupan, toman el aspecto de partículas mayores, conocidas como agregados (FAO, 2021).

La estructura se caracteriza por tres propiedades: morfología, consistencia y estabilidad.



SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

La estructura del suelo es el estado del mismo, la cual resulta del análisis granulométrico de sus elementos constitutivos y de la manera como se hallan dispuestos. La evolución natural del suelo produce una estructura vertical estratificada la que se conoce como perfil, las capas que se observan se denominan horizontes y se diferencian entre sí por la dinámica interna del transporte vertical de los agregados. El transporte vertical cuenta con dos dimensiones con distinta influencia según el tipo de suelo:

1. Estado de lixiviación en el cual el agua se infiltra y penetra verticalmente desde la superficie, asestando elementos y sustancias que se depositan en el interior por el proceso de adsorción.
2. Estado de ascenso vertical por el proceso de capilaridad, desarrollado sobre todo en los climas donde alternan estaciones húmedas con estaciones secas bien definidas.

La estructura del suelo es una propiedad que continuamente está cambiando, por interacción de los factores físicos químicos, biológicos Y antrópicos que se desarrollan en el mismo como son:

- Operaciones de labranza en tierra que generan el movimiento de masas de un lugar a otro, o también la introducción de sustancias orgánicas al recurso suelo
- Acción mecánica ejercida por las raíces de los vegetales
- Variación climática, entre los períodos secos y períodos húmedos
- Acciones bioquímicas y coagulantes de ciertos iones como son el calcio, el óxido de hierro, el azufre, etc.

Por otra parte, algunos factores tienden a destruir la estructura formada como son:

- El agua proveniente de la lluvia y de los riegos en los terrenos, debido a su acción mecánica diluye las sales minerales solubles.
- Algunos cationes como el Na^+ , actúan como demoledores de la estructura en suelos alcalinos, cuyo efecto es destruir los coloides

La conformación molecular del suelo cumple un papel muy importante dentro de la interacción hidrodinámica de los suelos cultivados.

Tabla 1.

Estructura del suelo

Clase de permeabilidad	Estructura, tipo y clase (Sec. 73+74) (1)	Estructura, grado y consistencia (Sec. 72+80) (2)	Relación entre ejes vertical y horizontal traslapo, grietas y su dirección (3)	Canales y fisuras de porosidad (4)
Permeabilidad muy lenta	Aglomerado	Muy fuerte.		Sin poros visibles.
	En bloques irregulares; adopta una estructura columnar	Trozos muy duros que no pueden deshacerse con la mano. Para romper los bloques verticalmente se necesita más fuerza que para hacerlo horizontalmente.	En esta estructura, los fragmentos irregulares se desarrollan de manera sólida, su eje horizontal es más largo que el vertical y sus ángulos son agudos. Se encajan como tejas y se superponen de manera horizontal en un 50%. Con una humedad adecuada, los bloques angulares medianos a gruesos se rompen en grietas definidas y se tornan en una estructura angular de bloques finos a irregulares con la misma disposición.	Los bloques sueltos no tienen poros visibles, pero se pueden observar algunos canales verticales sinuosos que parecen seguir el contorno de las caras de los bloques, por lo regular a intervalos de 2 a 5 cm, y rara vez se extienden a más de 5 u 8 cm sin que aparezca una indentación horizontal.
	Sin estructura	Es difícil deshacer la masa, pero cuando se rompe, los pequeños trozos endurecidos se pulverizan fácilmente.		
Permeabilidad lenta	Fina y mediana en bloques irregulares	Para romper los bloques por el eje vertical se necesita más fuerza que por el horizontal. Las caras quebradas tienden a adoptar una apariencia dentada.	Los bloques angulares tienen ángulos agudos y los ejes horizontales son más largos que los verticales. Por lo general, los bloques se encajan como tejas y se traslapan horizontalmente en un 40%.	Poros pequeños. Las grietas verticales que siguen el contorno de la superficie del bloque pocas veces se extienden más de unos cuantos centímetros sin que aparezcan indentaciones de 2 a 5 cm.
	Es laminar, a veces sin estructura	Las láminas que se quiebran horizontalmente se rompen siguiendo una línea uniforme, las capas laminadas parecen estar compuestas por pequeñas "astillas" planas	Es fácil detectar las capas horizontales en forma de "astillas" que por lo general aparecen como tejas con 40% a 50% o más de traslapo. Algunas veces las capas finas laminadas son continuas.	Presencia de algunos poros verticales muy finos. La corriente de agua sigue líneas aparentemente tortuosas alrededor de las astillas principales.

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

Clase de permeabilidad	Estructura, tipo y clase (Sec. 73+74) (1)	Estructura, grado y consistencia (Sec. 72+80) (2)	Relación entre ejes vertical y horizontal traslapo, grietas y su dirección (3)	Canales y fisuras de porosidad (4)
		que pueden extraerse con pinzas.		
Permeabilidad moderadamente lenta	Mediana y fina. En bloques irregulares, fragmentada.	Los bloques (terrones) y los fragmentos son menos sólidos y estables que los de las clases de permeabilidad más lenta. Se rompen más fácilmente por el eje vertical.	El ángulo de los bloques y los fragmentos no es agudo y con frecuencia levemente redondeado. El eje horizontal es poco más largo que el vertical. El traslapo de los fragmentos estructurales es de 20 a 25%. Si el traslapo es oblicuo, los fragmentos pueden ser de mayor tamaño y el traslapo superior al 25%.	Los poros son finos, pero moderadamente numerosos. El traslapo oblicuo indica un movimiento de aire y agua más libre. Se observa penetración radicular.
Permeabilidad moderada	Fina y mediana en bloques subangulares con ángulos parcialmente redondeado o algunos obtusos.	El material edáfico presenta una cohesión moderada y los trozos se pueden romper fácilmente. Muy pocas veces se encuentran fracturados.	Los terrones o bloques sólo se superponen ligeramente y muchas de las fracturas verticales son casi rectas. Las grietas se producen por lo general en las caras de los agregados nuciformes.	Numerosos poros, de medianos a finos.
Permeabilidad moderadamente rápida	Estructura en bloques subangulares medianos (nuciforme), granular gruesa o migajosa	Los agregados estructurales no están desarrollados firmemente y la cohesión del material edáfico es moderadamente débil.	Casi siempre se observan grietas verticales en las caras de los agregados que siguen una línea aproximadamente recta u oblicua. Poco traslapo en los agregados estructurales.	En el agregado, los poros son grandes y numerosos.
Permeabilidad rápida	Estructura migajosa (a veces varía hasta ser de grano suelto)	La consistencia varía ligeramente plástica, cuando está mojado, a friable o migajosa cuando está seco.		Gran porosidad.
Permeabilidad muy rápida	Estructura de grano suelto	La consistencia varía de no plástica, cuando está mojado, a sin coherencia, cuando está húmedo o seco.		

Fuente: FAO, 2021

1.3.1. Clases y tipos de estructura del suelo

1.3.1.1. Clases de estructura del suelo

La clase de estructura describe el tamaño medio de los agregados individuales (FAO, 2021). En relación con el tipo de estructura de suelo de procedencia de los agregados, se reconocen cinco clases:

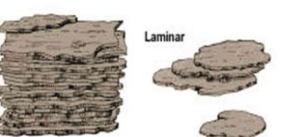
- 🌱 Muy fina o muy delgada
- 🌱 Fina o delgada
- 🌱 Mediana
- 🌱 Gruesa o espesa
- 🌱 Muy gruesa o muy espesa

1.3.1.2. Tipo de estructura del suelo

El tipo de estructura describe la forma o configuración de los agregados individuales (FAO, 2021). Se plantean cuatro estructuras de suelo:

Tabla 2.

Estructuras del suelo

Estructuras granulares y migajosas	Estructuras en bloques o bloques subangulares	Estructuras prismáticas y columnares	Estructura laminar
 Granular	 Blocky	 Prismatic	 Laminar
Partículas individuales de arena, limo y arcilla agrupadas en granos pequeños casi esféricos. El agua circula muy fácilmente a través de esos suelos. Por lo general, se encuentran en el horizonte A.	Partículas de suelo agrupados en bloques casi cuadrados o angulares con bordes algo pronunciados. Los bloques grandes indican que el suelo resiste la penetración y el movimiento del agua. Suelen encontrarse en el horizonte B cuando hay acumulación de arcilla.	Partículas de suelo que forman columnas o pilares verticales separados por fisuras verticales diminutas, pero definidas. El agua circula con mayor dificultad y el drenaje es deficiente. Se encuentra en el horizonte B cuando hay acumulación de arcilla.	Partículas de suelo agregadas en láminas o capas finas, que se acumulan una sobre otra horizontalmente. A menudo las láminas se superponen, lo que dificulta la circulación del agua. Se encuentra en suelos boscosos, en parte del horizonte A y en los suelos formados por capas de arcilla.

Fuente: FAO, 2021

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

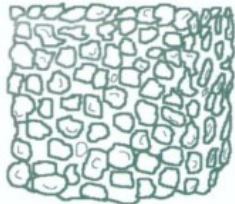
El tipo de estructura hace referencia a la forma de las unidades estructurales en el suelo. Según Moreno et al. (2020), se pueden encontrar:

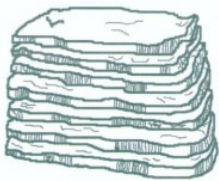
1. Unidades estructurales naturales
2. Unidades sin estructura

1. Unidades estructurales naturales:

Tabla 3.

Unidades estructurales naturales

Tipo	Características	Imagen
Estructura granular	Presenta unidades pequeñas poliédricas regulares o esferoides dispuestos alrededor de un punto con sus tres dimensiones de tamaños similares. Sus superficies son planas o curvas y tienen poca o ninguna acomodación a la forma de los agregados vecinos. Aparecen cuando los agregados son poco porosos por el predominio de la arcilla sobre la materia orgánica en el proceso de floculación. Es propia de horizontes A de suelos pobres en materia orgánica.	
Estructura poliédrica o angular	Son poliedros con las caras intersectadas unas con otras, formando ángulos agudos. Su forma se asemeja a un poliedro equidimensional con vértices afilados y punzantes. Los agregados encajan perfectamente unos en otros, y dejan un sistema de grietas inclinadas que es típica de horizontes B con contenidos arcillosos medios o con arcillas poco expansibles.	
Estructura subpoliédrica o subangular	La estructura subangular presenta poliedros de caras planas y redondeadas, con la carencia de ángulos agudos. Es propia de horizontes A muy pobres en materia orgánica y de la parte superior de los horizontes B.	
Estructura grumosa o migajosa	Esta estructura se produce debido a la floculación de los coloides minerales y orgánicos. Sus agregados son pequeños, muy porosos y redondeados, por lo que la penetración de las raíces se ve muy favorecida. También beneficia a la germinación de las semillas, pues opone poca resistencia a la germinación. Es propia de los Horizontes A, ricos en materia orgánica.	

Estructura prismática	En esta estructura la dimensión vertical predomina sobre las horizontales, adopta forma de prisma con las superficies llanas. Así pues, encontramos unidades verticalmente alargadas. Es propia de los horizontes B muy arcillosos que los hace compactos y se resquebrajan en grandes bloques.	
Estructura columnar	Produce unidades verticales alargadas con el extremo final redondeado, formando una estructura a manera de cúpula. Se produce cuando hay una dispersión fuerte de arcilla provocada por una alta concentración de sodio. Las arcillas sódicas al secarse forman una masa compacta que se cuarte en prisma grandes, muy duros e impenetrables por el agua. El agua cargada de coloides fluye por las grietas que quedan entre los agregados y esto hace que las partículas en suspensión erosionen la parte alta de los agregados y le den el aspecto de cúpula. Esta, suele tener una coloración negruzca debido a la materia orgánica que fluye por las grietas, aunque se ve claramente una coronilla de color blanquecino y que corresponde a las sales cristalizadas, típico de los horizontes B de suelos salinos sódicos.	
Estructura esquistosa o laminar	Esta estructura presenta un desarrollo mucho mayor horizontalmente frente al desarrollo vertical de las unidades estructurales. Es propia de horizontes C procedentes de materiales originales esquistosos que le ceden al suelo su estructura.	

Fuente: Moreno et al., 2020

2. Unidades sin estructura:

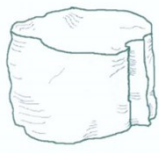
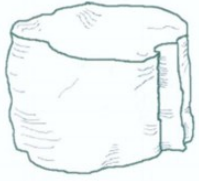
Tabla 4.

Unidades sin estructura

Tipo	Características	Imagen
Estructura particular	Esta estructura se presenta cuando solo hay arena y no hay síntomas de agregación. Es propia de los horizontes E. Realmente no se trata de una estructura pues no responde a los criterios de definición de la misma, pero se le asigna el término para mantener una unidad en la definición y describir este estado de "no agregación" del suelo.	

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

Estructura masiva	No existen unidades estructurales y el material es una masa que no ha de estar necesariamente cementada. Es una masa sin grietas y sin diferenciación de agregados. Es propia de materiales que no han sufrido procesos edáficos pero que poseen coloides arcillosos derivados de su origen como son los horizontes C.	
Estructura fibrosa	En este caso, tampoco existen unidades estructurales, pues está constituida por fibras procedentes del material orgánico poco descompuesto en el que los restos de tejidos son fácilmente visibles; la única organización es el entrelazamiento de las fibras. Es propia de los horizontes orgánicos H y O.	

Fuente: Moreno et al., 2020

1.4. TIPOS DE SUELO

Considerando principalmente el clima predominante y el tiempo para el desarrollo de los suelos, se pueden identificar tres tendencias principales de desarrollo de los perfiles de suelos:



Figura 2. Tipos de suelos

1.4.1. Suelos de climas húmedos

- Suelos gruesos.
- Intemperismo intenso y rápido
intemperismo químico.
- El CaCO_3 se disuelve y se lava, el feldespato y silicatos se alteran completamente y se van, dejando Al y Fe e hidróxidos.
- No son suelos productivos.
- Ejemplo típico: Lateritas.



Figura 3. Lateritas

1.4.2. Suelos de climas húmedos

- Suelos delgados.
- Intemperismo lento.
- El CaCO_3 puede permanecer en el suelo y acumularse en horizontes B, poca materia orgánica.
- Son poco fértiles.
- Ejemplo: Pedocales (pedon: suelo y cal: CaCO_3)

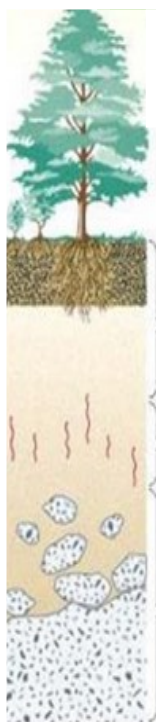


Figura 4. Pedocales

SUELOS CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

1.4.3. Suelos de climas templados

- A mayor intemperismo decrece la influencia del material parental.
- Corto tiempo de desarrollo en condiciones húmedas y temperaturas medias.
- Un derivado de granito puede variar de uno de caliza en condiciones iguales.



Clima templado

Tienen **cantidades variables** pero **significativas de MO**, lo que corresponde con: A mólicos y A hísticos.

El CaCO_3 u otros **minerales solubles (sales)** están ausentes. B argílico, B espódico. Fragipan, Duripan.

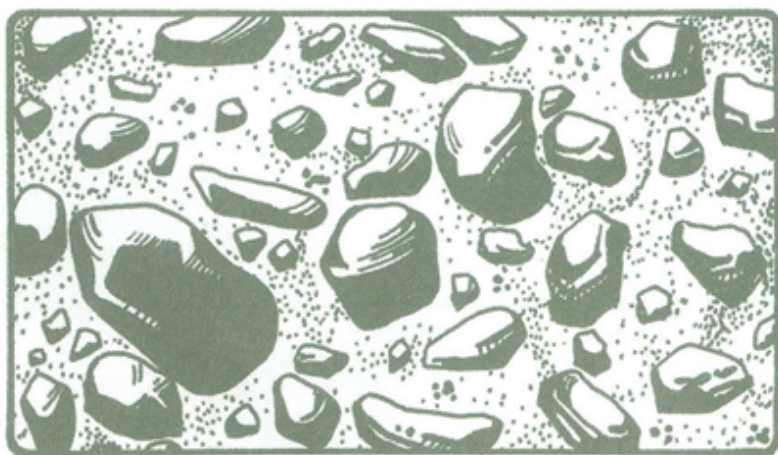
Horizontes B y A contienen abundantes minerales insolubles: cuarzo, arcilla y productos de alteración del Fe.

Material aprenal del que se desarrollan mejor: rocas ígneas intrusivas silíceas (granitos)

Figura 5. Pedolferes

1.5. TEXTURA DE SUELO

La textura de un suelo indica el contenido relativo de partículas que tienen diferente tamaño, como son la arena el limo y la arcilla, cuando abundan partículas de tamaño arena se dice que el suelo tiene textura arenosa, si son los limos se denomina textura limosa y si son las arcillas se denomina textura arcillosa. Sin embargo, si un suelo con mezcla de los tres componentes se llama textura franca.



Arena

Limo

Arcilla

Figura 6. Textura del suelo

La textura tiene que ver con la facilidad con que se puede trabajar un suelo, además determina la composición de agua, aire y la velocidad con que el agua penetra el suelo y lo atraviesa.

El tamaño de las partículas minerales que conforman el suelo determina sus propiedades físicas como son la textura, estructura, porosidad y color. Según la textura podemos distinguir 3 tipos de suelos: arena, arcilla y limo.

Los suelos arenosos son más sueltos, fáciles de trabajar pero con muy pocas reservas de nutrientes aprovechables para los vegetales.

los suelos limosos tienen gránulos de tamaño intermedio, son suelos fáciles de trabajar y fértiles, característica de formar terrones fáciles de desagregar en estado seco

Suelos arcillosos están constituidos por partículas muy finas, teniendo la capacidad cuando están en sobresaturación deformar barro, estos suelos son pesados, no drenan ni se desecan fácilmente, además contienen buenas reservas de nutrientes, por lo cual se consideran como suelos fértiles pero difíciles de trabajar cuando están muy secos.

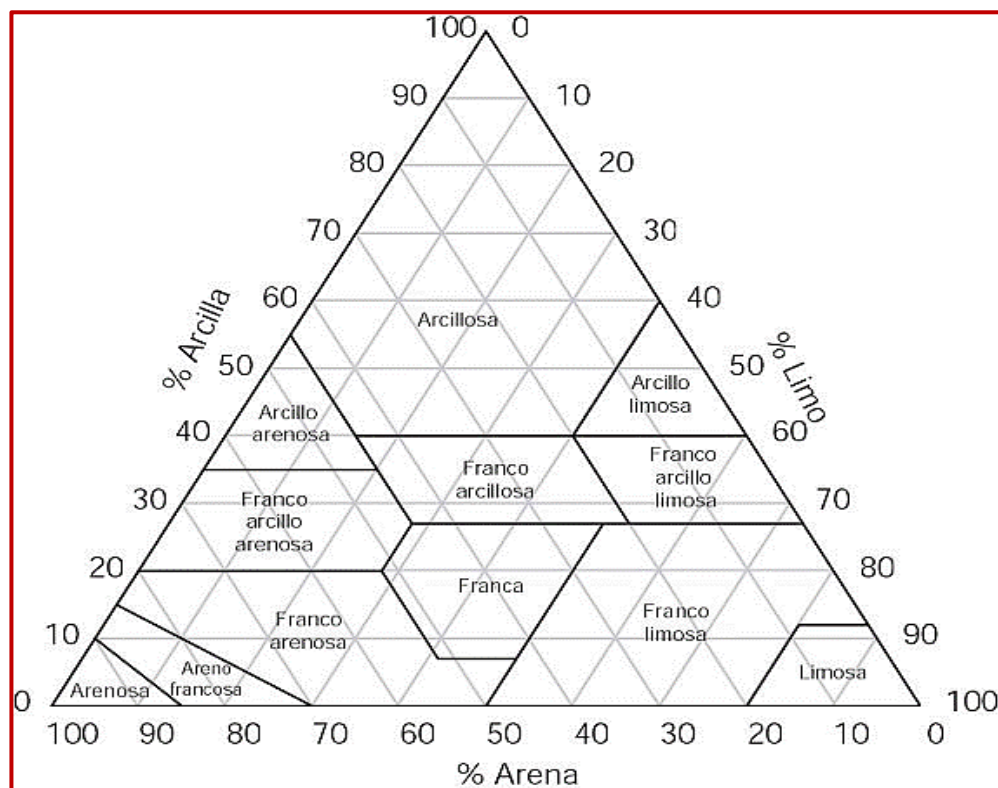


Figura 7. Triángulo de textura

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

1.6. POROSIDAD SUELO

La porosidad en el suelo caracterizada por la proporción de huecos o espacio en el suelo a un frente de volumen total.

La porosidad está íntimamente ligado a la actividad biológica del suelo, estructura y textura del suelo, un factor que incrementa sensiblemente la porosidad es la materia orgánica por lo cual tienen mayor cantidad de porosidad suelos coloidales la microfauna específica del sitio en estudio influye en la actividad biológica que es un factor que modifica la porosidad, las lombrices al realizar su recorrido por el suelo forman canalículos finos si es predominado se llama suelos con porosidad tubular.

Entre los espacios de poros se puede observar macroporos y microporos de los cuales los primeros no retiene el agua por efectos de gravedad por lo cual son responsables directos del drenaje y aireación del suelo constituye el principal espacio donde las raíces de la planta se desarrollan.

Los microporos son los encargados de retener el agua de la cual está disponible para el desarrollo de las especies vegetales la porosidad total es la suma entre los macroporos y microporos.

1.7. COLOR

El color del suelo es un indicador de algunas propiedades existentes el cual puede ir variando dependiente el lugar otra variable es la existencia de minerales igual al contenido de agua existente.

El color influye fuertemente en el crecimiento de plantas porque depende de la temperatura del suelo los suelos claros repelen la energía del sol a diferencia de los suelos oscuros absorbe eficientemente la energía del sol otro factor determinante va a ser la época del año, por ejemplo, en primavera al ir desapareciendo la nieve los suelos oscuros permiten el crecimiento de panta al tener una temperatura adecuada, los suelos oscuros indican un gran contenido de materia orgánica.

El color del suelo se puede diferenciar en función de su profundidad por lo cual podemos ir clasificando los suelos si se realiza un corte en un suelo observan diferentes capas de color gris claro.

En otros tipos de suelo existen manchas o franjas de color rojo que nos indican que ha habido alternancia de sequías o periodos de inundación. Esas manchas rojizas están compuestas de óxidos de hierro. La escala de colores de Munsell permite la clasificar los suelos.



Figura 8. Color del suelo

1.8. POTENCIAL DE HIDRÓGENO - pH

El valor del pH del suelo es la medida de alcalinidad o acidez del suelo. El pH del suelo está directamente vinculado con la disponibilidad de nutrientes. El pH tiene una escala con un rango que va de 0 a 14, siendo el valor 7 neutral. Los valores menores a 7 indican acidez y los valores superiores a 7 indican alcalinidad.



Figura 9. Escala del pH

El pH del suelo es una de las muchas condiciones ambientales que mejora la calidad del crecimiento de la planta.

Uno de los factores ambientales que mejoran el crecimiento de la planta es el pH además que cambia dependiendo de las plantas un ejemplo los vegetales, ornamentales y céspedes se desarrollan en suelos moderadamente ácidos pH 5.8 a 6.5. Los suelos que

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

contiene valores de pH mayores o menores e los rangos pueden afectar en crecimientos en disminución de nutrientes y menos vigoroso

Para crecimiento adecuado de la planta se la divide en tres categorías:

- Primarias
- Secundarias
- Micronutrientes

Los nutrientes como Nitrógeno, Fósforo y Potasio están clasificados como nutrientes primarios, lo cuales se necesitan en grandes cantidades a comparación de las otras categorías

El Azufre, Magnesio y Calcio, son denominados como nutrientes secundarios, los cuales son indispensables en pequeñas cantidades, con importancia que los nutrientes primarios.

Zinc y Magnesio son micronutrientes necesarios en concentraciones bajas.

Los suelos que tengan deficiencias de los nutrientes secundarios y micronutrientes son fáciles de modificar al mantener el pH del suelo en un valor óptimo.

1.9. CLASIFICACIÓN DE SUELOS

Clases de suelos según la terminología de la FAO:

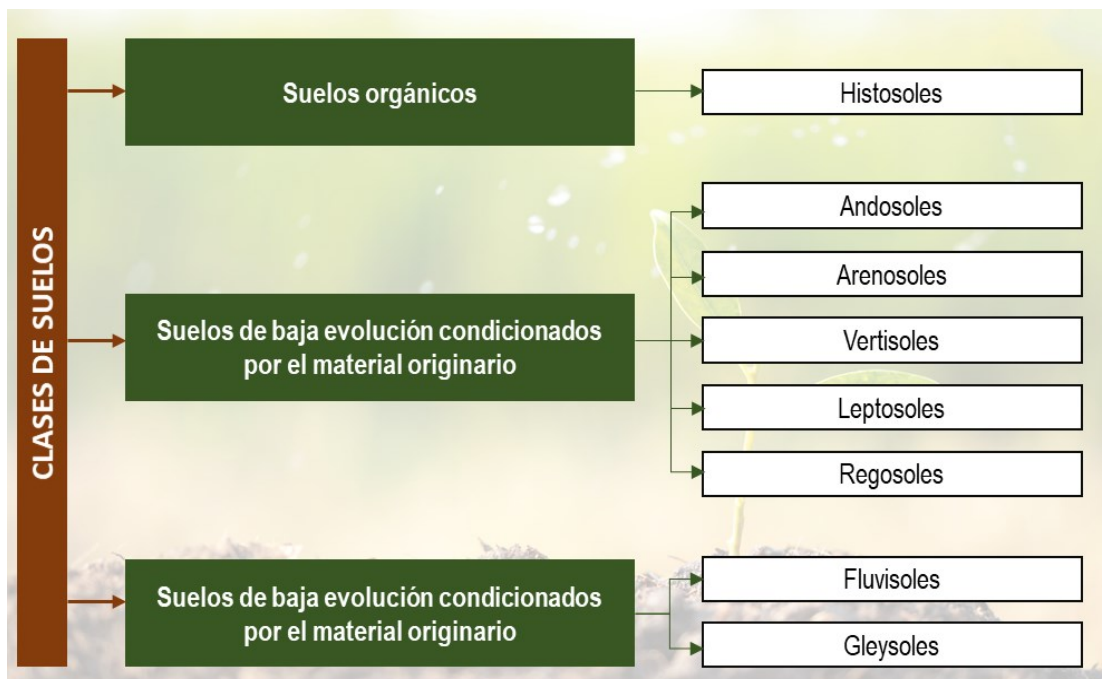


Figura 10. Clases de suelos

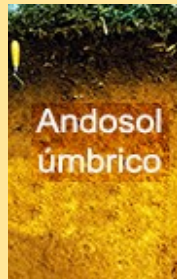
1.9.1. Suelos orgánicos

1. Histosoles

- Suelos orgánicos.
- Materia orgánica sin descomponer.
- Saturados en agua por largos períodos.
- Son las turbas o turberas.
- Perfil H.



1.9.2. Suelos de baja evolución condicionados por el material originario



1. Andosoles

- Alto contenido en materiales amorfos.
- Casi siempre a partir de materiales volcánicos.
- Perfil A-B-C ó A

2. Arenosoles

- Muy arenosos.
- Muy baja evolución.
- Perfil A-C.



3. Vertisoles

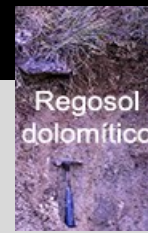
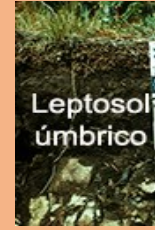
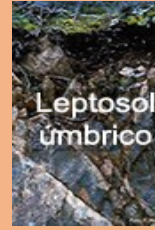
- Alto contenido en arcillas (>35%)
- Grietas muy anchas (>1 cm de diámetro) y profundas (al menos 50 cm).
- Abundantes slickensides (superficies brillantes).
- Perfil A-C.

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

4. Leptosoles

- Muy delgados (espesor ≤ 25 cm), sobre una roca dura (o material duro).
- Muy baja evolución. Perfil A-R.



5. Regosoles

- Sobre materiales originales sueltos.
- Muy baja evolución.
- Perfil homogéneo (sin horizonte B).
- Perfil A-C.

1.9.3. Suelos de baja evolución condicionados por la topografía

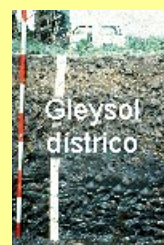
1. Fluvisoles

- A partir de materiales fluviales recientes.
- Materia orgánica decrece o es abundante en zonas muy profundas.
- Muy baja evolución.
- Perfil típico estratificado A-C-Ab-C-Ab-C-Ab-C.



2. Gleysoles

- Suelos hidromorfía (por manto freático) permanente (o casi).
- Horizontes grises, verdosos o azulados. Sobre materiales no consolidados.
- Perfil A-B-C (ó R) con "r" en alguno de ellos.



Existen diversas clasificaciones de suelos, desarrolladas bajo diferentes puntos de vista. Históricamente podemos destacar las siguientes (Dorronsoro, 2010):

- **Con base geológica:** Fallou (en función del tipo de roca madre; se trata de una de las primeras clasificaciones desarrolladas).
- **Con base química:** Gedroitz (grado de saturación del complejo adsorbente). Von Sigmond (catión dominante del complejo adsorbente). Pallman (intensidad, dirección y elementos del lavado).
- **Con base climática:** Dokuchaiev. Suelos zonales (evolución dependiente del clima), suelos intrazonales (evolución independiente del clima) y suelos azonales (poco evolucionados, no se conoce todavía como será su evolución).
- **Con bases mixtas:** se utilizan caracteres diferenciadores de distinto tipo.
- **Con bases genéticas:** grado de desarrollo del perfil, grado de alteración, tipos de humus, hidromorfía, propiedades químicas, CO₃=, mineralogía.

1.10. CARACTERÍSTICAS DE LOS SUELOS

En base a estudios del CRIES (Comprehensive Resources Inventory and Evaluation System), se presentan las características de las principales órdenes de suelos:

- Suelos Vertisoles
- Suelos Entisoles
- Suelos Inceptisoles
- Suelos Mollisoles
- Suelos Alfisoles
- Suelos Ultisoles
- Suelos Oxisoles
- Suelos Histosoles

1.10.1. Suelos Vertisoles (Sonzocuite)

Características Generales: Suelos minerales de desarrollo reciente, con horizonte superficial de poco espesor. Son muy arcillosos, durante la estación seca se contraen y presentan grietas anchas y profundas, mientras que durante la estación lluviosa se expanden. Tienen formación de micro relieve en la superficie, son muy profundos a moderadamente profundos (sin contacto rocoso a menos de 50 cm de profundidad). La fertilidad del suelo es de alta a baja, formados de sedimentos lacustres o lagunares, de tobas, basaltos y otras rocas ricas en bases y fácilmente meteorizables, en pendientes de 0-8%, también se encuentran en pendientes de hasta 15%.



Figura 11. Suelos vertisoles

Drenaje: El drenaje natural de estos suelos es de imperfecto a moderado, pobre y muy pobre.

Características Morfológicas: textura del horizonte superficial varía de franco arcilloso a arcilloso pesado, con colores que gradan de negro a gris oscuro y es de poco espesor, con un subsuelo de textura muy arcilloso (con >60% de contenido de la fracción arcilla, principalmente montmorillonita) y colores gris oscuros; son suelos de muy profundos a moderadamente profundos (60 a >120 cm.).

Los vertisoles en épocas secas se contraen y forman grietas anchas y profundas (1 cm o más de ancho y hasta 1 m o más de profundidad) y en épocas lluviosas se expanden; generalmente presentan macro relieve de planicie depresional y micro relieves por la gran cantidad de arcillas.

Las grietas permanecen abiertas (a menos que estén irrigados) por 90 días acumulativos o más durante el año, pero no durante todo el año. Son extensivos en depresiones, llanos y en planicies con escurrimiento superficial lento.

Características Químicas: El contenido de materia orgánica en los Vertisoles tiene valores de moderadamente alto a bajo, el pH es de extremadamente ácido a ligeramente ácido, la capacidad de intercambio catiónico es de muy alto a medio, tienen altos contenidos de Calcio (Ca), Magnesio (Mg), potasio (K) y sodio (Na), el porcentaje de la saturación de bases es alto y muestran diferencias en el porcentaje de carbonatos.

Uso Potencial: Debido a las limitaciones texturales y de drenaje interno estos suelos en su gran mayoría son adecuados, con riego, para cultivos como arroz, caña de azúcar, sorgo y bosques de explotación.

1.10.2. Suelos Entisoles

Características Generales: Suelos minerales de formación reciente que tienen poca o ninguna evidencia de desarrollo de horizontes genéticos. La mayoría no posee el horizonte superficial con algún nivel de desarrollo, pero cuando se encuentra tiene colores claros (epipedón ócrico) u oscuros (epipedón úmbrico), la profundidad varía de profundos a muy superficiales, relieve de plano a muy escarpado, la fertilidad del suelo es alta a baja, en algunos suelos las inundaciones son frecuentes y prolongadas durante la estación lluviosa.



Figura 12. Suelos entisoles

Drenaje: El drenaje interno de estos suelos varía de excesivo, moderadamente bueno, bueno, pobre a muy pobre.

Características Morfológicas: La textura varía de arenosa a arcillosa, con colores que van desde oscuros a pardos. Las profundidades son de muy superficiales a superficiales (< 25 -40 cm.) en relieves escarpados y sujetos a erosión activa; muy superficiales a profundos (<25 a > 90 cm.) en las planicies, con un contacto lítico (rocoso) a menos de 50 cm. de profundidad, o con un subsuelo de gran espesor que no tiene evidencia de desarrollo y que presenta texturas gruesas, con granulometría variable, con o sin fragmentos gruesos dentro del perfil del suelo o sobre la superficie.

El nivel freático oscila de muy superficial a muy profundo e inundaciones muy frecuentes y prolongadas en algunas áreas durante la estación lluviosa.

Características Químicas: El contenido de materia orgánica en estos suelos varía de alto a bajo, el pH es de extremadamente ácido a medianamente alcalino, la capacidad de intercambio catiónico tiene valores de medio a muy bajo y el por ciento de saturación de bases es de alto a bajo.

Uso Potencial: Estos suelos no son recomendables para cultivos agrícolas, su uso adecuado es Forestal o Vegetación natural, variedades de pastos adaptables a las condiciones y conservación de la flora y la fauna.

1.10.3. Suelos Inceptisoles

Características Generales: Suelos minerales de desarrollo incipiente, de poco profundos a muy profundos; el horizonte superficial es de color claro (epipedón ócrico) u oscuro (epipedón úmbrico) y el subsuelo tiene un horizonte alterado (horizonte cámbico) de textura franco arenosa muy fina a arcillosa, con estructura de suelo o ausencia de estructura de roca por lo menos en la mitad del volumen; con inundaciones ocasionales y prolongadas en algunas áreas, donde el contenido de aluminio fluctúa de alto a medio. Se presenta en relieve de plano a muy escarpado, la fertilidad es muy baja a alta.



Figura 13. Suelos inceptisoles

Drenaje: El drenaje natural interno varía de muy pobre a bien drenados y el nivel freático de muy superficial a muy profundo, con inundaciones ocasionales o prolongadas durante las épocas lluviosas.

Características Morfológicas: La textura superficial de estos suelos varía de acuerdo a su ubicación: sus texturas son de arena franca hasta arcillosa, con coloraciones de pardo a pardo rojizo y pardo grisáceo; pero en zonas lluviosas es generalmente de franco arcilloso a arcilloso, con coloraciones de pardo claro a pardo rojizo y grisáceo, esto se debe al hidromorfismo. Sin embargo, en las zonas secas o menos lluviosas su textura y coloración es franco arcilloso y franco arcillo arenoso, pardo oscuro y en algunos casos con coloraciones pardo rojizo oscuro, las profundidades son de poco profundo a muy profundo (60 a >120 cm.). En algunas áreas donde se encuentran estos suelos las inundaciones son frecuentes y prolongadas durante la estación lluviosa.

Características Químicas: El contenido de materia orgánica en estos suelos es de muy alto a muy bajo, el pH varía de extremadamente ácido a neutro, la capacidad de intercambio catiónico es de muy bajo a alto y el porcentaje de saturación de base de muy bajo a alto.

Uso Potencial: Aptos para cultivos de algodón, ajonjolí, cacao, maní, maíz, hortalizas, banano, plátano, piña, café, cítricos. En algunos casos por riesgo o susceptibilidad de los suelos a la erosión hídrica y/o eólica se recomiendan para bosques o reforestación en su defecto y en otros casos debido a deficiencias del drenaje interno de los suelos, presencia de tabla de agua alta, inundaciones frecuentes y prolongadas, fertilidad del suelo muy baja o relieve con pendientes del terreno muy pronunciadas es recomendado para protección de la flora y la fauna. Además, son aptos para cultivos anuales y semiperennes, perennes y bosque, en tierras con pendientes <15%, en pendiente de hasta 30% para silvopastura, agroforestería y bosques, en pendiente de hasta 50% agroforestería y bosque, en pendientes >50% para bosque de protección y conservación.

1.10.4. Suelos Mollisoles

Características Generales: Suelos minerales con estado de desarrollo: incipiente, joven o maduro. Con un horizonte superficial (epipedón mólico) de color oscuro, rico en humus, bien estructurado, suave en seco y un subsuelo de acumulación de arcilla iluvial (un horizonte argílico, o un horizonte cámbico cargado de arcilla); de poco profundos a muy profundos, fertilidad de baja a alta; desarrollados de depósitos aluviales y lacustres sedimentados de origen volcánico, rocas básicas, ácidas, metamórficas, sedimentarias y piroclásticas.

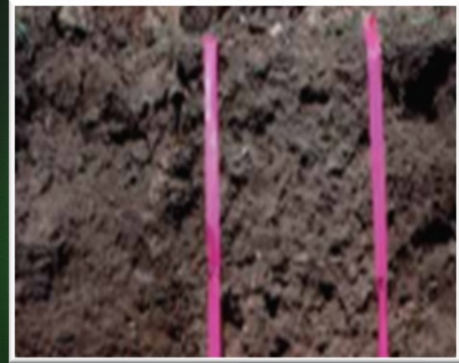


Figura 14. Suelos mollisoles

Drenaje: El drenaje interno del suelo es de muy pobre a bien drenado, el nivel freático se encuentra bastante superficial durante la estación lluviosa en algunas áreas.

Características Morfológicas: Texturas del suelo y subsuelo de franco arenoso a franco arcilloso y arcilloso, con colores que varían de pardo grisáceo a pardo rojizo, gris y pardo oscuro; son poco profundos a muy profundos (60 a >120 cm.).

En algunas áreas se encuentra una o varias capas de talpetate de diferentes colores y grados de cementación, a diferentes profundidades, otros poseen piedras en la superficie y gravas en el perfil.

Características Químicas: El contenido de materia orgánica es de muy bajo a alto, el pH es de fuertemente ácido a muy fuertemente alcalino, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) es de bajo a alto y el porcentaje de saturación de bases es de bajo a alto.

Uso Potencial: Aptos para cultivos como algodón, ajonjolí, maní, maíz, sorgo, arroz, caña de azúcar, estos cultivos son adecuados para pendientes con rangos de 0–15% tomando en cuenta las debidas medidas de conservación y manejo. Los suelos con rangos de pendientes de 15–30% son apropiados para cultivos como pastos, piña, algunos frutales, silvopasturas, agroforestería y bosque. Los suelos con rangos de pendientes de 30–50% son para bosques de explotación, bosque de protección, bosque de conservación y para agroforestería. Los suelos con pendientes >50% son apropiados únicamente para bosque de protección y conservación de la flora y fauna.

1.10.5. Suelos Alfisoles

Características Generales: Suelos minerales maduros, bien desarrollados.

Tienen un horizonte superficial de color claro (epipedón ócrico) o de color oscuro (epipedón úmbrico) y un subsuelo de acumulación de arcilla iluvial (horizonte argílico); de muy profundos a pocos profundos (60 a > 120 cm.). En relieve de plano a muy escarpado, con una fertilidad de baja a media; desarrollados a partir de rocas ácidas, básicas, metamórficas, materiales indiferenciados y estratos sedimentarios de lutitas.



Figura 15. Suelos alfisoles

Drenaje: El drenaje interno en estos suelos varía de pobre, moderado a bien drenados, encontrándose en algunas áreas, durante épocas lluviosas, el nivel freático fluctuante a una profundidad de 20 cm.

Características Morfológicas: Las Características de estos suelos son: texturas de arcillosos a franco arcillosos y franco arenosos, con colores que varían de pardo grisáceo muy oscuro a pardo rojizo y pardo amarillento, volviéndose a más claro a mayor profundidad; el drenaje interno del suelo varía de pobre a bien drenados, con profundidades que varían de muy profundo a poco profundo.

Características Químicas: Las Características de estos suelos son: el contenido de materia orgánica varía de alto a muy bajo, el pH es de muy fuertemente ácido a neutro, con un porcentaje de saturación de bases que oscila de alto a bajo y presentan una capacidad de intercambio catiónico de alto a muy bajo.

Uso Potencial: Aptos para cultivos como maíz, sorgo, ajonjolí, caña de azúcar, yuca, arroz, plátano, piña, etc., en pendientes con rangos de 0–15% tomando en cuenta las debidas medidas de conservación y manejo; algunas áreas con problemas de drenaje interno del suelo (imperfecto y pobre) son aptos para pastos. Los suelos con rangos de pendientes de 15–30% son apropiados para cultivos como: pastos, piña, algunos frutales, silvopasturas, agroforestería, con prácticas de conservación, bosques de explotación, bosques de producción, protección y conservación, con sus debidos planes de manejo. Los suelos con rangos de pendientes de 30–50% son aptos para agroforestería, con sus prácticas de conservación; bosque de explotación, bosque de protección y bosque de conservación y los suelos con pendientes >50% son aptos únicamente para bosques de protección y conservación, en todos los casos con sus respectivos planes de manejo forestal.

1.10.6. Suelos Ultisoles

Características Generales: Suelos que tienen un drenaje interno natural de imperfecto a bien drenados, de profundos a muy profundos, en relieve de plano a muy escarpado.

La fertilidad natural tiene valores de baja a media, con un contenido variable de aluminio, se han desarrollado de rocas básicas, intermedias y ácidas, de sedimentos aluviales, coluviales y fluviales.



Figura 16. Suelos ultisoles

Drenaje: El drenaje interno natural de estos suelos varía de imperfecto a bien drenados, en algunas áreas donde el drenaje natural es imperfecto el nivel freático en épocas lluviosas se mantiene entre los 40–50 cm. de profundidad para bajar a más de un metro de profundidad en épocas seca.

Características Morfológicas: Presentan texturas superficiales franco arcilloso y arcilloso, textura del subsuelo de arcilloso a muy arcilloso; colores pálidos en el suelo superficial, pardo grisáceo oscuro a pardo amarillento claro, en el subsuelo los colores varían de pardo oscuro a pardo rojizo oscuro, en algunos casos los colores en el subsuelo varían producto del Hidromorfismo de gris pardusco claro a gris claro.

Características Físico Químicas: Valores de muy fuertemente ácido a medianamente ácido, el porcentaje de saturación de bases es de muy bajo a medio, la capacidad de intercambio catiónico es de bajo a medio, el porcentaje de aluminio intercambiable es de bajo a muy alto, el porcentaje de hierro libre es de alto a bajo y el porcentaje de fósforo asimilable es de bajo a medio.

Uso Potencial: De acuerdo a sus características edafoclimáticas estos suelos, en tierras en pendientes con rangos <15%, son aptos para cultivos anuales como sorgo, maíz, hortalizas, algodón, frijoles, arroz, yuca; para cultivos semiperennes como caña de azúcar, banano, plátano, piña; para cultivos perennes como frutales, cítricos, palma africana, pastos y bosque; con sus respectivas prácticas de conservación y planes de manejo forestal. Los suelos con pendientes de hasta 30% son aptos para manejo silvopastoril, agroforestal y bosque, con sus prácticas y planes de manejo.

Los suelos con pendientes de 30–50% son aptos para agroforestería y bosque, con prácticas y planes de manejo. Los suelos con pendientes >50% son aptos para bosques de protección o conservación de la flora y la fauna.

1.10.7. Suelos Oxisoles

Características Generales: Suelos minerales seniles, en la última etapa de intemperización química, con un horizonte superficial de colores claros que descansa sobre un subsuelo muy grueso de color rojo amarillento, muy profundos, moderadamente estructurado, con altas concentraciones de Hierro (Fe) y Aluminio (Al), bien drenados, muy ácidos, con un alto contenido en aluminio intercambiable, de relieve ondulado a escarpado, fertilidad muy baja, desarrollados de rocas ultrabásicas (diabasa o basalto ultrabásico).



Figura 17. Suelos oxisoles

Drenaje: El drenaje interno de estos suelos es bueno, la permeabilidad es rápida debido al alto grado de porosidad.

Características Morfológicas: Tienen un horizonte superficial delgado (ócrico), arcilloso, de color rojo amarillento y con estructura moderada y en el subsuelo presenta un horizonte óxico muy grueso (110 cm.), arcilloso, de color rojo amarillento, con estructura moderada a débil, que sobreyace a un horizonte grueso (>60 cm.), arcilloso, de color rojo, con veteados pardos a pardo oscuro, sin estructura definida.

Características Químicas: Tienen un contenido de materia orgánica moderadamente alto en el primer horizonte, moderado en el segundo horizonte y bajo en el tercer horizonte, el pH es muy fuertemente ácido en los dos primeros horizontes y fuertemente ácido en el tercer horizonte.

La capacidad de intercambio catiónico es baja en el primer horizonte y muy baja en el resto del perfil, la saturación de bases es muy baja en todos los horizontes.

El fósforo asimilable y el potasio son bajos en todos los horizontes.

Uso Potencial: Los Oxisoles presentan severas limitaciones para fines agropecuarios. Todo intento de mejoramiento resultaría antieconómico, debido al excesivo lavado de nutrientes del suelo y el alto riesgo de desencadenar procesos de erosión irreversible, por lo que se recomienda dejarlo como reserva forestal, con fines de conservación de la flora y la fauna y determinar el manejo adecuado.

1.10.8. Suelos Histosoles

Características Generales: Son suelos orgánicos muy profundos con un horizonte superficial de gran espesor, que contiene más del 20% de materia orgánica, por el alto contenido de tejido orgánico; con drenaje interno pobre a muy pobre, en relieve plano depresional y áreas pantanosas, con fertilidad baja a alta, desarrollados a partir de acumulación depósitos orgánicos y sedimentos lacustres y fluviales.

La mayor parte del año, tienen el nivel freático en o sobre la superficie del suelo.



Figura 18. Suelos histosoles

Características Morfológicas: El espesor del horizonte orgánico es muy variable (40–80 cm.), de textura franco limoso a franco arcillo limoso, de color negro y sin estructura definida.

El horizonte subsuperficial permanece casi siempre saturado con agua, es muy grueso (>150 cm.), franco arcillo limoso a arcillo limoso, de color negro, sin estructura.

Características Químicas: El contenido de materia orgánica decrece con la profundidad de muy alto a medio, con un pH que es de muy fuertemente ácido a fuertemente ácido.

La capacidad de intercambio catiónico es alta; el hierro, el aluminio y el fósforo son bajos, el potasio varía de medio a bajo y el porcentaje de la saturación de bases es muy alta.

Uso Potencial: Debido a que se encuentran inundadas la mayor parte del año y saturados permanentemente de humedad, se recomiendan para protección de la fauna.

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

Los grupos de suelo están representados en la Tabla 5 y Tabla 6:

Tabla 5.

Referencia de grupos de suelo

CARACTERÍSTICA	CLASE
1. Suelos con gruesos horizontes orgánicos	Histosoles
2. Suelos intensamente influenciados por la acción humana debido a:	
• Uso agrario intensivo y prolongado	Anthrosoles
• Suelos ricos en artefactos humanos (cerámicas, etc.)	Technosoles
3. Suelos con impedimentos al desarrollo radicular debido a:	
• Permafrost a escasa profundidad o pedregosos y con hielo	Cryosoles
• Suelos someros o muy pedregosos	Leptosoles
4. Suelos intensamente influenciados por su contenido en agua debido a:	
• Ciclos de encharcamiento – déficit de agua ricos en arcillas expandibles	Vertisoles
• Suelos en llanuras de inundación y zonas intermareales	Fluvisoles
• Suelos alcalinos	Solonetz
• Suelos enriquecidos en sal a causa de una intensa evaporación	Solonchakz
• Suelos afectados por agua subterráneas someras	Gleysoles
5. Suelos cuya dinámica se encuentra afectada por la química Fe / Al	
• Suelos ricos en alófanos o los complejos hierro – humus	Andosoles
• Suelos con queluviación y quiluviación	Podzoles
• Acumulación de hierro en condiciones hidromorfas	Plinthosoles
• Suelos con arcillas de baja actividad, fijación de fósforo y fuerte estructura	Nitisoles
• Suelos muy ricos en caolinita y sesquióxidos	Ferralsoles
6. Suelos afectados por el estancamiento de agua	
• Suelos con discontinuidad textural abrupta	Planosoles
• Suelos con una discontinuidad estructural o moderadamente textural	Stagnosoles
7. Suelos ricos en materia orgánica y bases	
• Suelos con acumulación de sales poco solubles	Chernozemes
• Suelos en transición a climas secos	Kastanozems
• Suelos en transición a clima húmedo	Phaeozems
8. Suelos con acumulación de sales poco solubles o sustancias no salinas	
• Suelos con acumulación de yeso	Gypsisoles
• Suelos con acumulación de sílice	Durisoles
• Suelos con acumulación de carbonato de calcio	Calcisoles
9. Suelos con enriquecimiento de arcilla en profundidad	
• Suelos con transición sinuosa (penetraciones) de horizontes de lavado y argílicos	Albeluvisoles
• Suelos con bajo estatus en bases y arcillas de alta actividad	Alisoles
• Suelos con bajo estatus en bases y arcillas de baja actividad	Acrisoles
• Suelos ricos en bases y arcillas de alta actividad	Luvisoles
• Suelos con alto estatus en bases y arcillas de baja actividad	Lixisoles
10. Suelos relativamente jóvenes o sin desarrollo de horizontes	
• Suelos con horizonte superficial ácido y oscuro (rico en carbono)	Umbrisoles
• Suelos arenosos	Arenosoles
• Suelos moderadamente desarrollados	Cambisoles
• Suelos sin un desarrollo significativo del perfil edáfico	Regosoles

Tabla 6.*Grupos de suelos del Sistema de clasificación*

GRUPO DE SUELO	CARACTERÍSTICAS
Histosoles	Suelos con capas orgánicas gruesas
Antrosoles, Technosoles	Suelos con fuerte influencia humana
Crisoles, Leptosoles, Solonetz, Vertisoles, Solonchacks	Suelos con enraizamiento limitado. Están o han estado fuertemente influenciados por el agua.
Gleysoles, Andosoles, Podzoles, Plintosoles, Nitisoles, Ferralsoles, Planosoles, Stagnosoles	Suelos regulados por la química de Fe/Al.
Chernozems, Kastanozems, Phaeozems, Umbrisoles.	Acumulación pronunciada de materia orgánica en el suelo mineral superficial.
Durisoles, Gipsisoles, Calcisoles	Suelos de regiones áridas con acumulación de yeso, sílice y carbonato de calcio, respectivamente.
Retisoles, Acrisoles, Lixisoles, Alisoles, Luvisoles	Suelos enriquecidos en arcillas en la parte sub-superficial.
Cambisoles, Arenosoles, Fluvisoles, Regosoles	Suelos relativamente jóvenes con muy poco o ningún desarrollo de perfil.

Fuente: FAO, 2014

1.11. COMPOSICIÓN Y FASES DEL SUELO

El suelo está compuesto por partículas minerales, materia orgánica, agua y aire en distintas proporciones (Van Konijnenburg, 2006):

1.11.1. Partículas minerales

Según su tamaño reciben distintos nombres: las más grandes se llaman gravas, las intermedias arenas y limos y las más pequeñas arcillas (Tabla 7).

Tabla 7.*Partículas minerales*

Partículas minerales	Diámetro
Grava	Superior a 2mm
Arena	Entre 1 y 0.05 mm
limo	Entre 0.05 y 0.002 mm
Arcilla	Inferior a 0.002 mm

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

1.11.2. Fase sólida

Se divide en orgánica e inorgánica.

Orgánica: compuesta por materia orgánica procedente de restos de seres vivos. Cuando la descomposición está muy avanzada la materia orgánica se llama “humus”. La materia orgánica retiene más agua, favorece la aireación del suelo al aglutinar partículas minerales haciéndolo más poroso y aumenta la fertilidad del suelo.

Inorgánica: son los fragmentos de rocas y minerales producto de la meteorización. Gravas mayores a 2mm y arenas de 0.02 mm a 2mm; limos de 0,02 a 0,002 mm, arcillas menores a 0,002 mm. Las arcillas forman agregados con el humus que son importantes para la fertilidad del suelo al retener sales minerales.

1.11.3. Fase líquida

Es el agua que lleva en disolución sales minerales y coloides de arcilla y humus. El agua se encuentra en los poros del suelo de tamaño pequeño o mediano (agua absorbible), si los poros son demasiados pequeños no pueden ser absorbidos por las raíces (agua retenida) y si los poros son demasiados grandes tampoco porque se escurre por gravedad (agua de gravitación) para formar parte del agua de acuíferos y subterráneos.

1.11.4. Fase gaseosa

Es el aire que ocupa los poros de tamaño grande y aquellos en los que el agua se ha consumido, su composición es similar a la del aire atmosférico, pero con una menor proporción de O_2 (20%) y mucho mayor de CO_2 (0,5 -1%), debido a la gran actividad biológica que se desarrolla en el suelo (respiración).

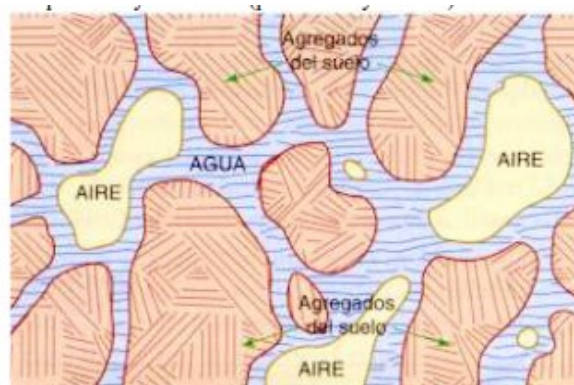


Figura 19. Fase Gaseosa suelo





CAPÍTULO II: PROPIEDADES DE LOS SUELOS

2.1. NOMENCLATURA DE HORIZONTES, HORIZONTES DE DIAGNÓSTICO Y CLAVE PARA LA CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN LA LEYENDA F.A.O. 1998

2.1.1. Nomenclatura de horizontes

Histosoles (HS)

- Suelos que tienen un horizonte hístico o fólico de 10 cm o más de espesor desde la superficie del suelo hasta un contacto lítico o paralítico; o de 40 cm o más de espesor y comienza dentro de los 30 cm desde la superficie del suelo.
- No tienen un horizonte ándico o vítrico que inicia dentro de los 30 cm desde la superficie del suelo.
- Otros suelos que tienen uno o más horizontes críticos dentro de los 100 cm desde la superficie del suelo.

Criosoles (CR)

Otros suelos que tienen:

- Un horizonte hórtico, irrágico, plágico o térrico de 50 cm o más de espesor.
- Un horizonte antrácuico y un horizonte hidrágico subyacente con un espesor combinado de 50 cm o más.

Antrosoles (AT)

Otros suelos que:

- Están limitados en profundidad por roca dura continua dentro de los 25 cm desde la superficie del suelo.
- Están suprayaciendo a un material con más del 40% de carbonato de calcio equivalente dentro de los 25 cm desde la superficie del suelo
- Contienen menos del 10% (en peso) de tierra fina hasta una profundidad de 75 cm o más
- Carencia de otros horizontes de diagnóstico que no sean un horizonte mólico, ócrico, úmbrico, yérmico o vértico.

SUELOS CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

Leptosoles (LP)

Otros suelos que tienen:

- Un horizonte vértico dentro de los 100 cm desde la superficie del suelo.
- Luego que los 20 cm superiores han sido mezclados, 30% o más de arcilla en todos los horizontes hasta una profundidad de 100 cm o más, o hasta una capa contrastante (contacto lítico o paralítico, horizonte petrocálcico, petrodúrico o petrogípsico, discontinuidad sedimentaria, etc.) entre 50 y 100 cm.
- Grietas que se abren y cierran periódicamente.

Vertisoles (VR)

Otros suelos que tienen:

- Material de suelo flúvico que inicia dentro de los 25 cm y continúa hasta una profundidad de por lo menos 50 cm desde la superficie del suelo.
- No tienen otros horizontes de diagnóstico que no sean un horizonte hístico, mólico, ócrico, takírico, úmbrico, yémico, sálico o sulfúrico.

Fluvisoles (FL)

Otros suelos que tienen:

- Un horizonte sálico que comienza dentro de los 50 cm desde la superficie del suelo.
- No tienen otros horizontes de diagnóstico que no sean un horizonte hístico, mólico, ócrico, takírico, yémico, cálcico, cámbico, dúrico, gípsico o vértico.

Solonchaks (SC)

Otros suelos que tienen

:

- Propiedades gléyicas dentro de los 50 cm desde la superficie del suelo.
- No tienen otros horizontes de diagnóstico que no sean un horizonte antrácuico, hístico, mólico, ócrico, takírico, úmbrico, ándico, cálcico, cámbico, gípsico, plíntico, sálico, sulfúrico o vítrico dentro de los 100 cm desde la superficie del suelo.

Gleysoles (GL)

Otros suelos que tienen:

- Un horizonte vítrico o un horizonte ándico que comienza dentro de los 25 cm desde la superficie del suelo.
- No tienen otros horizontes de diagnóstico (a menos que estén enterrados a más de 50 cm) que no sean un horizonte hístico, fúlvico, melánico, mólico, úmbrico, ócrico, dúrico o cámbico.

Andosoles (AN)

Otros suelos que tienen:

- Un horizonte espódico que comienza dentro de los 200 cm desde la superficie del suelo, subyaciendo a un horizonte álbico, hístico, úmbrico u ócrico, o un horizonte antropedogénico de menos de 50 cm de espesor.
- Estos suelos son formados a partir de materiales ricos en vidrios volcánicos, encontrándose en planos escarpados cuyas pendientes van desde el 0% al 35%, siendo alterables fácilmente y pueden generar un horizonte superficial oscuro.

Podzoles (PZ)

Otros suelos que tienen o bien:

- Un horizonte petroplántico que comienza dentro de los 50 cm desde la superficie del suelo.
- Un horizonte plántico que comienza dentro de los 50 cm desde la superficie del suelo.
- Un horizonte plántico que comienza dentro de los 100 cm cuando subyace o bien a un horizonte álbico o a un horizonte con propiedades stágnicas.

Plintosoles (Pt)

Otros suelos que:

- Tienen un horizonte ferrálico a una profundidad entre 25 y 200 cm.

SUELOS CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

- No tienen un horizonte nítico dentro de los 100 cm.
- No tienen una capa que cumple los requisitos de un horizonte árgico y que tiene en los 30 cm superiores, 10% o más de arcilla dispersable en agua (a menos que el material de suelo tenga propiedades géricas o más de 1,4% de carbono orgánico).

Ferralsoles (FR)

Otros suelos que tienen:

- Un horizonte nátrico dentro de los 100 cm desde la superficie del suelo.
- Suelos profundamente meteorizados, cuya coloración característica es rojo o amarillo de los trópicos húmedos, estos suelos tienen una particularidad de que sus límites son difusos entre horizontes, cuentan con un conjunto de arcillas de baja actividad (principalmente la caolinita) y un alto contenido de sesquióxidos

Solonetz (SZ)

Otros suelos que tienen:

- Un horizonte eluvial, cuyo límite inferior está marcado dentro de los 100 cm por un cambio textural abrupto asociado con propiedades stágnicas por encima del límite.
- No tienen lenguas albelúvicas.

Planosoles (PL)

Otros suelos que tienen:

- Un horizonte mólico con un croma húmedo de 2 o menos si la textura es más fina que franco arenosa, o menos de 3,5 si la textura es franco arenosa o más gruesa, ambos hasta una profundidad de por lo menos 20 cm, o que tienen estos cromas directamente por debajo de una capa arable.
- Concentraciones de carbonatos secundarios que comienzan dentro de los 50 cm del límite inferior del horizonte A, pero dentro de los 200 cm desde la superficie del suelo.
- No tienen horizonte petrocálcico entre 25 y 100 cm desde la superficie del suelo.
- No tienen yeso secundario.
- No tienen granos de limo y arena sin revestir sobre las superficies de agregados estructurales.

Chernozems (CH)

Otros suelos que tienen:

- Un horizonte mólico con un croma húmedo de más de 2 hasta una profundidad de por lo menos 20 cm, o que tienen este croma directamente por debajo de una capa arable.
- Concentraciones de carbonatos secundarios dentro de los 100 cm desde la superficie del suelo.
- No tienen otros horizontes de diagnóstico que no sean un horizonte árgico, cálcico, cámbico, gípsico o vértico.

Kastanozems (KS)

Otros suelos que tienen:

- Un horizonte mólico.
- Una saturación con bases (por NH_4OAc 1M) de 50% o más y una matriz del suelo libre de carbonato de calcio por lo menos hasta una profundidad de 100 cm, o hasta una capa contrastante (contacto lítico o paralítico, horizonte petrocálcico) entre 25 y 100cm.
- No tienen otros horizontes de diagnóstico que no sean un horizonte álbico, árgico, cámbico o vértico, o un horizonte petrocálcico en el sustrato.

Phaeozems (PH)

Otros suelos que tienen:

- Un horizonte gípsico o petrogípsico dentro de los 100 cm desde la superficie del suelo, o 15 por ciento (en volumen) o más de yeso, que se ha acumulado bajo condiciones hidromórficas, promediado sobre una profundidad de 100 cm.
- No tienen otros horizontes de diagnóstico que no sean un horizonte ócrico o cámbico, un horizonte árgico impregnado con yeso o carbonato de calcio, un horizonte vértico, o un horizonte cálcico o petrocálcico subyaciendo al horizonte gípsico.

Gipsisoles (GY)

Otros suelos que tienen:

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

- Un horizonte dúrico o petrodúrico dentro de los 100 cm desde la superficie del suelo.
- Un horizonte con contenido de acumulación de yeso, cuando son profundos puede sembrarse con una amplia variedad de cultivos, con una limitante del rendimiento ya que presentan horizontes endurecidos o petrogípsico a poca profundidad.
- Grandes superficies de este suelo se utilizan como pastizales-
- Los gipsisoles que contienen una escasa cantidad de yeso en los 30 cm de la capa superior, pueden ser utilizados en la producción de gramíneas, algodón, alfalfa, etc-+.

Durisoles (DU)

Otros suelos que tienen:

- Un horizonte cálcico o petrocálcico dentro de los 100 cm desde la superficie.
- No tienen otros horizontes de diagnóstico que no sean un horizonte ócrico o cámbico, un horizonte árgico que es calcáreo, un horizonte vértico, o un horizonte gípsico subyaciendo a un horizonte petrocálcico.

Calcisoles (CL)

Otros suelos que tienen:

- un horizonte árgico dentro de los 100 cm desde la superficie del suelo con un límite superior irregular resultado de lenguas albelúvicas dentro del horizonte árgico.

AlbeluvisoleS (AB)

Otros suelos que tienen:

- Un horizonte árgico, que tiene una capacidad de intercambio catiónico (por NH_4OAc 1 M) de 24 cmolc kg^{-1} de arcilla o más, que comienza dentro de los 100 cm desde la superficie del suelo, o dentro de los 200 cm desde la superficie del suelo si por encima del horizonte árgico la textura es arenoso franca o más gruesa en todo el espesor.
- Propiedades álicas en la mayor parte entre 25 y 100 cm desde la superficie del suelo.
- No tienen otros horizontes de diagnóstico que no sean un horizonte ócrico, úmbrico, álbico, ándico, férrico, nítrico, plíntico o vértico.
-

Alisoles (AL)

Otros suelos que tienen:

- Un horizonte nítico que comienza dentro de los 100 cm desde la superficie del suelo.
- Límites graduales a difusos entre el horizonte superficial y el subyacente.
- Ausencia de horizonte férrico, plántico o vértico dentro de los 100 cm desde la superficie del suelo.

Nitisoles (NT)

Otros suelos que tienen:

- Un horizonte árgico, que tiene una capacidad de intercambio catiónico (por NH_4OAc 1M) menor de 24 cmolc kg^{-1} de arcilla en alguna parte, comenzando dentro de los 100 cm, o dentro de los 200 cm desde la superficie del suelo si por encima del horizonte árgico la textura es arenoso franca o más gruesa en todo el espesor.
- La saturación con bases (por NH_4OAc 1M) es menor de 50% en la mayor parte entre 25 y 100 cm.

Acrisoles (AC)

Otros suelos que tienen:

- un horizonte árgico con una capacidad de intercambio catiónico (por NH_4OAc 1 M) igual o mayor a 24 cmolc kg^{-1} de arcilla en todo su espesor.

Luvisoles (LV)

Otros suelos que tienen un horizonte árgico.

Lixisoles (LX)

Otros suelos que tienen:

- Un horizonte úmbrico.
- No tienen otros horizontes de diagnóstico que no sea un horizonte antropedogénico de menos de 50 cm de espesor, o un horizonte álbico o cámbico.

SUELOS CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

Umbrisoles (UM)

Otros suelos que tienen:

- Un horizonte cámbico.
- Un horizonte mólico por encima de un subsuelo que tiene una saturación con bases (por NH_4OAc 1 M) menor de 50% en alguna parte dentro de los 100 cm.
- Uno de los siguientes horizontes de diagnóstico dentro de la profundidad especificada:
 - a). un horizonte ándico, vértico o vítrico que comienza entre 25 y 100 cm.
 - b). un horizonte plántico, petroplántico o sálico que comienza entre 50 y 100 cm, en ausencia de textura arenoso franca o más gruesa por encima de estos horizontes.

Cambisoles (CM)

Otros suelos que tienen:

- Una textura arenoso franca o más gruesa o bien hasta una profundidad de por lo menos 100 cm desde la superficie del suelo, o hasta un horizonte plántico, petroplántico o sálico entre 50 y 100 cm desde la superficie del suelo.
- Menos de 35% (en volumen) de fragmentos de roca u otros fragmentos gruesos dentro de los 100 cm desde la superficie del suelo.
- No tiene otros horizontes de diagnóstico que no sean un horizonte ócrico, yérmico o álbito, o un horizonte plántico, petroplántico o sálico debajo de los 50 cm desde la superficie del suelo, o un horizonte árgico o spódico debajo de los 200 cm de profundidad.

Arenosoles (AR)

Otros suelos que tienen

- Permeabilidad, en los que el agua se infiltra a una gran velocidad, por lo cual es muy escaso el almacenamiento de agua retenida en el perfil para el crecimiento y desarrollo vegetal.
- Carecen de una serie de nutrientes, excepto en los ambientes áridos en donde el proceso de evaporación da lugar a una matriz rica en sales, pero una baja estructuración.

Regosoles (RG)

2.1.2. Horizontes de diagnóstico

Se describen los horizontes de diagnóstico definidos por la FAO, ISRIC y SICS (1999), entre los que se encuentran:

- | | |
|---------------------------|---------------------------|
| → Horizonte álbico | → Horizonte melánico |
| → Horizonte ándico | → Horizonte nátrico |
| → Horizonte antrácuico | → Horizonte nítico |
| → Horizonte antropogénico | → Horizonte ócrico |
| → Horizonte árgico | → Horizonte petrocálcico |
| → Horizonte cálcico | → Horizonte petrogípsico |
| → Horizonte cámbico | → Horizonte petroplántico |
| → Horizonte chérnico | → Horizonte plántico |
| → Horizonte críco | → Horizonte sálico |
| → Horizonte dúrico | → Horizonte spódico |
| → Horizonte ferrálico | → Horizonte sulfúrico |
| → Horizonte férrico | → Horizonte takírico |
| → Horizonte fólico | → Horizonte úmbrico |
| → Horizonte frágico | → Horizonte vértico |
| → Horizonte fúlvico | → Horizonte vítrico |
| → Horizonte gípsico | → Horizonte yérmico |
| → Horizonte hístico | |

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

Tabla 8.

Horizonte álbico

HORIZONTE ÁLBICO	
Descripción general:	
- El horizonte álbico (L. albus, blanco) es un horizonte subsuperficial de color claro, del cual se han removido la arcilla y óxidos de hierro libres, o en el que los óxidos han sido segregados. - Tiene estructura de suelo débilmente expresada o carece completamente de estructura. - Los límites superior e inferior son abruptos o claros, su morfología es variable y a veces asociada con lenguas albelúvicas. - Su textura es más gruesa que los horizontes supra o subyacentes. - Están asociados con exceso de agua y contienen propiedades gléyicas o stágnicas.	
Criterios de diagnóstico:	
Un horizonte álbico debe tener: - Color Munsell, seco: - a). valor de 7 u 8 y un croma de 3 o menos. - b). valor de 5 o 6 y un croma de 2 o menos. - Color Munsell, húmedo: - a). valor de 6, 7 u 8 con un croma de 4 o menos. - b). valor de 5 y un croma de 3 o menos. - c). valor de 4 y un croma de 2 o menos 5. Un croma de 3 se permite si los materiales originarios tienen un hue de 5YR o más rojo, y el croma se debe al color de los granos de limo o arena sin revestimientos. - Espesor: al menos de 1 cm.	
Identificación en el campo:	
Su identificación se basa en los colores del suelo Munsell. Además, puede hacerse un control usando una lupa de mano de 10x para verificar la ausencia de revestimientos en las partículas de tamaño arena y limo.	
Características adicionales:	
- La presencia de revestimientos puede determinarse usando un microscopio óptico. - Los granos no revestidos muestran un borde muy fino en su superficie. - Los revestimientos pueden ser de naturaleza orgánica, consistir de óxidos de hierro, o ambos, y son de color oscuro bajo luz translúcida. Los revestimientos de hierro son de color rojizo bajo luz reflejada, mientras que los revestimientos orgánicos permanecen negro-parduscos.	
Relaciones con otros horizontes de diagnóstico.	

- Estos horizontes están por debajo de horizontes superficiales enriquecidos en humus, pero pueden estar en la superficie debido a erosión o remoción artificial de la capa superficial.
- Pueden considerarse como un tipo extremo de horizonte eluvial, y ocurren asociados con horizontes iluviales tales como un horizonte árgico, nátrico o spódico, al que suprayacen.
- En materiales arenosos, pueden alcanzar un espesor considerable, hasta varios metros, especialmente en regiones tropicales húmedas, y los horizontes de diagnóstico asociados pueden ser difíciles de establecer.

Tabla 9.

Horizonte ándico

HORIZONTE ÁNDICO	
Descripción general:	
• El horizonte ándico (del Japonés An: oscuro, y Do: suelo) es el resultado de la meteorización moderada de depósitos piroclásticos; pero, también pueden estar con materiales volcánicos. • Su mineralogía está dominada por minerales de bajo grado de ordenamiento. • Pueden encontrarse tanto en la superficie como subsuperficialmente; también ocurren frecuentemente como capas, separadas por capas no ándicas. • Como horizonte superficial, contienen elevada cantidad de materia orgánica (más del 5%), son de color muy oscuro, tienen macroestructura esponjosa y consistencia grasosa; son livianos, y su textura es franco limosa o más fina. Además, si son ricos en materia orgánica pueden ser muy profundos, alcanzando con frecuencia un espesor de 50 cm o más. • Los horizontes ándicos subsuperficiales generalmente son de color algo más claro. • Pueden tener propiedades diferentes dependiendo del tipo de proceso de meteorización dominante que actúa sobre el material de suelo. • Pueden exhibir tixotropía. • En climas perhúmedos, los horizontes ándicos ricos en humus pueden contener más del 100% (en volumen) comparado con su volumen seco en estufa (característica hídrica). • Se reconocen dos tipos principales de horizontes ándicos: sil-ándico y alu-ándico.	
Criterios de diagnóstico:	
Debe tener las siguientes propiedades físicas, químicas y mineralógicas: • Densidad aparente a capacidad de campo (sin secado previo) menor de 0.9 kg dm⁻³. • 10 % o más arcilla y un valor Alox + ½Feox 6 en la fracción tierra fina de 2% o más. • Retención de fósforo de 70% o más.	

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

- Contenido de vidrio volcánico en la fracción tierra fina menor de 10%.
- Espesor de por lo menos 30 cm.

Identificación en el campo:

- Pueden identificarse usando la prueba de campo de pH NaF.
- Un pH NaF de más de 9.5 indica una presencia abundante de productos alofánicos y/o complejos alúmino-orgánico. La prueba es indicativa para la mayoría de los horizontes ándicos, excepto para aquellos muy ricos en materia orgánica. Sin embargo, la misma reacción ocurre en horizontes spódicos y en ciertos suelos arcillosos ácidos, que son ricos en minerales interestratificados con aluminio.
- Los horizontes sil-ándicos generalmente tienen un pH (H₂O) de campo de 5 o más, mientras que los horizontes alu-ándicos tienen principalmente un pH (H₂O) de campo menor de 4.5. Si el pH (H₂O) está entre 4.5 y 5, pueden ser necesarias pruebas adicionales para establecer el carácter 'alu-' o 'sili-' del horizonte ándico.

Relaciones con otros horizontes de diagnóstico.

- Los horizontes vítricos se distinguen de los horizontes ándicos por su menor grado de meteorización.
- Para separar horizontes ándicos ricos en materia orgánica de horizontes hísticos y fólicos, no se permite que los horizontes ándicos contengan más del 20% de carbono orgánico, mientras que no se permite que los horizontes hísticos con un contenido de carbono orgánico entre 12% y 20% tengan propiedades asociadas con horizontes ándicos.
- Los horizontes spódicos, pueden tener características similares a los horizontes ándicos ricos en complejos alúmino-orgánicos.
- Los horizontes spódicos tienen por lo menos el doble de Alox + ½Feox que un horizonte úmblico, ócrico o albico suprayacente. Normalmente esto no se aplica a los horizontes ándicos en los cuales los complejos alúmino-orgánicos son virtualmente inmóviles.

Tabla 10.

Horizonte antropedogénicos

HORIZONTE ANTROPEDOGÉNICOS
Descripción general:
• Los horizontes antropedogénicos (del Gr. anthropos, humano, y pedogénesis) comprenden una variedad de horizontes superficiales y subsuperficiales que son el resultado del cultivo prolongado y continuado. • Sus características y propiedades dependen de las prácticas de manejo del suelo utilizadas.

- Difieren de los materiales de suelo antropogénicos, que son materiales minerales u orgánicos no consolidados que resultan en gran parte de rellenos de tierras, desechos de minería, rellenos urbanos, vertederos de basura, dragados, etc., producidos por actividades humanas. Estos materiales, sin embargo, no han estado sujetos a períodos de tiempo suficientemente largos como para recibir la marca de procesos pedogenéticos.
- Los horizontes antropedogénicos que se distinguen son: térrico, irrágrico, plágico, hórtico, antrácuico e hidrágico.
- Ocurren en áreas pequeñas en muchas partes del mundo, de manera notable en las antiguas tierras arables de Europa occidental, en antiguas planicies regadas del Cercano Oriente y China, en los antiguos paisajes aterrazados en la región Mediterránea y la península Arábiga, y en sitios aislados en Norte y Sudamérica asociados con ocupación indígena continua y prolongada, así como en las áreas donde se ha cultivado arroz inundado por largo tiempo.

Criterios de diagnóstico:

- Un horizonte térrico (del L. terra, tierra) se desarrolla a través de la adición de abonos terrosos, compost o barro por un largo período de tiempo. Tiene una diferencia textural des uniforme con la profundidad. Su color se relaciona con el material de origen o el sustrato subyacente. La saturación con bases (por NH_4OAc 1 M) es de más del 50%.
- Un horizonte irrágrico (del L. irrigare, regar, y agricolare, cultivar) es una capa superficial de color claro (value y croma Munsell, húmedo, es más de 3), uniformemente estructurada, desarrollada a través del riego continuo y prolongado con aguas ricas en sedimentos. Arcilla y carbonatos tienen distribución homogénea y tiene mayor contenido de arcilla, particularmente arcilla fina, que el suelo original subyacente. Entre las fracciones arena media, fina y muy fina la diferencial relativa no son mayores del 20%. Tiene un contenido promedio ponderado de carbono orgánico de más de 0.5%, disminuyendo con la profundidad pero siendo por lo menos 0.3% en el límite inferior del horizonte irrágrico.
- Un horizonte plágico (del holandés plag, tierra vegetal ('sod')) tiene una textura uniforme, generalmente arenosa o arenosa franca. El contenido promedio ponderado de carbono orgánico es más del 0.6%. La saturación con bases (por NH_4OAc 1 M) es menor del 50% mientras que el contenido de P_2O_5 extractable en ácido cítrico al 1% es alto, por lo menos más del 0.025% dentro de los 20 cm desde la superficie, pero frecuentemente más del 1%.
- Un horizonte hórtico (del L. hortus, huerta) resulta de la labranza profunda, fertilización intensiva y/o aplicación prolongada de desechos humanos, animales y otros residuos orgánicos. Es un horizonte de color oscuro con value y croma Munsell (húmedo) de 3 o menos. Tiene un contenido promedio ponderado de carbono orgánico de 1% o más, y el contenido de P_2O_5 extractable en NaHCO_3 0.5 M es más de 100 mg kg^{-1} de tierra fina en los 25 cm superiores (Gong et al., 1997). La saturación con bases (por NH_4OAc 1 M) es 50% o más.
- Un horizonte antrácuico (del Gr. *anthropos*, humano, y L. *aqua*, agua) comprende una capa enlodada ('puddled') y un piso de arado. Característicamente, el piso de arado tiene estructura laminar. Es compactado y tiene tasa de infiltración muy baja.

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

Muestra moteados herrumbre pardo amarillentos, pardos o pardo rojizos a lo largo de grietas y canales de raíces. La densidad aparente del piso de arado es de por lo menos 20% (relativo) mayor que la de la capa enlodada, mientras que su porosidad es 10 a 30% (relativo) inferior que la porosidad de la capa enlodada. La porosidad no capilar es 2 a 5% (alrededor de 60% (relativo) de la porosidad no capilar de la capa enlodada asociada).

- Un horizonte hidrágico (del Gr. hydros, agua, y L. agricolare, cultivar) es un horizonte subsuperficial asociado con la labranza inundada, con una o más de las siguientes características: capas de acumulación de hierro - manganeso o revestimientos iluviales de Fe y Mn; el hierro extractable en ditionito-citrato es 2 veces o más, el manganeso extractable en ditionito-citrato es 4 veces o más, el del horizonte(s) superficial; concentraciones redox; empobrecimientos redox con un value ≥ 4 y croma ≤ 2 en macroporos asociados con labranza inundada; y espesor de más de 10 cm.

Identificación en el campo:

- Los horizontes térrico, irrágico y plágico muestran evidencias de elevación de la superficie. Están mezclados y contienen artefactos como: fragmentos de alfarería, restos o desechos culturales, los que son muy pequeños (menos de 1 cm de diámetro) y muy desgastados.
- Los horizontes térrico y plágico se construyen gradualmente hacia arriba a partir de adiciones terrosas (abonos, tierra vegetal o materiales terrosos mezclados con estiércol de corral, basura, barro, arenas de playa, etc.) y pueden contener piedras distribuidas al azar, mientras que el horizonte irrágico se construye gradualmente hacia arriba a partir de depósitos de riego.
- Son pocas las características de suelo que diferencian al horizonte térrico del plágico. El horizonte térrico generalmente muestra una alta actividad biológica, tiene reacción del suelo neutra a ligeramente alcalina (el pH (H₂O) normalmente es más de 7.0), y puede contener calcáreo libre. El color está fuertemente relacionado con el material de origen o el sustrato subyacente. Pueden observarse suelos enterrados en la base del horizonte, aunque el contacto puede estar disimulado por mezcla.
- El horizonte plágico tiene color pardusco o negruzco, relacionado con el material de origen y su reacción del suelo es ligeramente a fuertemente ácida. Muestra evidencias de operaciones agrícolas tales como marcas de palas así como antiguas capas de laboreo. Los horizontes plágicos generalmente están por encima de suelos enterrados aunque las capas superficiales originales pueden estar mezcladas. El límite inferior generalmente es claro.
- El horizonte irrágico muestra evidencias de actividad biológica considerable y tiene más del 25% en volumen de canales de lombrices rellenos. El límite inferior es claro y puede haber depósitos de irrigación por debajo. El horizonte hórtico también está completamente mezclado y no se preserva estratificación si la hubo originalmente. Los artefactos y restos culturales son comunes, pero generalmente muy desgastados. Las cuevas de lombrices rellenas ocupan más del 25% del volumen. Puede haber marcas de labranzas o evidencias del mezclado del suelo. Pueden preservarse suelos enterrados, pero generalmente están incorporados en el horizonte.

- El horizonte antrácuico comprende la capa enlodada ('puddled') y el piso de arado de un suelo bajo cultivo inundado continuo y prolongado. La capa enlodada tiene colores asociados con reducción, acompañados por moteados de bajo hue y cutanes de Fe-Mn sobre caras de agregados y paredes de poros. Es muy dispersable, presenta ordenamiento de agregados y tiene poros vesiculares.
- El horizonte hidrárgico tiene o bien rasgos de reducción en poros tales como revestimientos o halos con un hue de 2.5Y o más amarillo y un croma (húmedo) de 2 o menos, o segregaciones de hierro y/o manganeso en la matriz como resultado del ambiente oxidante. Generalmente muestra cutanes grises de arcilla y limo fino y cutanes de arcilla, limo y humus sobre caras de agregados.

Tabla 11.

Horizonte árgico

HORIZONTE ÁRGICO	
Descripción general:	
• El horizonte árgico (del L. arcilla, arcilla blanca) es subsuperficial, tiene mayor contenido de arcilla que el horizonte suprayacente; la diferenciación textural puede estar causada por una acumulación iluvial de arcilla, por formación pedogenética de arcilla predominante en el subsuelo o destrucción de arcilla en el horizonte superficial, por erosión superficial selectiva de arcilla, por actividad biológica, o por una combinación de dos o más de estos procesos. • La sedimentación de materiales superficiales que son más gruesos que el horizonte superficial pueden intensificar una diferenciación textural pedogenética; sin embargo, una mera discontinuidad litológica, tal como puede ocurrir en depósitos aluviales, no califica como un horizonte árgico. • Los suelos con horizontes árgicos frecuentemente tienen un conjunto específico de propiedades morfológicas, físico-químicas y mineralógicas además del mero incremento de arcilla. Estas propiedades permiten distinguir varios tipos de horizontes 'árgicos' y trazar sus vías de desarrollo (Sombroek, 1986). • Los principales subtipos son: horizonte lixi-, luvi-, abrupti- y plan-árgico, y horizontes nátrico y nítico.	
Criterios de diagnóstico:	
Un horizonte árgico debe tener: • Textura franco arenosa o más fina y por lo menos 8% de arcilla en la fracción tierra fina. • Más arcilla total que el horizonte suprayacente de textura más gruesa (excluyendo las diferencias que resultan sólo de una discontinuidad litológica) de modo que: - a). si el horizonte suprayacente tiene menos del 15% de arcilla total en la fracción tierra fina, el horizonte árgico debe contener por lo menos 3% más de arcilla.	

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

b). si el horizonte suprayacente tiene 15% o más y menos del 40% de arcilla total en la fracción tierra fina, la relación de arcilla en el horizonte árgico a la del horizonte suprayacente debe ser 1.2 o más

c). si el horizonte suprayacente tiene 40% o más arcilla total en la fracción tierra fina, el horizonte árgico debe contener por lo menos 8% más arcilla.

- Un incremento en el contenido de arcilla dentro de una distancia vertical de 30 cm si un horizonte árgico está formado por iluviación de arcilla. En cualquier otro caso el incremento en el contenido de arcilla entre el horizonte suprayacente y el árgico debe alcanzarse dentro de una distancia vertical de 15 cm.
- Ausencia de estructura de roca autóctona en por lo menos la mitad del volumen del horizonte.
- Espesor de por lo menos un décimo de la suma del espesor de todos los horizontes suprayacentes y por lo menos 7.5 cm de espesor. Si el horizonte árgico está completamente compuesto de lamelas, las lamelas deben tener un espesor combinado de por lo menos 15 cm. El horizonte de textura más gruesa por encima del horizonte árgico debe tener por lo menos 18 cm de espesor o 5 cm si la transición textural al horizonte árgico es abrupta (ver cambio textural abrupto).

Identificación en el campo:

- La diferenciación textural es el rasgo principal para reconocer los horizontes árgicos en el campo.
- La naturaleza iluvial puede establecerse en el campo usando una lupa de mano de 10x si ocurren barnices de arcilla claros sobre superficies de agregados, en fisuras, en poros y en canales. Un horizonte árgico 'iluvial' debería mostrar barnices de arcilla por lo menos en alguna parte en por lo menos 5 por ciento de ambas caras horizontales y verticales de agregados y en los poros.
- Los barnices de arcilla frecuentemente son difíciles de detectar en suelos con una mineralogía esmectítica ya que estos se destruyen regularmente por movimientos de expansióncontracción. La presencia de barnices de arcilla en posiciones 'protegidas', por ejemplo, en poros, debería ser suficiente para cumplir los requisitos de un horizonte árgico 'iluvial'.

Características adicionales:

- El carácter iluvial de un horizonte árgico puede establecerse mejor usando cortes delgados.
- Los horizontes de diagnóstico árgicos 'iluviales' deben mostrar áreas con arcilla orientada que constituyan en promedio por lo menos 1% de todo el corte transversal. Otras pruebas involucradas son el análisis de la distribución por tamaño de partícula, para determinar el incremento en contenido de arcilla en una profundidad especificada, y el análisis arcilla fina/arcilla total.
- En horizontes árgicos 'iluviales' la relación arcilla fina/arcilla total es mayor que en los horizontes suprayacentes, causada por la eluviación preferencial de partículas de arcilla fina. Si el suelo muestra una discontinuidad litológica sobre o dentro del horizonte árgico, o si el horizonte superficial ha sido removido por erosión, o si sólo hay una capa arable por encima del horizonte árgico, la naturaleza iluvial debe

establecerse claramente. Una discontinuidad litológica, si no es clara en el campo (datos), puede identificarse por el porcentaje de arena gruesa, arena fina y limo, calculados sobre base libre de arcilla (distribución por tamaño de partícula internacional o usando los agrupamientos adicionales del sistema del USDA u otro), o por cambios en el contenido de gravas y fracciones más gruesas.

- Un cambio de por lo menos 20 por ciento (relativo) de cualquiera de las principales fracciones por tamaño de partícula pueden considerarse como de diagnóstico para una discontinuidad litológica. Sin embargo, sólo debe tenerse en cuenta si está localizada en la sección del perfil donde ocurre el incremento de arcilla y si hay evidencia de que la capa suprayacente era de textura más gruesa. Aunque esta es una manera simplificada de tratar las discontinuidades litológicas, no puede hacerse mucho más con los datos comúnmente disponibles. Por otra parte, las discontinuidades de tamaño de partícula son de interés principal para el horizonte árgico y van a mostrar si el material suprayacente era muy diferente y más grueso, aún sin considerar pérdida de arcilla debida a eluviación u otros procesos.

Relaciones con otros horizontes de diagnóstico.

- Los horizontes árgicos normalmente están asociados con y situados debajo de horizontes eluviales, por ejemplo, horizontes de los cuales han sido removidos arcilla y hierro.
- Los horizontes árgicos pueden ocurrir en la superficie como resultado de erosión o remoción de los horizontes suprayacentes.
- Algunos horizontes con incremento de arcilla pueden tener el conjunto de propiedades que caracterizan al horizonte ferrálico, por ejemplo, una CIC y CICE (CIC efectiva) bajas, un bajo contenido de arcilla dispersable en agua y un bajo contenido de minerales meteorizables, en una profundidad de 50 cm. En tales casos un horizonte ferrálico tiene preferencia sobre un horizonte árgico para propósitos de clasificación. Sin embargo, un horizonte árgico prevalece si está por encima de un horizonte ferrálico y tiene, en su parte superior por una profundidad de 30 cm, 10% o más arcilla dispersable en agua, a menos que el material de suelo tenga propiedades géricas o más de 1,4% de carbono orgánico.
- Los horizontes árgicos tampoco tienen la estructura y saturación con sodio que son características del horizonte nátrico

Tabla 12.

Horizonte cálcico

HORIZONTE CÁLCICO
Descripción general:
• El horizonte cálcico (del L. calxis, calcáreo) es un horizonte en el cual se ha acumulado carbonato de calcio secundario (CaCO_3), en forma difusa, o en concentraciones discontinuas

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

- La acumulación puede estar en el material originario, o en horizontes subsuperficiales, pero también puede ocurrir en horizontes superficiales como resultado de la erosión.
- Si la acumulación de carbonatos blandos se vuelve tal que desaparecen todas o la mayor parte de las estructuras pedológicas y/o litológicas y prevalecen concentraciones continuas de carbonato de calcio, el horizonte se denomina horizonte hipercálcico.

Criterios de diagnóstico:

Debe tener:

- Contenido de carbonato de calcio equivalente en la fracción tierra fina de 15% o más (para horizontes hipercálcicos más del 50% de carbonato de calcio equivalente en la fracción tierra fina).
- Espesor de por lo menos 15 cm, también para el horizonte hipercálcico.

Identificación en el campo:

- La presencia de carbonato de calcio puede identificarse en el campo usando una solución al 10% de HCl; es así que, el grado de efervescencia es un indicio de la cantidad de calcáreo presente. Esta prueba es importante si sólo se encuentran presentes distribuciones difusas.
- Otras señales de la presencia de un horizonte cálcico o hipercálcico son:
 - a). Colores del suelo que son más o menos blanco, rosado a rojizo, o gris;
 - b). Baja porosidad
- El contenido de carbonato de calcio puede disminuir con la profundidad, pero esto es frecuentemente difícil de establecer, particularmente si el horizonte cálcico ocurre en el subsuelo profundo.

Características adicionales:

- La determinación de la cantidad de carbonato de calcio y los cambios dentro del perfil de suelo del contenido de carbonato de calcio son los principales criterios analíticos para establecer la presencia de un horizonte cálcico.
- La determinación del pH (H_2O) permite diferenciar acumulaciones con un carácter básico ('cálcico') (pH 8.0 - 8.7) debido al predominio de $CaCO_3$, de aquellas con un carácter ultrabásico ('no-cálcico') (pH >8.7) debido a la presencia de $MgCO_3$ o Na_2CO_3 .
- El análisis microscópico de cortes delgados puede revelar la presencia de formas de disolución en horizontes por encima o por debajo de un horizonte cálcico, evidencia de epigénesis de silicato (sustitución isomórfica de cuarzo por calcita), o la presencia de otras estructuras de acumulación de carbonato de calcio, mientras que el análisis de la mineralogía de arcilla de los horizontes cálcicos frecuentemente muestra arcillas características de ambientes confinados, tal como montmorillonitas, attapulgitas y sepiolitas.

Relaciones con otros horizontes de diagnóstico.

- Cuando los horizontes hipercálcicos se vuelven endurecidos, tiene lugar la transición al horizonte petrocálcico, cuya expresión puede ser estructuras masivas o laminares.
- En regiones secas y en presencia de soluciones del suelo o freáticas ricas en sulfato, los horizontes cálcicos ocurren asociados con horizontes gípsicos.
- Los horizontes cálcico y gípsico generalmente ocupan posiciones diferentes en el perfil de suelo debido a la diferencia en solubilidad del carbonato de calcio y el yeso, y normalmente pueden distinguirse uno de otro con claridad por la diferencia en morfología.
- Los cristales de yeso tienden a ser aciculares, con frecuencia visibles a simple vista, mientras que los cristales de carbonato de calcio son de tamaño mucho más pequeños.

Tabla 13.

Horizonte cámbico

HORIZONTE CÁMBICO	
Descripción general:	
• El horizonte cámbico (del L. cambiare, cambiar) es un horizonte subsuperficial que muestra evidencias de alteración respecto de horizontes subyacentes. • No tiene el conjunto de propiedades de diagnóstico de un horizonte ferrálico, árgico, nátrico o spódico ni el color oscuro, contenido de materia orgánica y estructura de un horizonte hístico, fólico, mólico o úmbrico.	
Criterios de diagnóstico:	
Un horizonte cámbico debe tener: • Textura franco arenosa o más fina en la fracción tierra fina • Estructura del suelo por lo menos moderadamente desarrollada o la estructura de roca autóctona está ausente en por lo menos la mitad del volumen del horizonte • Evidencia de alteración en una o más de las siguientes formas: a). croma más fuerte, más rojo, o mayor contenido de arcilla que el horizonte subyacente; o b). evidencia de remoción de carbonatos. Un horizonte cámbico siempre tiene menos carbonato que un horizonte subyacente con acumulación de carbonato de calcio. Sin embargo, no todos los carbonatos primarios tienen que ser lavados de un horizonte para que éste califique como horizonte cámbico. Si todos los fragmentos gruesos en el horizonte subyacente están completamente revestidos con calcáreo, algunos de estos fragmentos en el horizonte cámbico están parcialmente libres de revestimientos. Si los fragmentos gruesos en el horizonte que muestra acumulación de carbonato de calcio están revestidos sólo en la parte inferior, aquellos en el horizonte cámbico deben estar libres de revestimientos. c). si los carbonatos están ausentes en el material originario y en el polvo que cae sobre el suelo, la evidencia de alteración requerida se satisface por la presencia de estructura de suelo y ausencia de estructura de roca.	

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

- No tiene la consistencia quebradiza (en húmedo) típica de un horizonte frágico.
- No tienen capacidad de intercambio catiónico (por NH_4OAc 1 M) de más de 16 cmolc kg^{-1} de arcilla; o -una capacidad de intercambio catiónico efectiva (suma de bases intercambiables más acidez intercambiable en KCl 1 M) menor de 12 cmolc kg^{-1} de arcilla; o -un contenido de 10% o más de minerales meteorizables en la fracción 50-200 μm .
- Espesor de por lo menos 15 cm y una base por lo menos a 25 cm debajo de la superficie del suelo.

Relaciones con otros horizontes de diagnóstico.

- Relaciones con algunos otros horizontes de diagnóstico. Los requisitos de capacidad de intercambio catiónico/capacidad de intercambio catiónico efectiva/minerales meteorizables separan al horizonte cámbico del horizonte ferrálico.

Tabla 14.

Horizonte chérnico

HORIZONTE CHÉRNICO	
Descripción general:	
• El horizonte chérnico (del ruso chern, negro) es un tipo especial de horizonte mólico. Es un horizonte superficial profundo, bien estructurado, negruzco, con alta saturación con bases, elevado contenido de materia orgánica y actividad biológica alta.	
Criterios de diagnóstico:	
Debe tener: • Estructura de suelo granular o en bloques subangulares finos. • Ambas muestras partidas y apelmazadas con croma Munsell menor de 2.0 en húmedo, value más oscuro que 2.0 en húmedo y 3.0 en seco. Si hay más del 40% de calcáreo finamente dividido, o si la textura del horizonte es franco arenosa o más gruesa, se omiten los límites del value en seco; el value, húmedo, debe ser 3 o menos. El value debe ser por lo menos una unidad más oscura que el del C11 (ambos húmedo y seco), a menos que el suelo derive de material originario de color oscuro, en cuyo caso se omite el requisito de contraste de color. Si no hay presente un horizonte C, la comparación debe hacerse con el horizonte inmediatamente por debajo del horizonte superficial. Los requisitos de color mencionados se aplican a los 15 cm superiores del horizonte chérnico, o inmediatamente por debajo de una capa arable • 50% o más (en volumen) del horizonte consiste en canales de lombrices, y canales de lombrices y cuevas de animales rellenos. • Un contenido de carbono orgánico de por lo menos 1.5% (2.5% de materia orgánica) en todo el espesor del suelo mezclado. El contenido de carbono orgánico es por lo menos 6% si los requisitos de color se omiten debido a calcáreo finamente dividido,	

o 1.5% más que el horizonte C si los requisitos de color se omiten por el color oscuro del material originario. - Saturación con bases (por NH₄OAc 1 M) de 80 por ciento o más. - Espesor de por lo menos 35 cm. La medida del espesor de un horizonte chérnico incluye horizontes transicionales en los cuales dominan las características del horizonte superficial - por ejemplo, AB, AE o AC.
Identificación en el campo:
El horizonte chérnico puede identificarse por su color negruzco, causado por la acumulación de materia orgánica, estructura bien desarrollada (usualmente granular), alta actividad biológica, principalmente lombrices y otros animales excavadores, y su espesor.
Relaciones con otros horizontes de diagnóstico.
- El carácter especial del horizonte chérnico con respecto al horizonte mólico se expresa por su mayor contenido de carbono orgánico, los requisitos de colores más oscuros, la alta contribución biológica a la estructura del suelo, y su mayor profundidad mínima. - El límite superior del contenido de carbono orgánico es de 12% (20% de materia orgánica) que es el límite inferior del horizonte hístico o 20 por ciento, el límite inferior del horizonte fólico.

Tabla 15.

Horizonte críico

HORIZONTE CRÍICO
Descripción general:
El horizonte críico (del Gr. kryos, frío, hielo) es un horizonte del suelo permanentemente congelado en materiales de suelo mineral u orgánico.
Criterios de diagnóstico:
Debe tener: - Temperatura del suelo en o debajo de 0°C por dos o más años sucesivos. - En presencia de suficiente agua del suelo intersticial, evidencia de crioturbación, levantamiento por helada, selección criogénica, agrietamiento térmico, o segregación de hielo; o en ausencia de suficiente humedad del suelo intersticial, evidencia de contracción térmica del material de suelo congelado. - Macroestructura laminar o en bloques y microestructuras orbiculares, conglomerática y en bandas.

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

Identificación del campo:
- Si hay presente humedad del suelo, muestran evidencia de segregación de hielo perenne y/o procesos criogénicos. - Si el agua intersticial presente es insuficiente, los horizontes críticos son secos pero ocurren rasgos de contracción térmica, aunque más débilmente desarrollados que aquellos en horizontes críticos con mayor contenido de humedad.
Relaciones con otros horizontes de diagnóstico.
- Pueden tener características de horizontes hístico, ándico o spódico, y pueden ocurrir asociados con horizontes sálico, cálcico, mólico, úmblico u ócrico. - En regiones áridas frías pueden encontrarse asociados a los horizontes yérmicos

Tabla 16.

Horizonte dúrico

HORIZONTE DÚRICO
Descripción general:
El horizonte dúrico (del L. durum, duro) es un horizonte subsuperficial que presenta nódulos débilmente cementados hasta endurecidos, cementados por sílice (SiO_2), presumiblemente en forma de ópalo y formas microcristalinas de sílice ("durinodes").
Criterios de diagnóstico:
Debe tener: 10% o más (en volumen) de durinodes con las siguientes propiedades: - a). no se rompen en ácido clorhídrico concentrado (HCl), pero se rompen en hidróxido de potasio concentrado caliente (KOH) luego de tratamiento con HCl; - b). son firmes o muy firmes, y quebradizos en mojado. - c). tienen un diámetro de 1 cm o más - Tener un espesor de 10 cm o más.
Características adicionales:
- Los durinodes secos no se disgregan apreciablemente en agua. - En corte transversal la mayoría de los durinodes son aproximadamente concéntricos.
Relaciones con otros horizontes de diagnóstico.
- En regiones áridas están asociados con horizontes gípsico, petrogípsico, cálcico y petrocálcico. - En climas más húmedos el horizonte dúrico puede gradar a un horizonte frágico.

Tabla 17.

Horizonte ferrálico

HORIZONTE FERRÁLICO	
Descripción general:	
El horizonte ferrálico (del L. ferrum, hierro, y alumen, alumbre) es un horizonte subsuperficial que resulta de meteorización intensa y prolongada, en el cual la fracción arcilla está dominada por arcillas de baja actividad, y las fracciones limo y arena por minerales altamente resistentes, tales como óxidos de hierro, aluminio, manganeso y titanio.	
Criterios de diagnóstico:	
Debe tener: - Un tamaño de partícula franco arenoso o más fino y menos del 90% (en peso) de gravas, piedras o concreciones petroplínticas (hierro-manganeso). - Una capacidad de intercambio catiónico de 16 cmolc kg⁻¹ de arcilla o menos y una capacidad de intercambio catiónico efectiva menor de 12 cmolc kg⁻¹ de arcilla. - Menos del 10% de arcilla dispersable en agua, a menos que el material de suelo tenga propiedades géricas o más de 1.4% de carbono orgánico. - Menos del 10% de minerales meteorizables en la fracción de 50-200 mm. - No tiene características de diagnóstico del horizonte ándico. - Espesor de por lo menos 30 cm.	
Identificación de campo:	
- Están asociados con superficies geomórficas antiguas y estables. - La macroestructura parece moderada a débil; sin embargo, los horizontes ferrálicos típicos tienen microagregación fuerte. - La consistencia es generalmente friable. - Las muestras de mano de horizontes ferrálicos usualmente son relativamente livianas en peso por la baja densidad aparente. - Faltan rasgos de iluviación y tensión tales como barnices de arcilla y caras de presión. - Los límites son difusos con poca diferenciación en color o distribución por tamaño de partículas dentro del horizonte. - Tiene una textura que es franco arenosa o más fina en la fracción tierra fina y tiene menos de 90% (en peso) de gravas, piedras o concreciones petroplínticas.	
Características adicionales:	
Como alternativa al requisito de minerales meteorizables, puede ser indicativa una reserva total de bases menor de 25 cmolc kg⁻¹ de suelo.	

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

Relaciones con otros horizontes de diagnóstico.
- Pueden cumplir el requisito de incremento de arcilla que caracteriza al horizonte árgico. - Si los 30 cm superiores del horizonte con incremento de arcilla contienen 10% o más arcilla dispersable en agua, un horizonte árgico tiene preferencia sobre un horizonte ferrálico para propósitos de clasificación, a menos que el material de suelo tenga propiedades géricas o más de 1.4% de carbono orgánico. - El Fe, Al y Si (Alox, Feox, Siox) extractables en oxalato de amonio ácido (pH 3) en horizontes ferrálicos es muy bajo, lo que lo separa de los horizontes ándico y nítico. - El límite con el horizonte cámbico está formado por los requisitos de capacidad de intercambio catiónico/capacidad de intercambio catiónico efectiva/minerales meteorizables. - Algunos horizontes cámbicos tienen baja capacidad de intercambio catiónico; sin embargo, la cantidad de minerales meteorizables (o, alternativamente, la reserva total de bases) es demasiado alta para un horizonte ferrálico. Tales horizontes representan un estado avanzado de meteorización y forman la transición entre el horizonte cámbico y el ferrálico.

Tabla 18.

Horizonte férrico

HORIZONTE FÉRRICO
Descripción general:
El horizonte férrico (del L. ferrum, hierro) es un horizonte en el cual la segregación de hierro tiene lugar en tal grado que se forman grandes moteados o concreciones y la matriz entre moteados y entre concreciones está muy empobrecida en hierro.
Criterios de diagnóstico:
Debe tener: - Muchos (más de 15% del área superficial expuesta) moteados gruesos con hues más rojos que 7.5YR y croma más de 5, o ambos. - Nódulos discretos, de hasta 2 cm de diámetro, estando el exterior de los nódulos enriquecido y débilmente cementado o endurecido con hierro y tienen hues más rojos o croma más fuerte que el interior. - Espesor de por lo menos 15 cm.
Relaciones con otros horizontes de diagnóstico.
Si la cantidad de nódulos alcanza el 10 por ciento o más (en volumen) y los nódulos endurecen irreversiblemente hacia un hardpan o agregados irregulares por

exposición a humedecimiento y secado repetidos con libre acceso de oxígeno, el horizonte se considera un horizonte plántico. Por eso, los horizontes férricos pueden, en regiones tropicales o subtropicales, gradar lateralmente en horizontes plánticos. Con frecuencia, la transición entre los dos no es muy clara.

Tabla 19.

Horizonte fólico

HORIZONTE FÓLICO	
Descripción general:	
El horizonte fólico (del L. folium, hoja) es un horizonte superficial, o un horizonte subsuperficial que ocurre a poca profundidad, que consiste de material orgánico de suelo bien aireado.	
Criterios de diagnóstico:	
Debe tener: - Más del 20% (en peso) de carbono orgánico (35% de materia orgánica). - Saturación con agua por menos de un mes en la mayoría de los años. - Espesor de más de 10 cm. Si un horizonte fólico tiene menos de 20 cm de espesor, los 20 cm superiores del suelo luego de mezclado contienen 20% o más carbono orgánico.	
Relaciones con otros horizontes de diagnóstico.	
- Los horizontes hísticos tienen características similares al horizonte fólico; sin embargo, éstos están saturados con agua por un mes o más la mayoría de los años. - La composición del horizonte hístico generalmente es diferente a la del horizonte fólico ya que la cobertura vegetal con frecuencia es diferente.	

Tabla 20.

Horizonte frágico

HORIZONTE FRÁGICO	
Descripción general:	
El horizonte frágico (del L. fragilis, frangere, romper) es un horizonte subsuperficial natural no cementado con un patrón de agregación y porosidad tal que las raíces y agua de percolación sólo penetran el suelo a lo largo de caras interpedales y vetas.	
Criterios de diagnóstico:	

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

Debe tener:

- Mayor densidad aparente respecto de los horizontes que se encuentran por encima.
- Menos del 0.5% de carbono orgánico.
- Resistencia a la penetración mayor de 50 kN m⁻¹.
- Disgregación o fractura dentro de los 10 minutos de un terrón seco al aire cuando se lo coloca en agua.
- No ocurre cementación por humedecimiento y secado repetidos.
- Espesor de por lo menos 25 cm.

Identificación en el campo:

- Un horizonte frágico tiene una estructura prismática y/o en bloques. Las partes interiores de los agregados pueden tener una porosidad total relativamente alta, incluyendo poros mayores de 200 mm, pero como resultado de una corteza externa densa de los agregados no existe continuidad entre los poros dentro de agregados y los poros y fisuras entre agregados.
- El horizonte frágico está desprovisto de actividad de fauna excavadora, excepto ocasionalmente a lo largo de las vetas entre agregados. Como resultado de este 'sistema de caja cerrada', más del 90% del volumen del suelo no puede ser explorado por los sistemas de raíces y está aislado del agua de percolación. Una estimación o medida de este volumen de suelo sólo puede hacerse combinando ambos cortes vertical y horizontal del horizonte frágico.
- Las superficies entre agregados o vetas tienen características de color, mineralógicas y químicas de un horizonte eluvial u horizonte álbico, o cumplen los requisitos de lenguas albelúvicas. En presencia de capa de agua fluctuante esta parte del suelo se empobrece en hierro y manganeso. Como el aire permanece atrapado dentro de los agregados, se observa una concomitante acumulación de hierro al nivel de la superficie de agregados y ocurren acumulaciones de manganeso dentro de los agregados (patrón de colorstágnico). Los horizontes frágicos comúnmente son francos, pero no están excluidas las texturas arenoso francas y arcillosas. En el último caso la mineralogía de arcillas es predominantemente caolinítica. Los terrones secos son duros a extremadamente duros, los terrones húmedos son firmes a extremadamente firmes, y la consistencia en húmedo puede ser quebradiza. Un agregado o terrón de un horizonte frágico tiende a romperse de pronto más que a sufrir deformación paulatina cuando se aplica presión.

Relaciones con otros horizontes de diagnóstico.

- Un horizonte frágico puede estar por debajo, aunque no necesariamente directamente, de un horizonte álbico, cámbico, spódico o árgico, a menos que el suelo haya sido truncado. Puede superponerse parcial o completamente con un horizonte árgico. Lateralmente, los horizontes frágicos pueden gradar en horizontes (petro-) dúricos en regiones secas. Además, los horizontes frágicos pueden tener propiedades stágnicas.

Tabla 21.

Horizonte fúlvico

HORIZONTE FÚLVICO	
Descripción general:	
- El horizonte fúlvico (del L. fulvus, amarillo oscuro) es un horizonte espeso, negro, en o cerca de la superficie, que generalmente está asociado con minerales de bajo grado de ordenamiento (generalmente alofano) o con complejos alúmino-orgánicos.	
Criterios de diagnóstico:	
Debe tener: - Propiedades características de horizontes ándicos en todo su espesor. - Value Munsell (húmedo) y croma de 2 o menos. - Índice melánico¹² de más de 1.7 en todo su espesor; - Un promedio ponderado de 6% o más carbono orgánico. - Espesor acumulado de por lo menos 30 cm con menos de 10 cm de material "no fúlvico"	
Identificación en el campo:	
El color oscuro intenso, su espesor, así como su asociación usual con depósitos piroclásticos hacen al horizonte fúlvico fácil de reconocer en el campo. Sin embargo, la distinción entre el horizonte fúlvico y el melánico sólo puede hacerse luego de análisis de laboratorio.	

Tabla 22.

Horizonte gípsico

HORIZONTE GÍPSICO	
Descripción general:	
El horizonte gípsico (del L. gypsum, yeso) es un horizonte no cementado que contiene acumulaciones secundarias de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en diversas formas.	
Criterios de diagnóstico:	
Debe tener: 15% o más de yeso; si el horizonte contiene 60 por ciento o más de yeso, se vuelve un horizonte hipergípsico (del Gr. hyper, sobre, y L. gypsum). El porcentaje de yeso	

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

se calcula como el producto del contenido de yeso, expresado como cmolc kg⁻¹ de suelo, y el peso equivalente del yeso (86) expresado como porcentaje. • Espesor de por lo menos 15 cm, también para los horizontes hipergípsicos.
Identificación en el campo:
• El yeso puede encontrarse en forma de pseudomicelio, como cristales de tamaño grueso o como acumulaciones pulverulentas compactas. La última forma da al horizonte gípsico una estructura masiva y textura arenosa. • Los horizontes gípsicos pueden estar asociados con horizontes cálcicos pero siempre ocurren en posiciones separadas dentro del perfil de suelo.
Características adicionales:
• La determinación de la cantidad de yeso en el suelo para verificar el contenido e incremento requeridos, así como el análisis de cortes delgados, son útiles para establecer la presencia de un horizonte gípsico y la distribución del yeso en la masa del suelo.
Relaciones con otros horizontes de diagnóstico.
• Cuando los horizontes hipergípsicos se vuelven endurecidos, tiene lugar una transición hacia el horizonte petrogípsico, cuya expresión puede ser en estructuras masivas o laminares. • En regiones secas los horizontes gípsicos están asociados con horizontes cálcicos o sálcicos. Los horizontes cálcico y gípsico generalmente ocupan posiciones distintas en el perfil de suelo ya que la solubilidad del carbonato de calcio es diferente a la del yeso.

Tabla 23.

Horizonte hístico

HORIZONTE HÍSTICO
Descripción general:
• El horizonte hístico (del Gr. histos, tejido) es un horizonte superficial o subsuperficial que ocurre a poca profundidad, que consiste de material orgánico de suelo, pobremente aireado
Criterios de diagnóstico:
Debe tener: • O bien - 18% (en peso) de carbono orgánico (30% de materia orgánica) o más si la fracción mineral comprende 60% o más arcilla; o - 12% (en peso) de carbono orgánico (20% de materia orgánica) o más si la fracción mineral no tiene arcilla; o -

un límite inferior proporcional del contenido de carbono orgánico entre 12 y 18% si el contenido de arcilla de la fracción mineral está entre 0 y 60%. Si se encuentra presente en materiales característicos de horizontes ándicos, el contenido de carbono orgánico debe ser más del 20% (35% de materia orgánica).

- Saturación con agua por lo menos durante un mes en la mayoría de los años.
- Espesor de 10 cm o más. Un horizonte hístico de menos de 20 cm de espesor debe tener 12 por ciento o más de carbono orgánico cuando se lo mezcla hasta una profundidad de 20 cm.

Tabla 24.

Horizonte melánico

HORIZONTE MELÁNICO	
Descripción general:	
• El horizonte melánico (del Gr. melanos, negro) es un horizonte grueso, negro, en o cerca de la superficie, que está normalmente asociado con minerales de bajo grado de ordenamiento (generalmente alofano) o con complejos alúmino-orgánicos. • Tiene una baja densidad aparente y contiene elevada cantidad de materia orgánica de un tipo que se piensa que resulta de grandes cantidades de residuos de raíces aportados por una vegetación graminosa.	
Criterios de diagnóstico:	
Debe tener: • Propiedades y características de horizontes ándicos en todo su espesor. • Value Munsell (húmedo) y croma de 2 o menos. • Índice melánico¹³ de 1.70 o menos en todo su espesor. • Un promedio ponderado de 6% o más de carbono orgánico, y 4% o más carbono orgánico en todas sus partes. • Espesor acumulado de por lo menos 30 cm con menos de 10 cm de material "no melánico" entre medio.	
Identificación en el campo:	
• El color oscuro intenso, su espesor, así como su asociación usual con depósitos piroclásticos hacen al horizonte melánico fácil de reconocer en el campo. • La relación con vegetación herbácea sólo puede establecerse bajo condiciones naturales. Sin embargo, pueden necesitarse análisis de laboratorio para determinar el tipo de materia orgánica para identificar inequívocamente el horizonte melánico.	

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

Tabla 25.

Horizonte mólico

HORIZONTE MÓLICO	
Descripción general:	
El horizonte mólico (del L. mollis, blando) es un horizonte superficial bien estructurado, oscuro, con alta saturación con bases y moderado a alto contenido de materia orgánica.	
Criterios de diagnóstico:	
Debe tener: - Estructura del suelo suficientemente fuerte como para que el horizonte no sea a la vez masivo y duro o muy duro en seco. Los prismas muy gruesos (prismas con más de 30 cm de diámetro) se incluyen en el significado de masivo si no hay estructura secundaria dentro de los prismas - Ambas muestras partidas y apelmazadas tienen un croma Munsell menor de 3.5 en húmedo, un value más oscuro que 3.5 en húmedo y 5.5 en seco. Si hay más del 40% de calcáreo finamente dividido, se omiten los límites del value en seco; el value, húmedo, debe ser 5 o menos. El value debe ser por lo menos una unidad más oscura que el del horizonte C, a menos que el suelo derive de material originario de color oscuro, en cuyo caso se omite el requisito de contraste de color. Si no hay presente un horizonte C, la comparación debe hacerse con el horizonte inmediatamente debajo del horizonte superficial. - Un contenido de carbono orgánico de 0.6% (1% de materia orgánica) o más en todo el espesor del horizonte mezclado. El contenido de carbono orgánico es por lo menos 2.5% si se omite el requisito de color por calcáreo finamente dividido, o 0.6% o más que el horizonte C si el requisito de color se omite por material originario de color oscuro. - Una saturación con bases (por NH_4OAc 1 M) de 50% o más en promedio ponderado en todo el espesor del horizonte. - El siguiente espesor: - a). 10 cm o más si resta directamente sobre roca dura, un horizonte petrocálcico, petrodúrico o petrogélico, o está encima de un horizonte crítico. - b). por lo menos 20 cm y más de un tercio del espesor del solum cuando el solum tiene menos de 75 cm de espesor. - c). más de 25 cm cuando el solum tiene más de 75 cm de espesor. La medición del espesor de un horizonte mólico incluye horizontes transicionales en los cuales las características del horizonte superficial son dominantes – por ejemplo, AB, AE o AC. Los requisitos del horizonte mólico deben cumplirse después de mezclar los primeros 20 cm, como por arada.	
Identificación en el campo:	
Un horizonte mólico puede identificarse fácilmente por su color oscuro, causado por la acumulación de materia orgánica, estructura bien desarrollada (generalmente	

estructura granular o en bloques subangulares finos), un indicio de alta saturación con bases, y su espesor.

Relaciones con otros horizontes de diagnóstico:

- La saturación con bases de 50% separa al horizonte mólico del horizonte úmbrico, que por lo demás es similar.
- El límite superior de contenido de carbono orgánico varía entre 12% (20% de materia orgánica) a 18% de carbono orgánico (30% de materia orgánica) que es el límite inferior del horizonte hístico o 20%, el límite inferior del horizonte fólico.
- El horizonte chérnico es un tipo especial de horizonte mólico. Tiene mayor contenido de carbono orgánico (1.5% o más), una estructura específica, un color muy oscuro en su parte superior, una alta actividad biológica, y un espesor mínimo de 35 cm.
- Los límites con los horizontes fúlvico y melánico con alta saturación con bases se establecen por la combinación de intenso color oscuro, el elevado contenido de carbono orgánico, el espesor y las características asociadas con horizontes ándicos en estos dos horizontes.
- Los horizontes mólicos frecuentemente ocurren en asociación con horizontes ándicos.

Tabla 26.

Horizonte nátrico

HORIZONTE NÁTRICO	
Descripción general:	
• El horizonte nátrico (del holandés natrium, sodio) es un horizonte denso subsuperficial con mayor contenido de arcilla que el o los horizontes suprayacentes, con un elevado contenido de sodio y/o magnesio intercambiables.	
Criterios de diagnóstico:	
Un horizonte nátrico debe tener: • Textura franco arenosa o más fina y por lo menos 8% de arcilla en la fracción tierra fina. • Más arcilla total que el horizonte suprayacente de textura más gruesa tal que: - a). si el horizonte suprayacente tiene menos del 15% de arcilla total en la fracción tierra fina, el horizonte nátrico debe tener por lo menos 3% más arcilla. - b). si el horizonte suprayacente tiene entre 15% y 40% de arcilla total en la fracción tierra fina, la relación de arcilla en el horizonte nátrico a la del horizonte subyacente debe ser 1.2 o más. - c). si el horizonte suprayacente tiene 40% o más de arcilla total en la fracción tierra fina, el horizonte nátrico debe tener por lo menos 8% más arcilla. • La estructura de roca está ausente en por lo menos la mitad del volumen del horizonte.	

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

- Una estructura columnar o prismática en alguna parte del horizonte, o una estructura en bloques con lenguas de un horizonte eluvial en la cual hay granos de limo o arena no revestidos, que se extienden más de 2.5 cm dentro del horizonte.
- Espesor de por lo menos un décimo de la suma del espesor de todos los horizontes suprayacentes y por lo menos 7.5 cm de espesor.
- Un horizonte de textura más gruesa por encima del horizonte nátrico debe tener por lo menos 18 cm de espesor o 5 cm si la transición textural al horizonte nátrico es abrupta.

Identificación en el campo:

- El color del horizonte nátrico va de pardo a negro, especialmente en la parte superior.
- La estructura es columnar o prismática gruesa, a veces en bloques, o puede incluso ser masiva. Son características las cabezas redondeadas de los elementos estructurales y con frecuencia de color blancuzco.
- Con frecuencia ocurren cutanes de arcilla gruesos y de color oscuro u otras separaciones plásmicas, especialmente en la parte superior del horizonte.
- Los horizontes nátricos tienen una pobre estabilidad de agregados y muy baja permeabilidad en mojado. Cuando seca el horizonte nátrico se vuelve duro a extremadamente duro. La reacción del suelo es fuertemente alcalina; el pH (H₂O) es más de 8.5.

Características adicionales:

- Los horizontes nátricos se caracterizan por un alto pH (H₂O) el que frecuentemente es mayor de 9.0.
- Las separaciones plásmicas también muestran un alto contenido de humus asociado. Cuando el horizonte nátrico es impermeable aparecen microcostras, cutanes, pápulas y rellenos.

Relaciones con otros horizontes de diagnóstico

- Un horizonte superficial generalmente rico en materia orgánica suprayace al horizonte nátrico.
- Este horizonte de acumulación de humus varía en espesor desde unos pocos centímetros hasta más de 25 cm, y puede ser un horizonte mólico u ócrico. Puede haber presente un horizonte álbico entre la superficie y el horizonte nátrico.
- Frecuentemente, ocurre una capa afectada por sales debajo del horizonte nátrico. La influencia de sales puede extenderse dentro del horizonte nátrico el cual además de ser sódico también se vuelve salino. Las sales presentes pueden ser cloruros, sulfatos o (bi-) carbonatos.

Tabla 27.

Horizonte nítico

HORIZONTE NÍTICO
Descripción general:
El horizonte nítico (del L. nitidus, que brilla) es un horizonte subsuperficial rico en arcilla que tiene como principal rasgo una estructura poliédrica o nuciforme moderada a fuertemente desarrollada con muchas caras de agregados brillantes, que no pueden, o sólo parcialmente, atribuirse a iluviación de arcilla.
Criterios de diagnóstico:
Debe tener: - Transición gradual a difusa hacia los horizontes inmediatamente por encima y por debajo (menos de 20 por ciento de cambio en el contenido de arcilla, en por lo menos 12 cm; no hay cambio abrupto de color). - Más del 30% de arcilla; relación arcilla dispersable en agua/arcilla total menor de 0.10; y relación limo/arcilla menor de 0.40. - Estructura nuciforme o poliédrica moderada a fuerte, con muchas caras de agregados brillantes, que no pueden, o sólo parcialmente, ser asociadas con argilanes de iluviación en cortes delgados. - Value Munsell 5 o menos, y croma 4 o menos, pero sin moteados de naturaleza hidromórfica (propiedades gléyicas o stágnicas). 4% o más hierro extractable en citrato-ditionito (hierro "libre") en la fracción tierra fina; más del 0.20% de hierro extractable en oxalato ácido (pH 3) (hierro "activo") en la fracción tierra fina; y c. relación entre hierro "activo" y "libre" de 0.05 o más. - Espesor mínimo de 30 cm, con transición gradual o difusa a los horizontes inmediatamente encima y debajo del horizonte nítico.
Identificación en el campo:
- Un horizonte nítico tiene textura franco arcillosa o más fina, aunque el material se siente como franco. El cambio en contenido de arcilla con los horizontes supra- y subyacentes es gradual. Los colores son de value y croma bajo con frecuente hue 2.5YR, pero a veces más rojo o más amarillo. - No hay cambio abrupto de color con los horizontes por encima y por debajo. - No hay moteados indicativos de una naturaleza hidromórfica. - La estructura es en bloques angulares. - Con frecuencia contienen minerales magnéticos tales como maghemita.
Características adicionales:
La capacidad de intercambio catiónico (por NH₄OAc 1 M), corregida por materia orgánica, es menor de 36 cmolc kg⁻¹ de arcilla, y con frecuencia por debajo de 24 cmolc kg⁻¹ de arcilla. La capacidad de intercambio catiónico efectiva es alrededor de

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

la mitad de la CIC. La CIC y CICE moderada a baja refleja el predominio de arcillas de retículo 1:1 siendo ambas caolinita y (meta-) halloisita.

Relaciones con otros horizontes de diagnóstico:

- Puede considerarse un tipo especial de horizonte árgico, o un horizonte cámbico fuertemente expresado, con propiedades específicas tales como poca cantidad de arcilla dispersable en agua y elevada cantidad de hierro "activo".
- Su mineralogía (caolinítica/(meta-)halloisítica) los separa de la mayoría de los horizontes vérticos que tienen predominantemente una mineralogía esmectítica. Sin embargo, los horizontes níticos pueden gradar lateralmente en horizontes vérticos que ocurren en posiciones del paisaje más bajas. La estructura del suelo bien expresada, la elevada cantidad de hierro "activo", y frecuente capacidad de intercambio catiónico media en los horizontes níticos los separa de los horizontes ferrálicos.

Tabla 28.

Horizonte ócrico

HORIZONTE ÓCRICO	
Descripción general:	
• El horizonte ócrico (del Gr. ochros, pálido) es un horizonte superficial que no tiene estratificación fina y que o bien es de color claro¹⁵, o delgado, o tiene un bajo contenido de carbono orgánico, o es masivo y (muy) duro en seco.	
Criterios de diagnóstico:	
Un horizonte ócrico no tiene estratificación fina y tiene una (o más) de las siguientes características o propiedades en relación a la clave aproximada de las unidades del suelo: • Masivo y duro o muy duro en seco. Prismas muy gruesos (prismas de más de 30 cm de diámetro) se incluyen en el significado de masivo si no hay estructura secundaria dentro de los prismas. • Muestras partidas y apelmazadas tienen un croma Munsell de 3.5 o más en húmedo, un valor de 3.5 o más en húmedo y 5.5 en seco. • Contenido de carbono orgánico menor de 0.6% (1% de materia orgánica) en todo el espesor del horizonte mezclado. El contenido de carbono orgánico debe ser menos de 2.5% si hay más de 40% de calcáreo finamente dividido. • Espesor de menos de: - a). 10 cm si se apoya directamente sobre roca dura, un horizonte petrocálcico, petrodúrico o petrogípsico, o resta sobre un horizonte críico. - b). menos de 20 cm o menos de un tercio del espesor del solum cuando el solum tiene menos de 75 cm de espesor. c) 25 cm o menos cuando el solum tiene más de 75 cm de espesor.	

Relaciones con algunos otros horizontes de diagnóstico.

- Los horizontes ócricos tienen relación directa con horizontes mólicos o úmbricos. La ausencia de estratificación fina pone al horizonte ócrico aparte de sedimentos recientes inalterados.

Tabla 29.

Horizonte petrocálcico

HORIZONTE PETROCÁLCICO	
Descripción general:	
• Un horizonte petrocálcico (del Gr. petros, roca, y L. calxis, calcáreo) es un horizonte cálcico endurecido, que está cementado por carbonato de calcio y, en algunos sitios, por carbonato de calcio y algo de carbonato de magnesio. Es de naturaleza masiva o laminar, y extremadamente duro.	
Criterios de diagnóstico:	
Debe tener: • 50 % (en peso) o más carbonato de calcio equivalente. • Cementación hasta el grado de que los fragmentos secos no se disgregan en agua y las raíces no pueden entrar. • Consistencia extremadamente dura en seco de modo que no puede ser penetrado por pala o barreno. • Espesor de por lo menos 10 cm, o 2.5 cm si es laminar y resta directamente sobre roca. •	
Identificación en el campo:	
• Los horizontes petrocálcicos ocurren como calcretas no laminares, de naturaleza masiva o nodular, o como calcretas laminares. • El color generalmente es blanco o rosado. Generalmente están más cementadas que la calcreta lamelar y la organización interna es muy masiva (no hay estructuras lamelares finas, pero puede haber estructuras lamelares gruesas). Los poros no capilares en los horizontes petrocálcicos están rellenos, y la conductividad hidráulica es moderadamente lenta a muy lenta.	
Relaciones con otros horizontes de diagnóstico:	
• En regiones áridas los horizontes petrocálcicos pueden ocurrir asociados con horizontes (petro-)dúricos en los cuales pueden gradar lateralmente. • Los horizontes petrocálcico y dúrico se diferencian por el agente cementante. En horizontes petrocálcicos el carbonato de calcio y algo de magnesio constituye el principal agente cementante mientras que puede haber algo de sílice accesorio.	

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

- En los horizontes dúricos la sílice es el principal agente cementante, con o sin carbonato de calcio.
- Los horizontes petrocálcicos también ocurren asociados con horizontes gípsico, hipergípsico, o petrogípsico. Los horizontes superficiales asociados generalmente son horizontes ócricos.

Tabla 30.

Horizonte petrodúrico

HORIZONTE PETRODÚRICO	
Descripción general:	
• El horizonte petrodúrico (del Gr. petros, roca, y L. durum, duro), es un horizonte subsuperficial, generalmente de color rojizo o pardo rojizo, que está cementado principalmente por sílice (SiO_2, presumiblemente ópalo y formas microcristalinas de sílice) secundaria. • Los fragmentos secos al aire de horizontes petrodúricos no se disgregan en agua, aún después de remojo prolongado. El carbonato de calcio puede estar presente como agente cementante accesorio. • Es masivo, o tiene estructura en plancha o laminar.	
Criterios de diagnóstico:	
Debe tener: • Cementación o endurecimiento en más del 50 por ciento de algún subhorizonte. • Evidencia de acumulación de sílice (ópalo u otras formas de sílice) por ejemplo como revestimientos en algunos poros, o algunas caras estructurales o como puentes entre granos de arena. • Menos del 50% del volumen se disgrega en HCl 1 M aún después de remojo prolongado, pero más del 50% se disgrega en KOH concentrado o en ácido y álcali alternados. • Una continuidad lateral tal que las raíces no pueden penetrar excepto a lo largo de fracturas verticales, que tienen un espaciamiento horizontal de 10 cm o más. • Espesor de 10 cm o más.	
Identificación en el campo:	
• Un horizonte petrodúrico tiene una consistencia muy a extremadamente firme en húmedo, y es muy o extremadamente duro en seco. • Puede tener lugar efervescencia luego de aplicar HCl 10%, pero probablemente no es tan vigorosa como en horizontes petrocálcicos que se ven muy similares. Sin embargo, pueden ocurrir en conjunto con un horizonte petrocálcico.	
Relaciones con otros horizontes de diagnóstico.	

- En climas áridos y secos pueden gradar lateralmente en horizontes petrocálcicos, y/o ocurrir en conjunto con horizontes cálcico o gípsico a los que normalmente suprayacen.
- En climas más húmedos pueden gradar lateralmente en horizontes frágicos

Tabla 31.

Horizonte petrogípsico

HORIZONTE PETROGÍPSICO	
Descripción general:	
• El horizonte petrogípsico (del Gr. petros, roca, y L. gypsum, yeso) es un horizonte no cementado que contiene acumulaciones secundarias de yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).	
Criterios de diagnóstico:	
Debe tener: • 60% o más de yeso. El porcentaje de yeso se calcula como el producto del contenido de yeso, expresado en cmolc kg^{-1} de suelo, y el peso equivalente del yeso (86) expresado como un porcentaje. • Cementación hasta el grado de que los fragmentos secos no se disgregan en agua y no puede ser penetrado por raíces. • Espesor de 10 cm o más.	
Identificación en el campo:	
• Los horizontes petrogípsicos son materiales duros blancuzcos que predominantemente contienen yeso. • A veces, los horizontes petrogípsicos extremadamente duros y viejos están coronados por una capa laminar fina de alrededor de 1 cm de espesor.	
Características adicionales:	
• La determinación de la cantidad de yeso en el suelo para verificar el contenido e incremento requeridos, así como el análisis de cortes delgados, son técnicas útiles para establecer la presencia de un horizonte petrogípsico y la distribución del yeso en la masa del suelo. En cortes delgados el horizonte petrogípsico muestra una microestructura compacta con sólo unas pocas cavidades. • La matriz está compuesta de cristales de yeso lenticulares en empaquetamiento denso con pequeñas cantidades de material detrítico. La matriz tiene un color amarillo débil en luz plana. Nódulos irregulares formados por zonas transparentes incoloras consisten de agregados coherentes de cristales con una fábrica	

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

hipidiotópica o xenotópica y están principalmente asociados con poros (anteriores). A veces son visibles trazas de actividad biológica.

Relaciones con otros horizontes de diagnóstico:

- Como el horizonte petrogíptico se desarrolla a partir de un horizonte hipergíptico, los dos están estrechamente ligados, pero se distinguen por el grado de cementación.
- Los horizontes petrogípticos ocurren frecuentemente asociados con horizontes cálcicos. Las acumulaciones cálcicas y gípticas generalmente ocupan posiciones diferentes en el perfil de suelo debido a que la solubilidad del carbonato de calcio es diferente a la del yeso.

Tabla 32.

Horizonte petroplíntico

HORIZONTE PETROPLÍNTICO	
Descripción general:	
• El horizonte petroplíntico (del Gr. petros, roca, y plinthos, ladrillo) es una capa no continua de material endurecido, en la cual el hierro es un cemento importante y en la cual la materia orgánica está ausente, o sólo presente en trazas.	
Criterios de diagnóstico:	
Debe tener: • 10% más hierro extractable en citrato-ditionito, por lo menos en la parte superior del horizonte; y una relación entre hierro extractable en oxalato ácido (pH 3) y en citrato-ditionito menor de 0.1016. • Menos de 0.6% de carbono orgánico. • Cementación hasta el grado de que los fragmentos secos no se disgregan en agua y no puede ser penetrado por raíces. • Espesor de 10 cm o más. •	
Identificación en el campo:	
• Los horizontes petroplínticos son extremadamente duros, generalmente capas de color pardo herrumbre a pardo amarillento, que pueden ser, o bien masivas, o mostrar un patrón laminar o columnar reticulado o interconectado, que encierra material no endurecido. • La capa endurecida puede estar fracturada, pero entonces la distancia lateral promedio entre las fracturas debe ser 10 cm o más y las fracturas no deben ocupar más del 20% de la capa.	

Relaciones con algunos horizontes de diagnóstico.

- Los horizontes petroplántico están estrechamente asociados con horizontes plánticos a partir de los cuales se desarrollan. Con frecuencia los horizontes plánticos pueden rastrearse siguiendo las capas petroplánticas que han formado, por ejemplo, en cortes de caminos.
- El bajo contenido de materia orgánica separa al horizonte petroplántico de los panes de hierro, hierro de los pantanos y horizontes spódicos endurecidos.

Tabla 33.

Horizonte plántico

HORIZONTE PLÁNTICO
Descripción general:
• El horizonte plántico (del Gr. plinthos, ladrillo) es un horizonte subsuperficial que constituye una mezcla rica en hierro, pobre en humus, de arcilla caolinítica con cuarzo y otros constituyentes, y que cambia irreversiblemente a un pan duro ('hardpan') o a agregados irregulares por exposición a mojado y secados repetidos con acceso libre de oxígeno.
Criterios de diagnóstico:
Debe tener: • 25 % (en volumen) o más de una mezcla rica en hierro, pobre en humus de arcilla caolinítica con cuarzo y otros diluyentes, que cambia irreversiblemente a un pan duro o a agregados irregulares por exposición a mojado y secados repetidos con acceso libre de oxígeno. • 2.5 % (en peso) o más de hierro extractable en citrato-ditionito en la fracción tierra fina, especialmente en la parte superior del horizonte, o 10% en los moteados o concreciones; y relación entre hierro extractable en oxalato ácido (pH 3) y hierro extractable en citrato-ditionito menor de 0.1017. • Menos del 0.6% (en peso) de carbono orgánico. • Espesor de 15 cm o más.
Identificación en el campo:
• Muestra moteados rojos, usualmente en patrones laminar, poligonal, vesicular o reticulado. En un suelo permanentemente húmedo, el material plántico generalmente no es duro sino firme o muy firme y puede cortarse con una pala. • El material plántico no se endurece irreversiblemente como resultado de un único ciclo de secado y rehumedecimiento. Solamente el humedecimiento y secado repetidos lo cambian irreversiblemente a una piedra de hierro, pan duro o agregados irregulares.

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

Características adicionales:
- Los estudios micromorfológicos pueden revelar el grado de impregnación de la masa del suelo por hierro. - Las medidas de la resistencia a la penetración y cantidad total de hierro presente pueden dar un indicio.

Tabla 34.

Horizonte sálico

HORIZONTE SÁLICO
Descripción general:
El horizonte sálico (del L. sal) es un horizonte superficial o subsuperficial somero que contiene un enriquecimiento secundario de sales fácilmente solubles, es decir, sales más solubles que el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; $\log K_s = -4.85$ a 25°C).
Criterios de diagnóstico:
Debe tener, en todo su espesor: - Una conductividad eléctrica (CE) del extracto de saturación de más de 15 dS m^{-1} a 25°C en algún momento del año; o una CE de más de 8 dS m^{-1} a 25°C si el pH (H_2O) del extracto excede 8.5 (suelos con carbonato alcalino) o menos de 3.5 (suelos con sulfato ácido) - Como mínimo 1 por ciento de sales - El producto del espesor (en cm) por el porcentaje de sales es de 60 o más. - Espesor de 15 cm o más.
Identificación en el campo:
- Son evidencias circunstanciales las que usualmente señalan la presencia de un horizonte sálico. La vegetación halofítica como Tamarix y cultivos tolerantes a sales son los primeros indicadores. Las capas afectadas por sales con frecuencia exhiben estructuras 'infladas'. - Las sales precipitan sólo después de la evaporación de la humedad del suelo. - Las sales pueden precipitar en la superficie o en profundidad.

Tabla 35.

Horizonte spódico

HORIZONTE SPÓDICO

Descripción general:
El horizonte spódico (del Gr. spodos, ceniza de leña) es un horizonte subsuperficial de color oscuro que contiene sustancias amorfas iluviales compuestas de materia orgánica y aluminio, con o sin hierro. Los materiales iluviales se caracterizan por una alta carga pH dependiente, gran área superficial y elevada retención de agua.
Criterios de diagnóstico:
Debe tener: 0.6% o más carbono orgánico. - pH (1:1 en agua) de 5.9 o menos. - Por lo menos 0.5% Alox + $\frac{1}{2}$Feox 18 y tiene dos veces o más Alox+ $\frac{1}{2}$Feox que un horizonte úmbrico, ócrico, albico o antropedogénico suprayacente; o un valor de densidad óptica del extracto de oxalato (DOEO) de 0.25 o más. - Espesor de por lo menos 2.5 cm y un límite superior por debajo de 10 cm.
Identificación en el campo:
- Subyace a un horizonte albico y reúne los colores negro pardusco a pardo rojizo. - Los horizontes spódicos también pueden caracterizarse por la presencia de un pan de hierro fino, o por la presencia de esferitas orgánicas cuando débilmente desarrollado.
Relaciones con otros horizontes de diagnóstico:
- Pueden tener características similares a un horizonte ándico rico en complejos alúmino-orgánico. - Tienen por lo menos el doble del porcentaje de Alox + $\frac{1}{2}$Feox que un horizonte úmbrico, ócrico, albico o antropedogénico suprayacente. Este criterio normalmente no se aplica a los horizontes ándicos en los cuales los complejos alúmino-orgánico son escasamente móviles.

Tabla 36.

Horizonte sulfúrico

HORIZONTE SULFÚRICO
Descripción general:
El horizonte sulfúrico (del L. sulfur, azufre) es un horizonte subsuperficial extremadamente ácido en el cual se forma ácido sulfúrico a través de la oxidación de sulfuros.

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

Criterios de diagnóstico:
Debe tener: - pH < 3.5 en una suspensión 1:1 en agua. - Moteados de color amarillo/naranja de jarosita $[KFe_3(SO_4)_2(OH)_6]$ o pardo amarillento de schwertmanita $[Fe_{16}O_{16}(SO_4)_3(OH)_{10} \cdot 10H_2O]$; o concentraciones con un hue Munsell de 2.5Y o más y un croma de 6 o más; o superposición sobre materiales de suelo sulfídicos; o 0.05% (en peso) o más de sulfato soluble en agua. - Espesor de 15 cm o más.
Identificación en el campo:
- Los horizontes sulfúricos generalmente contienen moteados de color amarillo/naranja de jarosita o pardo amarillento de schwertmanita. - La reacción del suelo es extremadamente ácida; no es raro un pH (H_2O) menor de 3.5
Relación con otros horizontes de diagnóstico:
El horizonte sulfúrico con frecuencia subyace a un horizonte fuertemente moteado con pronunciados rasgos redoximórficos (moteados de hidróxido de hierro rojizos a pardo rojizos y una matriz de color claro, empobrecida en hierro).

Tabla 37.

Horizonte takírico

HORIZONTE TAKÍRICO
Descripción general:
Un horizonte takírico (del Uzbek takyr, tierra yerma) es un horizonte superficial de textura gruesa que comprende una costra superficial y una parte inferior con estructura laminar. Ocurre bajo condiciones áridas en suelos periódicamente inundados.
Criterios de diagnóstico:
Debe tener: - Propiedades arídicas. - Estructura laminar o masiva. - Costra superficial que tenga todas las propiedades siguientes: a. suficiente espesor de modo que no se enrosque completamente al secarse; b. grietas de desecación poligonales que se extienden por lo menos 2 cm en profundidad cuando el suelo está seco; c. textura franco arcillo arenosa, franco arcillosa, franco arcillo limosa o más fina; d. consistencia muy dura en seco y muy plástica y adhesiva en mojado; y e. una

conductividad eléctrica (CE) en la pasta saturada menor de 4 dS m ⁻¹ , o menos que la del horizonte inmediatamente debajo del horizonte takírico.
Identificación en el campo:
• Los horizontes takíricos se encuentran en depresiones en regiones áridas, donde puede acumularse agua superficial, rica en arcilla y limo, pero relativamente baja en sales solubles, y lixiviar los horizontes superiores. • La lixiviación periódica de sales causa la dispersión de arcilla y la formación de una costra gruesa, compacta, de textura fina, que forma grietas poligonales prominentes al secarse. La arcilla y limo con frecuencia constituyen más del 80% del material de la costra.
Relaciones con otros horizontes de diagnóstico:
• Los horizontes takíricos ocurren en asociación con muchos horizontes de diagnóstico, siendo los más importantes el horizonte sálico, gípsico, cálcico y cámbico. • La baja conductividad eléctrica y bajo contenido de sales de los horizontes takíricos los separan del horizonte sálico. HORIZONTE TÉRRICO (ver Horizontes antropedogénicos)

Tabla 38.

Horizonte úmbrico

HORIZONTE ÚMBRICO
Descripción general:
• El horizonte úmbrico (del L. umbra, sombra) es un horizonte superficial grueso, oscuro, desaturado de bases y rico en materia orgánica.
Criterios de diagnóstico:
Debe tener: • Estructura del suelo suficientemente fuerte como para que el horizonte no sea a la vez masivo y duro o muy duro cuando seco. Los prismas gruesos de más de 30 cm de diámetro se incluyen en el significado de masivo si no hay estructura secundaria dentro de los prismas; y • Colores Munsell con un croma menor de 3.5 en húmedo, un value más oscuro que 3.5 en húmedo y 5.5 en seco, tanto en muestras partidas como apelmazadas. El value es por lo menos una unidad más oscura que el de un horizonte C (tanto en seco como en húmedo) a menos que el horizonte C tenga un value más oscuro de 4.0, húmedo, en cuyo caso el requisito de contraste de color se omite. Si no hay un

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

horizonte C presente, la comparación debe hacerse con el horizonte subyaciendo inmediatamente al horizonte superficial.

- Saturación con bases (por NH_4OAc 1 M) menor de 50% en promedio ponderado en toda la profundidad del horizonte.
- Contenido de carbono orgánico de 0.6 por ciento (1% de materia orgánica) o más en todo el espesor del horizonte mezclado (generalmente es más del 2 a 5%, dependiendo del contenido de arcilla). El contenido de carbono orgánico es por lo menos 0.6% más que el del horizonte C si se omite el requisito de color debido a materiales originarios oscuros.
- Los siguientes requisitos de espesor: a. 10 cm o más si resta directamente sobre roca dura, un horizonte petroplíntico o petrodúrico, o suprayace a un horizonte críico; o b. por lo menos 20 cm y más de un tercio del espesor del solum cuando el solum tiene menos de 75 cm de espesor; o c. más de 25 cm cuando el solum tiene más de 75 cm de espesor. Las mediciones de espesor incluyen horizontes transicionales AB, AE y AC. Los requisitos para un horizonte úmbrico deben lograrse luego de mezclar los primeros 20 cm, como por arado.

Identificación en el campo:

- Tienden a tener menor grado de estructura del suelo que los horizontes mólicos.
- La mayoría de los horizontes úmbricos tienen una reacción del suelo ácida (pH (H_2O , 1:2.5) menor de alrededor de 5.5) lo cual representa una saturación con bases menor de 50%
- Una indicación adicional de la acidez es un patrón de enraizamiento en el cual la mayoría de las raíces tienden a ser horizontales, en ausencia de una barrera física para las raíces.

Relación con algunos otros horizontes de diagnóstico:

- El requisito de saturación con bases pone al horizonte úmbrico aparte del horizonte mólico, que por lo demás es muy similar.
- El límite superior del contenido de carbono orgánico varía desde 12% (20% de materia orgánica) hasta 18% (30% de materia orgánica) que es el límite inferior del horizonte hístico, o 20%, el límite inferior del horizonte fólico.
- Los límites con los horizontes fúlvico y melánico desaturados en bases se establecen por la combinación del color oscuro intenso, el elevado contenido de carbono orgánico, el espesor y las características asociadas con horizontes ándicos en estos dos horizontes.
- Los horizontes úmbricos ocurren frecuentemente asociados con horizontes ándicos. Ocurren algunos horizontes superficiales gruesos, de color oscuro, ricos en material orgánico, desaturados en bases que se han formado como resultado de actividades humanas tales como arada profunda y abonado, la adición de abonos orgánicos, la presencia de poblados antiguos, montículos de sitios de residencia antiguos, etc. Estos horizontes generalmente pueden reconocerse en el campo por la presencia de artefactos, marcas de pala, inclusiones minerales contrastantes o estratificación indicando la adición intermitente de materiales de abono, una posición en el paisaje relativamente más alta, o verificando la historia agrícola del área.

Tabla 39.

Horizonte vértico

HORIZONTE VÉRTICO
Descripción general:
El horizonte vértico (del L. vertere, dar vuelta) es un horizonte subsuperficial arcilloso que como resultado de la expansión y contracción tiene superficies pulidas y acanaladas ('slickensides'), o agregados estructurales en forma de cuña o paralelepípedos.
Criterios de diagnóstico:
Debe tener: 30% o más arcilla en todo su espesor. - Agregados estructurales en forma de cuña o paralelepípedos con un eje longitudinal inclinado entre 10° y 60° respecto de la horizontal. - Slickensides que se intersectan. - Espesor de 25 cm o más.
Identificación en el campo:
- Los horizontes vérticos son arcillosos y tienen una consistencia dura a muy dura. - En condiciones secas, los horizontes vérticos muestran grietas de 1 o más centímetros de ancho. - En el campo es muy obvia la presencia de caras de agregados pulidas, brillantes ("slickensides") las que generalmente muestran ángulos agudos entre sí.
Características adicionales:
- El coeficiente de extensibilidad linear (COEL) es una medida del potencial de expansión-contracción y se define como la relación de la diferencia entre la longitud húmeda y la longitud seca de un terrón con su longitud seca: $(L_h - L_s)/L_s$, donde L_h es la longitud a 33 kPa de tensión y L_s la longitud en seco. - En los horizontes vérticos el COEL es más de 0.06.
Relaciones con algunos otros horizontes de diagnóstico:
- Varios otros horizontes de diagnóstico también pueden tener elevado contenido de arcilla, por ejemplo, el horizonte árgico, nátrico y nítico. - Estos horizontes carecen de la característica típica del horizonte vértico; sin embargo, pueden estar ligados lateralmente en el paisaje, con el horizonte vértico generalmente ocupando la posición más baja.

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

--

Tabla 40.

Horizonte vítrico

HORIZONTE VÍTRICO
Descripción general:
El horizonte vítrico (del L. vitrum, vidrio) es un horizonte superficial o subsuperficial dominado por vidrio volcánico y otros minerales primarios derivados de eyecciones volcánicas.
Criterios de diagnóstico:
Debe tener: 10% o más de vidrio volcánico y otros minerales primarios en la fracción tierra fina. - Menos de 10% de arcilla en la fracción tierra fina. - Una densidad aparente $> 0.9 \text{ kg dm}^{-3}$. $\text{Alox} + \frac{1}{2}\text{Feox} \text{ } 20 > 0.4\%$; o 5. retención de fosfato $> 25\%$. - Espesor de por lo menos 30 cm.
Identificación en el campo:
- Tiene una buena cantidad de materia orgánica y bajo contenido de arcilla. - Las fracciones arena y limo todavía están dominadas por vidrio volcánico inalterado y otros minerales primarios (puede controlarse con una lupa de mano de 10x).
Relación con algunos otros horizontes de diagnóstico:
- Están ligados a los horizontes ándicos, hacia los que pueden desarrollar eventualmente. - La cantidad de vidrio volcánico y otros minerales primarios, junto con la cantidad de minerales pedogenéticos no cristalinos o paracristalinos separa principalmente los dos horizontes. - Los horizontes vítricos pueden superponerse con varios horizontes de diagnóstico superficiales, por ejemplo, los horizontes fúlvico, melánico, mólico, úmblico y ócrico.

Tabla 41.

Horizonte yérmico

HORIZONTE YÉRMICO	
Descripción general:	
El horizonte yérmico (del español yermo) es un horizonte superficial que generalmente, pero no siempre, consiste de acumulaciones superficiales de fragmentos de rocas embebidas en una costra vesicular de textura franca y cubiertas por una fina capa de arena o loess eólicos.	
Criterios de diagnóstico:	
Debe tener: Propiedades áridicas. Un pavimento que está barnizado o incluye grava o piedras cuya forma está dada por el viento; un pavimento y una costra vesicular; o una costra vesicular por encima de un horizonte A laminar, sin pavimento.	
Identificación en el campo:	
- Comprende una costra vesicular en la superficie y el horizonte u horizontes A subyacentes. La costra, que tiene una textura franca, muestra una red poligonal de grietas de desecación, rellenas con material eólico, que se extiende dentro de los horizontes subyacentes. - La costra y el horizonte u horizontes A por debajo tienen estructura laminar débil a moderada.	
Relaciones con algunos otros horizontes de diagnóstico:	
Ocurren asociados con otros horizontes de diagnóstico característicos de ambientes de desierto (sálico, gípsico, dúrico, cálcico y cámbico). En desiertos muy fríos pueden ocurrir asociados con horizontes crícos, dominando el material crioclástico. Aquí puede ocurrir un pavimento denso con barniz, ventifactos, capas de arena eólica y acumulaciones minerales solubles directamente sobre horizontes C sueltos, sin una costra vesicular y horizonte A subyacente.	

2.2. PROPIEDADES ESPECÍFICAS DE ALGUNOS SUELOS

2.2.1. Propiedades de diagnóstico

Cambio textural abrupto

Descripción general:

Un cambio textural abrupto (del latín abruptus) es un incremento muy marcado en el contenido de arcilla dentro de un rango limitado de profundidad.

Criterios de diagnóstico:

Un cambio textural abrupto requiere 8% o más arcilla en la capa subyacente y:

- Duplicar el contenido de arcilla dentro de 7.5 cm si el horizonte suprayacente tiene menos de 20% de arcilla; o 1.
- 20% (absoluto) de incremento en contenido de arcilla dentro de 7.5 cm si la capa suprayacente tiene 20% o más arcilla.

Lenguas albelúvicas

Descripción general:

El término lenguas albelúvicas (del latín albus, blanco, y eluere, lavar) es connotativo de penetraciones de material empobrecido en arcilla y hierro dentro de un horizonte árgico. Cuando hay agregados, las lenguas albelúvicas ocurren a lo largo de caras de agregados.

Criterios de diagnóstico:

Las lenguas albelúvicas:

- Tienen el color de un horizonte álbico.
- Tienen mayor profundidad que ancho, con las siguientes dimensiones:
 - a). 5 mm o más en horizontes árgicos arcillosos.
 - b). 10 mm o más en horizontes árgicos franco arcillosos y limosos.
 - c). 15 mm o más en horizontes árgicos más gruesos (franco limoso, franco o franco arenoso).
- Ocupan 10% o más del volumen en los primeros 10 cm del horizonte árgico, medido sobre ambos cortes vertical y horizontal.
- Tienen una distribución por tamaño de partículas igual a la del horizonte de textura más gruesa por encima del horizonte árgico.

Propiedades ándicas

Descripción general:

Las propiedades ándicas (del japonés *an*, oscuro, y *do*, suelo) resultan de meteorización moderada principalmente de depósitos piroclásticos. Sin embargo, algunos suelos desarrollan propiedades ándicas a partir de materiales no volcánicos (e.g. loess, productos de meteorización de argilita y ferralíticos).

La presencia de minerales de bajo grado de ordenamiento y/o complejos órgano-metálicos son característicos de las propiedades ándicas. Estos minerales comúnmente son parte de la secuencia de meteorización en depósitos piroclásticos. Las propiedades ándicas pueden encontrarse en la superficie del suelo o en la subsuperficie, comúnmente ocurriendo como capas. Muchas capas superficiales con propiedades ándicas contienen elevada cantidad de materia orgánica (más del 5%), comúnmente son muy oscuras (value y croma Munsell, húmedo, 3 o menos), tienen una macroestructura esponjosa y, en algunas partes, una consistencia grasosa o resbaladiza (*smeary*).

Tienen baja densidad aparente y comúnmente textura franco limosa o más fina. Las capas superficiales ándicas ricas en materia orgánica pueden ser muy gruesas, con un espesor de 50 cm o más (característica páquica) en algunos suelos. Las capas ándicas subsuperficiales generalmente son de color algo más claro. Las capas ándicas pueden tener diferentes características, dependiendo del tipo de proceso de meteorización dominante actuando sobre el material de suelo.

Pueden exhibir tixotropía; por ejemplo, el material de suelo cambia, bajo presión o por frotamiento, de un sólido plástico a un estado licuado y vuelve a la condición sólida. En climas perhúmedos, las capas ándicas ricas en humus pueden contener más de dos veces el contenido de agua de muestras que se han secado en estufa y rehumedecido (característica hídrica). Se reconocen dos tipos principales de propiedades ándicas: uno en el cual el alofano y minerales similares son predominantes (el tipo sil-ándico); y otro en el cual predomina Al formando complejos con ácidos orgánicos (el tipo alu-ándico).

La propiedad sil-ándica típicamente da una reacción del suelo fuertemente ácida a neutra, mientras que la propiedad aluándica da una reacción del suelo extremadamente ácida a ácida.

Criterios de diagnóstico:

Las propiedades ándicas requieren:

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

- Un valor Alox + $\frac{1}{2}$ Feox31 de 2% o más.
- Una densidad aparente 32 de 0.90 kg dm⁻³ o menos
- Una retención de fosfato de 85%.
- Menos de 25% (en masa) de carbono orgánico.

Las propiedades ándicas pueden dividirse en propiedades sil-ándicas y alu-ándicas. Las propiedades sil-ándicas muestran un contenido de sílice extractable en oxalato ácido (pH 3) (Siox) de 0.6% o más o Alpy 33/Alox menor de 0.5; las propiedades alu-ándicas muestran un contenido de Siox menor de 0.6 por ciento y Alpy/Alox de 0.5 o más. Pueden ocurrir propiedades transicionales alu-sil-ándicas que muestran un contenido de Siox entre 0.6 y 0.9 % y un Alpy/Alox entre 0.3 y 0.5.

Identificación de campo:

Las propiedades ándicas pueden identificarse usando la prueba de campo de fluoruro de sodio de Fieldes y Perrott (1966). Un pH en NaF de más de 9.5 indica alofano y/o complejos órganoaluminio. La prueba es indicativa para la mayoría de las capas con propiedades ándicas, excepto para aquellas muy ricas en materia orgánica. Sin embargo, la misma reacción ocurre en horizontes spódicos y en ciertas arcillas ácidas arcillas ácidas que son ricas en minerales de arcilla con intercapas de Al.

Las capas superficiales no cultivadas, ricas en materia orgánica, con propiedades sil-ándicas típicamente tienen un pH (H₂O) de 4.5 o mayor, mientras que las capas superficiales no cultivadas con propiedades alu-ándicas y ricas en materia orgánica, típicamente tienen un pH (H₂O) de menos de 4.5. Generalmente, el pH (H₂O) en capas del subsuelo sil-ándicas es mayor de 5.0.

Relaciones con algunos horizontes y propiedades de diagnóstico:

Las propiedades vítricas se distinguen de las propiedades ándicas por un menor grado de meteorización. Esto se evidencia típicamente por una menor cantidad de minerales pedogenéticos no cristalinos o paracristalinos, como se caracteriza por una moderada cantidad de Al y Fe extractables en oxalato ácido (pH 3) en capas con propiedades vítricas (Alox + $\frac{1}{2}$ Feox = 0.4– 2.0 por ciento), por una mayor densidad aparente (DA > 0.9 kg), o por una menor retención de fosfato (25 –dm⁻³) o por una menor retención de fosfato (25 – <85 por ciento).

Los horizontes hísticos o fólicos con menos de 25% de carbono orgánico pueden tener propiedades ándicas. En capas orgánicas con 25% o más carbono orgánico, las propiedades ándicas no se consideran. Los horizontes spódicos, que también contienen

complejos de sesquióxidos y sustancias orgánicas, pueden también exhibir propiedades ándicas.

Propiedades arídicas

Descripción general

El término propiedades arídicas (del latín *aridus*, seco) combina un número de propiedades que son comunes en horizontes superficiales de suelos que ocurren bajo condiciones áridas y donde la pedogénesis excede la nueva acumulación en la superficie del suelo por actividad eólica o aluvial.

Criterios de diagnóstico:

Las propiedades arídicas requieren:

- Un contenido de carbono orgánico menor de 0.6% si la textura es franco arenosa o más fina, o menos de 0.2% si la textura es más gruesa que franco arenoso, como promedio ponderado en los primeros 20 cm del suelo o hasta el techo de un horizonte diagnóstico subsuperficial, una capa cementada, o roca continua, lo que sea más somero.
- Evidencia de actividad eólica en una o más de las formas siguientes: a. la fracción arena en alguna capa o en el material eólico relleno de grietas contiene partículas de arena redondeadas o subangulares que muestran una superficie mate (usando una lupa de mano de 10x). Estas partículas constituyen el 10% o más de la fracción media y más gruesa de arena de cuarzo; o b. fragmentos de roca cuya forma está dada por el viento ("ventifactos") en la superficie; o c. aeroturbación (por ejemplo, estratificación entrecruzada); o d. evidencia de erosión o deposición eólica, o ambas.
- Ambas muestras partida y apelmazada tienen un valor Munsell de 3 o más en húmedo y 4.5 o más en seco, y un croma de 2 o más en húmedo; y 4. una saturación con bases (por NH₄OAc 1 M) de 75% o más.

Propiedades ferrálicas

Descripción general

Las propiedades ferrálicas (del latín *ferrum*, hierro, y *alumen*, alumbre) se refieren a material mineral de suelo que tiene una CIC relativamente baja. También incluye

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

materiales de suelo que cumplen los requerimientos de un horizonte ferrálico excepto por la textura.

Criterios de diagnóstico:

Las propiedades ferrálicas requieren en alguna capa subsuperficial:

- Una CIC (por NH_4OAc 1 M) menor de $24 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1} \text{ arcilla}^{35}$; o
- Una CIC (por NH_4OAc 1 M) menor de $4 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ suelo y un croma Munsell de 5 o más, húmedo.

Propiedades géricas

Descripción general:

Las propiedades géricas (del griego geraios, viejo) se refieren a material mineral de suelo que tiene CICE muy baja o incluso actúa como un intercambiador aniónico.

Criterios de diagnóstico:

Las propiedades géricas requieren:

- Una CICE (suma de bases intercambiables más acidez intercambiable en KCl 1 M) menor de $1.5 \text{ cmol}_c \text{ kg}^{-1} \text{ arcilla}^{36}$.
- Un delta pH (pH_{KCL} menos pH_{AGUA}) de +0.1 o más.

Patrón de color gléyico

Descripción general:

Los materiales de suelo desarrollan un patrón de color gléyico (del ruso gley, masa de suelo abonada [mucky]) si están saturados con agua freática (o estuvieron saturados en el pasado, si ahora están drenados) por un período que permita la ocurrencia de condiciones reductoras (puede variar de unos pocos días en los trópicos a unas pocas semanas en otras áreas).

Criterios de diagnóstico:

Un patrón de color gléyico muestra uno o ambos de los siguientes:

- 90% o más (área expuesta) de colores reductimórficos, que comprenden blanco a negro neutro (Munsell hue N1/ a N8/) o azulado a verdoso (Munsell hue 2.5 Y, 5 Y, 5 G, 5 B).

- 5% o más (área expuesta) moteados de colores oximórficos, que comprenden cualquier color excluyendo los colores reductimórficos.

Identificación de campo:

Un patrón de color gléyico resulta de un gradiente redox entre el agua freática y la franja capilar, causando una distribución irregular de (hidr)óxidos de hierro y manganeso. En la parte inferior del suelo y/o dentro de los agregados los óxidos se transforman en compuestos insolubles de Fe/Mn(II) o son translocados, llevando ambos procesos a la ausencia de colores con un hue Munsell más rojo que 2.5Y.

Los compuestos de Fe y Mn translocados pueden concentrarse en forma oxidada (Fe[III], Mn[IV]) sobre caras de agregados o en bioporos (canales de raíces herrumbrosos), y hacia la superficie aún en la matriz. Las concentraciones de manganeso pueden reconocerse por fuerte efervescencia usando una solución de H₂O₂ al 10%. Los colores reductimórficos reflejan condiciones permanentemente saturadas. En material franco y arcilloso, dominan colores azul-verde debido a hidroxi-sales Fe (II, III) (herrumbre verde).

Si el material es rico en azufre (S), predominan los colores negruzcos debido a los sulfuros de hierro coloidales tal como greigita o mackinawita (fácilmente reconocibles por el olor luego de aplicar HCl 1 M). En material calcáreo, los colores blancuzcos son dominantes debido a calcita y/o siderita. Las arenas generalmente son de color gris claro a blanco y con frecuencia también empobrecidas en Fe y Mn. Los colores verde azulado y negro son inestables y con frecuencia se oxidan a pardo rojizo a las pocas horas de exposición al aire.

La parte superior de la capa reductimórfica puede mostrar hasta 10 por ciento de colores herrumbre, principalmente alrededor de canales de animales cavadores o raíces de las plantas. Los colores oximórficos reflejan condiciones reductora y oxidantes alternadas, como es el caso de la franja capilar y en los horizontes superficiales de suelos con nivel de agua freática fluctuante.

Colores específicos indican ferrihidrita (pardo rojizo), goetita (pardo amarillento brillante), lepidocrocita (naranja), y jarosita (Amarillo pálido). En suelos francos y arcillosos, los óxidos/hidróxidos de hierro se concentran sobre superficies de agregados y paredes de poros grandes (e.g. antiguos canales de raíces).

Discontinuidad litológica

Descripción general:

Las discontinuidades litológicas (del griego lithos, piedra, y latín continuare, continuar) son cambios significativos en la distribución por tamaño de particular o mineralogía que representan diferencias en litología dentro de un suelo. Una discontinuidad litológica también puede denotar una diferencia de edad.

Criterios de diagnóstico:

Una discontinuidad litológica requiere uno o más de los siguientes:

- Un cambio abrupto en la distribución por tamaño de particular que no está asociado únicamente con un cambio en el contenido de arcilla resultante de pedogénesis.
- Un cambio relativo de 205 o más en la relación entre arena gruesa, arena media y arena fina.
- Fragmentos de roca que no tienen la misma litología que la roca continua subyacente.
- Una capa conteniendo fragmentos de roca sin corteza de meteorización por encima de una capa con rocas con corteza de meteorización.
- Capas con fragmentos de roca angulares por encima o por debajo de capas con fragmentos de roca redondeados.
- Cambios abruptos de color que no resulten de pedogénesis.
- Diferencias marcadas en tamaño y forma de minerales resistentes entre capas superpuestas (demostrado por métodos micromorfológicos o mineralógicos).

Características adicionales:

En algunos casos, una línea horizontal de fragmentos de roca (stone line) por encima y por debajo de capas con menores cantidades de fragmentos de roca o un porcentaje decreciente de fragmentos de roca con la profundidad también puede sugerir una discontinuidad litológica, aunque la acción de clasificación de fauna pequeña como termitas puede producir efectos similares en lo que inicialmente ha sido un material parental uniforme.

Condiciones reductoras Definición Condiciones reductoras (del latín reducir) muestra uno o más de los siguientes:

1. un logaritmo negativo de la presión parcial de hidrógeno (rH) menor de 20.

2. la presencia de Fe^{2+} libre, como se ve en una superficie recientemente expuesta y suavizada de un suelo húmedo a campo por la aparición de un color rojo fuerte luego de mojar con una solución de α, α , dipiridilo al 0.2-por ciento en ácido acético 10-por ciento³⁷.
3. la presencia de sulfuro de hierro.
4. la presencia de metano.

Carbonatos secundarios

Descripción general:

El término carbonatos secundarios (del latín carbo, carbón) se refiere a calcáreo precipitado en el lugar a partir de la solución del suelo más que heredado del material parental del suelo. Como una propiedad de diagnóstico, debería estar presente en cantidades significativas.

Identificación de campo:

Los carbonatos secundarios pueden romper la estructura o fábrica del suelo, formando masas, nódulos, concreciones o agregados esferoidales (ojos blancos) que son blandos y pulverulentos cuando secos, o pueden estar presentes como revestimientos blandos en poros, sobre caras estructurales o en la cara inferior de fragmentos de roca o cementados.

Los carbonatos secundarios, si están presentes como revestimientos, cubren 50% o más de las caras estructurales y son suficientemente gruesos para ser visibles en húmedo. Si están presentes como nódulos blandos, ocupan 5% o más del volumen del suelo. Los filamentos (pseudomicelia) solo se incluyen en la definición de carbonatos secundarios si son permanentes y no aparecen y desaparecen con condiciones de humedad cambiantes. Esto puede verificarse esparciendo algo de agua.

Patrón de color stágnico

Descripción general:

Los materiales de suelo desarrollan un patrón de color stágnico (del latín stagnare, estancar) si están, al menos temporariamente, saturado con agua superficial (o estuvieron saturados en el pasado, si ahora están drenados) por un período lo suficientemente largo como para permitir que ocurran condiciones reductoras (esto puede variar de unos pocos días en los trópicos a unas pocas semanas en otras áreas).

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

Criterios de diagnóstico:

Un patrón de color stágnico muestra moteados de tal manera que las superficies de los agregados (o partes de la matriz del suelo) son más claras (por lo menos una unidad de value Munsell más) y más pálidas (por lo menos una unidad de croma menos), y los interiors de los agregados (o partes de la matriz del suelo) son más rojizos (por lo menos una unidad de hue) y más brillantes (por lo menos una unidad de croma más) que las partes no redoximórficas de la capa, o que el promedio mezclado de las partes interior y superficial.

Características adicionales:

Si una capa tiene un patrón de color stágnico en 50 por ciento de su volumen el otro 50 por ciento de la capa es no redoximórfico (no es más claro y pálido ni más rojizo y brillante).
Propiedades vérticas Criterios de diagnóstico El material de suelo con propiedades vérticas (del latín vertere, dar vuelta) tiene uno o ambos de los siguientes: 1. 30 por ciento o más de arcilla en todo un espesor de 15 cm o más y uno o ambos de los siguientes: e. slickensides o agregados en forma de cuña; o f. grietas que se abren y cierran periódicamente y tienen 1 cm o más de ancho; o 2. un COEL de 0.06 o más promediado en una profundidad de 100 cm desde la superficie del suelo.

Propiedades vítricas

Descripción general:

Las propiedades vítricas (del latín vitrum, vidrio) aplican a capas con vidrio volcánico y otros minerals primaries derivados de eyecciones volcánicas y que contienen una cantidad limitada de minerals de bajo grado de ordenamiento o complejos órgano-metálicos.

Criterios de diagnóstico:

Las propiedades vítricas:

- Requiere 5% o más (por recuento de granos) de vidrio volcánico, agregados vítreos y otros minerals primaries revestidos de vidrio, en la fracción entre 0.05 y 2 mm, o en la fracción entre 0.02 y 0.25 mm.
- Requiere un valor $A_{lox} + \frac{1}{2}Fe_{ox}$ de 0.4 por ciento o más.
- Requiere una retención de fosfato de 25% o más.
- No cumple uno o más criterios de las propiedades ándicas.
- Requiere menos del 25% (en masa) de carbono orgánico.

Identificación de campo:

Las propiedades vítricas pueden ocurrir en una capa superficial. Sin embargo, también pueden ocurrir bajo algunas decenas de centímetros de depósitos piroclásticos recientes. Las capas con propiedades vítricas pueden tener una cantidad apreciable de material orgánica. Las fracciones arena y limo grueso de capas con propiedades vítricas tienen una cantidad significativa de vidrio volcánico no alterado o parcialmente alterado, agregados vítreos y otros minerales primarios revestidos de vidrio (las fracciones más gruesas pueden controlarse con una lupa de mano de $\times 10$; las fracciones más finas pueden controlarse con el microscopio).

Relaciones con algunos horizontes, propiedades y materiales de diagnóstico:

Las propiedades vítricas están, por un lado, estrechamente relacionadas con propiedades ándicas, en las cuales pueden eventualmente desarrollarse. Por otro lado, las propiedades vítricas desarrollan a partir de materiales tétricos. Los horizontes mólico y úmblico también pueden exhibir propiedades vítricas.

2.2.2. Clave simplificada de los grupos más frecuentes en la Unión Europea**Clave aproximada de las unidades del suelo**

La Clave para los GSR en la WRB deriva de la Leyenda del Mapa de Suelos del Mundo. La historia detrás de la Clave para las Unidades Principales de Suelos del Mapa de Suelos del Mundo revela que está basada principalmente en la funcionalidad; la clave fue concebida para derivar la clasificación correcta lo más eficientemente posible. La secuencia de Unidades Principales de Suelos era tal que el concepto central de los principales suelos aparecía casi automáticamente especificando brevemente un número limitado de horizontes, propiedades o materiales de diagnóstico.

La Tabla 61 proporciona una apreciación general y lógica para la secuencia de GSR en la Clave de la WRB. Los GSR se asignan a conjuntos sobre la base de identificadores dominantes, los factores o procesos formadores de suelos que más claramente condicionan la formación del suelo.

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

Tabla 42.

Clave racionalizada para los Grupos de Suelos de Referencia de la WRB

1. Suelos con gruesas capas orgánicas:	Histosoles
2. Suelos con fuerte influencia humana:	- Suelos con uso agrícola prolongado e intensivo: Antrosoles - Suelos que contienen muchos artefactos: Tecnosoles
3. Suelos con enraizamiento limitado debido a permafrost o rocosidad somera	- Suelos afectados por hielo: Criosoles - Suelos someros o extremadamente gravillosos: Leptosoles
4. Suelos influenciados por agua	- Condiciones alternadas de saturación-sequía, ricos en arcillas expandibles: Vertisoles - Planicies de inundación, marismas costeras: Fluvisoles - Suelos alcalinos: Solonetz - Enriquecimiento en sales por evaporación: Solonchaks - Suelos afectados por agua subterránea: Gleysoles
5. Suelos regulados por la química de Fe/Al	- Alofano o complejos Al-humus: Andosoles - Queluviación y quiluviación: Podzoles - Acumulación de Fe bajo condiciones hidromórficas: Plintosoles - Arcilla de baja actividad, fijación de P, fuertemente estructurado: Nitisoles - Dominancia de caolinita y sesquióxidos: Ferralsoles
6. Suelos con agua estancada	- Discontinuidad textural abrupta: Planosoles - Discontinuidad estructural o moderadamente textural: Stagnosoles
7. Acumulación de materia orgánica, alta saturación con bases	- Típicamente mólico: Chernozems - Transición a clima más seco: Kastanozems - Transición a clima más húmedo: Phaeozems
8. Acumulación de sales menos solubles o sustancias no salinas	- Yeso: Gipsisoles Sílice - Durisoles Carbonato de calcio: Calcisoles

9. Suelos con subsuelo enriquecido en arcilla	• Lenguas albelúvicas: Albeluvisols • Baja saturación con bases, arcillas de alta actividad: Alisols • Baja saturación con bases, arcillas de baja actividad: Acrisols • Alta saturación con bases, arcilla de alta actividad: Luvisols • Alta saturación con bases, arcilla de baja actividad: Lixisols
10. Suelos relativamente jóvenes o suelos con poco o ningún desarrollo de perfil	• Con suelo superficial oscuro ácido: Umbrisols • Suelos arenosos: Arenosols • Suelos moderadamente desarrollados: Cambisols • Suelos sin desarrollo significativo de perfil: Regosols

El secuenciamiento de los grupos se realizan de acuerdo a los siguientes principios:

1. Salen de la clave los suelos orgánicos para separarlos de los suelos inorgánicos (Histosoles).
2. Reconocer la actividad humana como un factor formador de suelos, de ahí la posición de los Antrosoles y Tecnosoles después de los Histosoles, también parece lógico que sigan los recientemente introducidos Tecnosoles cerca del principio de la Clave, por las siguientes razones: se puede separar suelos que no deberían tocarse (suelos tóxicos que deberían ser manipulados por expertos); se obtiene un grupo homogéneo de suelos en materiales extraños; los políticos y tomadores de decisiones que consulten la Clave van a encontrar inmediatamente estos suelos problemáticos.
3. Suelos con limitación severa para enraizamiento (Crisoles y Leptosoles).
4. Conjunto de GSR que están o han estado fuertemente influenciados por agua: Vertisoles, Fluvisoles, Solonetz, Solonchaks y Gleysols.
5. El conjunto siguiente de suelos agrupa los GSR en los cuales la química del hierro (Fe) y/o aluminio (Al) juega un rol principal en su formación: Andosoles, Podzoles, Plintosoles, Nitrosols y Ferralsols.
6. Conjunto de suelos con agua “colgada”: Planosols y Stagnosols.

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

7. Suelos que ocurren principalmente en regiones de estepa y tienen un suelo superficial rico en humus y alta saturación con bases: Chernozems, Kastanozems y Phaeozems.
8. Suelos de regiones secas con acumulación de yeso (Gipsisoles), sílice (Durisoles) o carbonato de calcio (Calcisoles).
9. Suelos con un subsuelo rico en arcilla: Albeluvisoles, Alisoles, Acrisoles, Luvisoles y Lixisoles.
10. Finalmente se agrupan juntos suelos relativamente jóvenes con muy poco o ningún desarrollo de perfil, o arenas muy homogéneas: Umbrisoles, Arenosoles, Cambisoles y Regosoles.





CAPÍTULO III: MINERALES Y EVOLUCIÓN DEL SUELO

3.1. ALTERACIÓN DE LOS MINERALES EN EL SUELO

Alteración física

- Favorece la liberación de sustancias
- Afecta a la composición química y mineralógica de la roca
- Reacciones químicas sencillas, exotérmicas, lentas
- En general irreversibles
- Producen compuestos intermedios y finales, cuyas características dependen de la roca original.

Alteración Química

Esta alteración depende del tipo de mineral formadores de rocas, mismos que pueden ser:

- Silicatos (95%)
- Carbonatos
- Sulfatos
- Óxidos e Hidróxidos
- Estabilidad mineral (silicatos)

Alteraciones de hidratos de hierro y aluminio y de la sílice hidratada

- Se forman a partir de los minerales primarios y, al ser muy insolubles, persisten en los suelos. Entre ellos destacan los de hierro (limonita), aluminio (bauxita) y manganeso (wad).
- El aluminio sólo presenta un estado de oxidación y es liberado durante la hidrólisis de los aluminosilicatos, como óxido u óxido hidratado, mientras que los óxidos de los metales de transición se forman por oxidación de los minerales primarios; a medida que avanza su oxidación, los óxidos se adhieren a las rocas, pero cuando la meteorización progresa y la roca se destruye, pasan al suelo en donde se acumulan.
- El estancamiento de estos metales en los suelos depende en gran medida de la cantidad de materia orgánica del medio, ya que ésta es capaz de quelatar metales, tales como el hierro o el aluminio, favoreciendo su movilidad y haciéndolos accesibles para los vegetales.

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

- Aluminosilicatos: Las arcillas son minerales en capas que contienen sílice y alúmina, y que la carga en éstas surge bien por sustitución isomórfica o por disociación de H^+ a partir de la greda de constitución.
- Así también se ha descrito que la carga total de un mineral de arcilla puede separarse en carga permanente y carga dependiente del pH. La primera sería el resultado de la sustitución isomórfica y la segunda podría tener distintos orígenes.
- Determinación de Óxidos de Hierro

Alteración de silicatos

- La alteración de minerales de arcilla previamente formados debido a cambios geoquímicos en el ambiente.
- Es la transformación de una fase cristalina en otra, esencialmente en fase sólida. Se puede lograr por aporte o eliminación de elementos nuevos en el mismo lugar donde se produce la alteración del mineral primario. Así a partir de biotita pueden formarse vermiculita, illita, esmectita y sesquióxidos.
- Existen dos tipos de transformación:
 1. Degradación: se refiere a la remoción de iones de la estructura cristalina de la arcilla.
 2. Agradación: se refiere a la adición de iones a la estructura de la arcilla.
- Si un mineral degradado es transportado a un medio más rico en cationes que donde se formó, se reorganiza la estructura por agradación y crece.
- Estas transformaciones no son espectaculares sino tenues pero se han mencionado, tanto la degradación como la agradación están gobernadas por dos tipos de ambientes:
 1. Ambiente lixivante o abierto: destruye los minerales silicatados primarios, degrada las capas de los silicatos y transforma los minerales de arcillas; son transformaciones por sustracción.
 2. Ambiente confinado o cerrado: es responsable de la agradación de minerales de arcillas degradados y de la formación de nuevos minerales de arcillas a partir de soluciones confinadas y concentradas; son transformaciones por adición y ocurre en procesos de sedimentación y diagénesis, escasamente en suelos.

3.2. CICLOS DE LOS MINERALES EN EL SUELO

3.2.1. El ciclo del nitrógeno en los suelos

El ciclo del nitrógeno está compuesto por las interacciones de las distintas formas de Nitrógeno (N) con el suelo, los organismos y la atmósfera. En las transformaciones están involucradas las formas orgánicas e inorgánicas que ocurren de forma sincrónica. La transformación de N_2 (gas) a formas utilizables por las plantas se produce a través del proceso de fijación biológica.

Las formas orgánicas son convertidas a formas inorgánicas (NH_4^+ o NO_3^-) por mineralización. El NO_3^- puede volver a la atmósfera por desnitrificación en forma de N_2 o perderse por lixiviación. Las formas inorgánicas pueden ser absorbidas por las raíces de las plantas o por los microorganismos, que vuelven a incorporar el N a una forma orgánica por inmovilización.

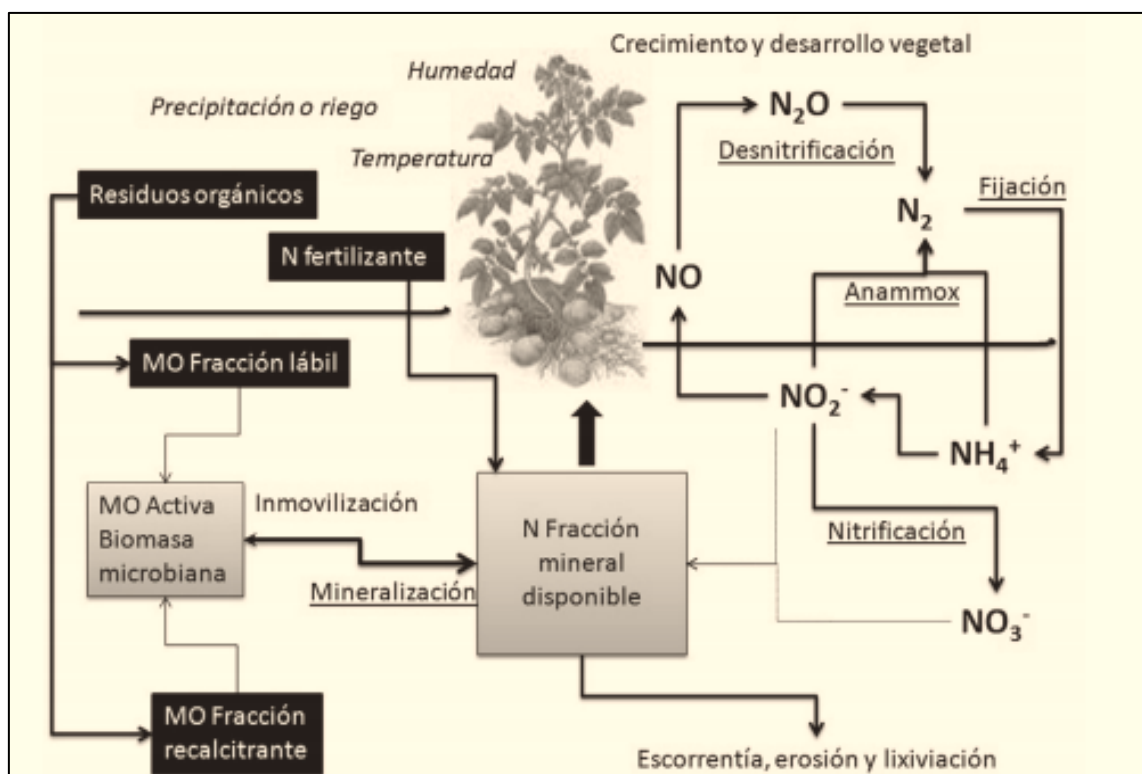


Figura 20. Ciclo del nitrógeno y los compartimentos orgánicos y minerales

Nota: Los cuadros negros son las entradas al sistema, los grises las fracciones disponibles; sin recuadro procesos y factores que tienen influencia en la disponibilidad de nitrógeno (MO: Materia orgánica).

Fuente: Cerón & Aristizábal, 2012

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

3.2.2. El ciclo del fósforo en los suelos

El fósforo proviene de los minerales conocidos como apatitas y de depósitos de fosfato natural de donde es liberado a través de procesos de meteorización, lixiviación, erosión y extracción industrial como fertilizante. El fosfato liberado de las apatitas es absorbido por las plantas y la biomasa microbiana, luego se incorpora en la materia orgánica de los suelos y sedimentos, y nuevamente se deposita en formas minerales poco solubles. El fósforo inorgánico (Pi) se presenta generalmente fuertemente fijado en forma de fosfatos de Ca^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} y Al^{3+} , especialmente en arcillas del grupo de las caolinitas y ocluido en los óxidos de hierro y aluminio. Incluso el P, aplicado como fertilizante en forma de superfosfato, puede fácilmente constituir compuestos inorgánicos inutilizables, debido a su inmovilización sobre la materia orgánica y arcillas (Cerón & Aristizábal, 2012).

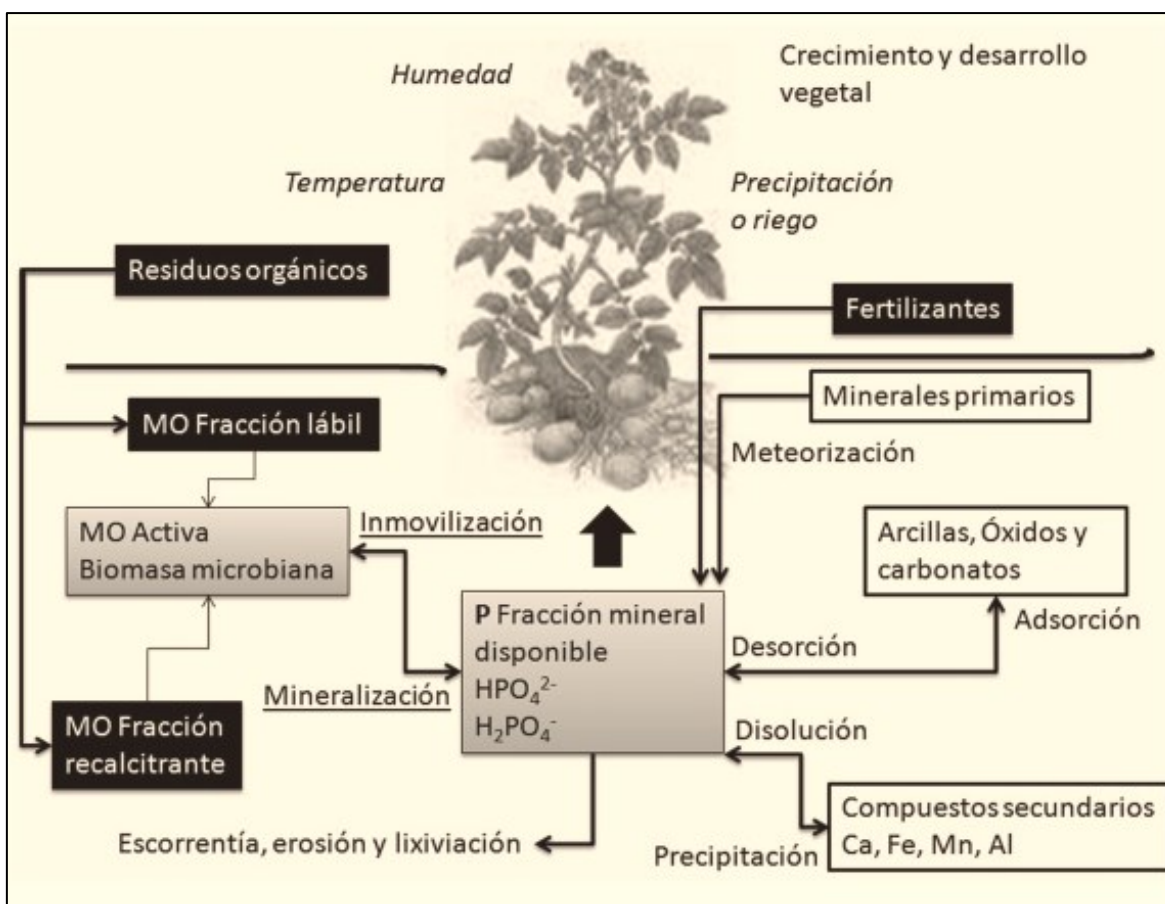


Figura 21. Ciclo del fósforo y los compartimentos orgánicos y minerales

Nota: Los cuadros negros son las entradas al sistema, los grises las fracciones disponibles; cuadros sin color son procesos y factores que tienen influencia en la disponibilidad de fósforo (MO: Materia orgánica).

Fuente: Cerón & Aristizábal, 2012

La mayoría del fósforo de los ecosistemas terrestres se encuentra localizado en el suelo, además, la principal fuente de compuestos orgánicos de fósforo (Po) la constituyen residuos de plantas, animales y microorganismos, que liberan compuestos como ácidos nucleicos, fosfolípidos y ésteres. La mineralización de éstos, retornándolos a fosfatos HPO_4^{2-} y de H_2PO_4^- inorgánicos (Pi), permite el reciclaje del elemento para que regrese a la biota. Los fosfatos (Pi) son utilizados por autótrofos y heterótrofos, incluidos los descomponedores, en la cadena trófica, para ser devueltos por estos últimos (Cerón & Aristizábal, 2012).

3.2.3. El ciclo de potasio en los suelos

El ciclo del potasio se compone por distintos procesos que ocurren de manera sincrónica, según la forma en la que se lo encuentre, que puede ser en silicatos, como materia orgánica y de forma iónica en la corteza terrestre.

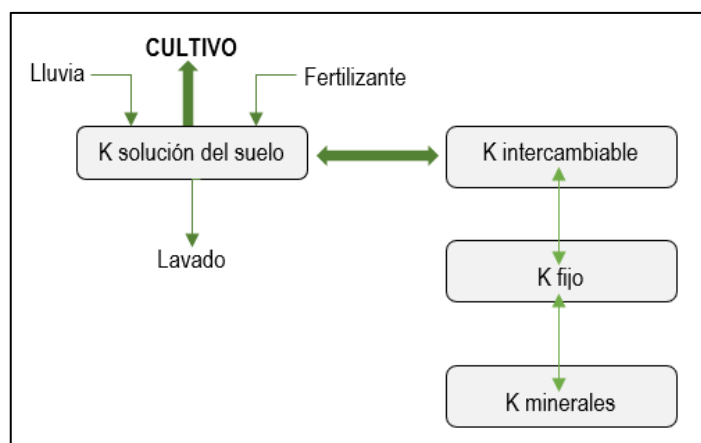


Figura 22. Ciclo del potasio

El potasio en la solución de suelo está disponible y puede ser absorbido por las plantas en forma inmediata.

3.2.4. El ciclo del calcio en los suelos

El calcio es un catión que predomina en el complejo sorbente de un suelo que no sea ácido o que el aluminio sea el catión predominante. Cuando se presenta un suelo ácido, la recuperación del mismo será resuelta mediante la práctica conocida como encalado, que consiste en una aplicación de enmienda cálcica que reduce la acidez del suelo al enriquecer el contenido de calcio intercambiable en la partícula coloidal (Andina, 2015).

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

Las formas en las que el calcio se puede encontrar en el suelo son: calcio contenido en minerales o Ca estructural, complejos de calcio con el humus del suelo, calcio intercambiable y calcio en solución.

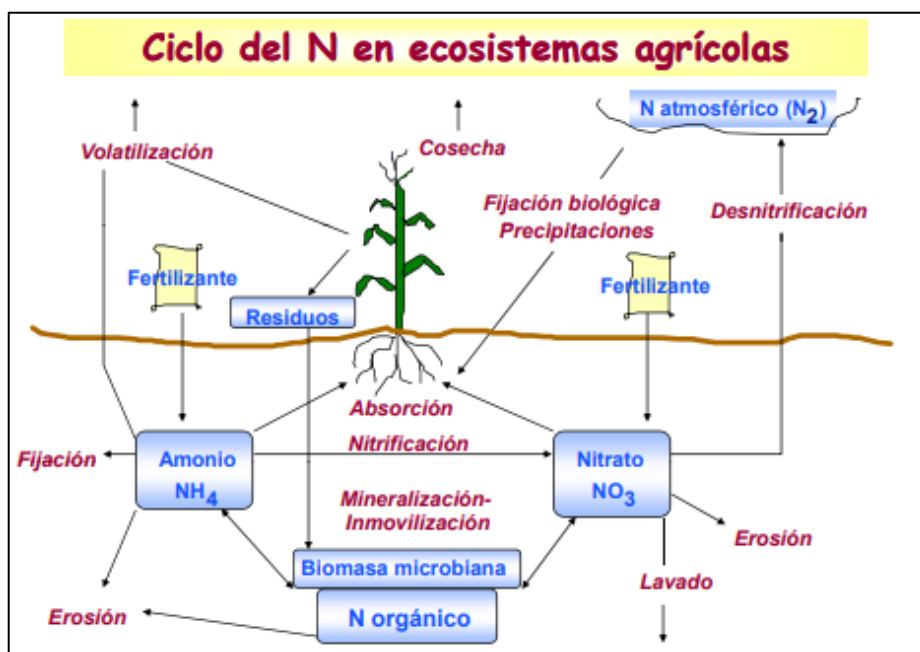


Figura 23. Ciclo del calcio

El ciclo del calcio comprende en general un balance de ganancias y pérdidas como enmienda, absorción del cultivo y exportación, lavado y erosión

3.2.5. El ciclo del magnesio en los suelos

El Mg en las plantas se encuentra en contenidos menores al de Ca, forma parte de la molécula de clorofila por lo que se encuentra íntimamente involucrado en la fotosíntesis. Cumple un rol en la síntesis de aceites y proteínas y la actividad de enzimática del metabolismo energético.

Las formas en las que el magnesio se encuentran en el suelo son: magnesio contenido en minerales, magnesio intercambiable y magnesio en solución.

El estado del magnesio en el suelo se caracteriza por un proceso dinámico, influenciado por varios factores como el clima, pH del suelo, temperatura y humedad del suelo, y presencia de otros cationes (Andina, 2015).

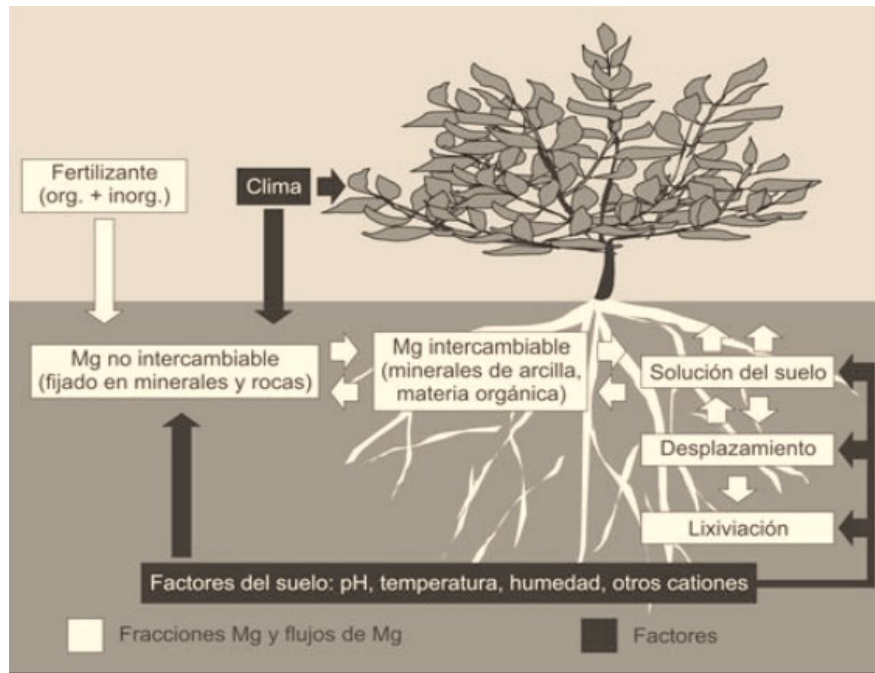


Figura 24. Ciclo del magnesio

3.2.6. El ciclo del hierro en los suelos

El hierro es el cuarto elemento más abundante en la tierra, se presenta en los vegetales formando parte de numerosos sistemas enzimáticos, que se pueden dividir en hemídicos y no hemídicos. El ciclo del hierro parte de los minerales primarios, mismos que a través de la meteorización liberan hierro soluble a la disolución, que puede ser utilizado por los organismos, unirse a ligando orgánicos o ser transformado en minerales secundarios

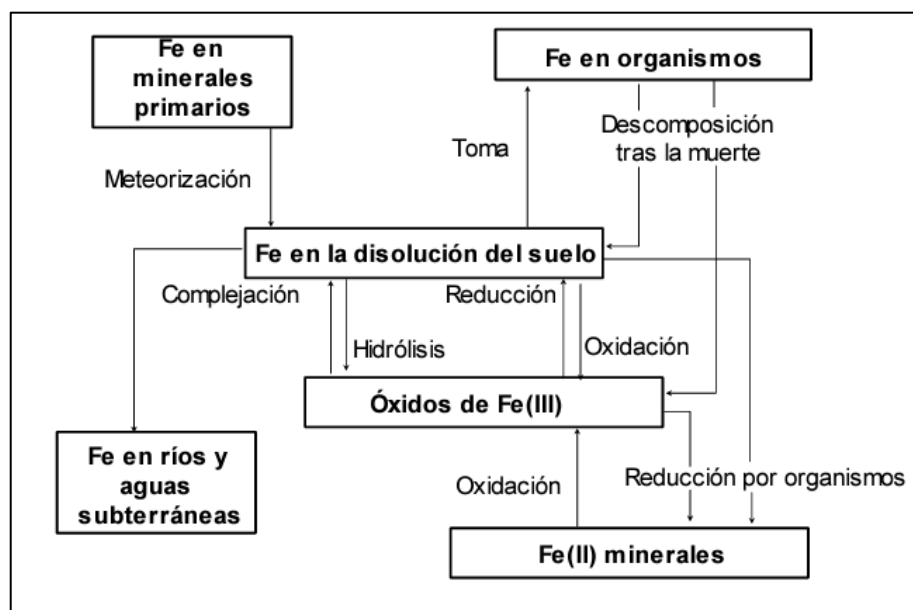


Figura 25. Ciclo del hierro

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

3.2.7. El ciclo del aluminio en los suelos

El aluminio es un metal inocuo en el medio ambiente, que se encuentra en forma de silicatos, óxidos e hidróxidos, combinado con otros elementos como el sodio y el fluor, formando complejos con materia orgánica; es liberado en el ambiente a través de procesos naturales como de fuentes antropogénicas (Acevedo, 2007). Se libera desde los minerales a la solución del suelo y al agua a través del movimiento de protones el cual se origina a partir de los siguientes procesos:

- Respiración de las raíces
- Metabolismo microbiano
- Descomposición de residuos de plantas y animales
- Oxidación de la pirita
- Aplicación de fertilizantes que generana cidez
- Deposición de lluvia ácida.

El aluminio se encuentra de varias formas en la solución del suelo; presentándose como microcristales, precipitados amorfos o como complejos orgánicos e inorgánicos; también es considerado no tóxico o menos tóxico como Al monomérico inorgánico Al^{3+} , $AlOH^{2+}$ y $Al(OH)_2^+$ o formas poliméricas inorgánicas, AlO_4 $Al_{12}(OH)_{24}H_2O^{7+}$ (conocido como Al_{13}) (Acevedo, 2007).

3.2.8. El ciclo del silicio en los suelos

Los suelos, pueden adsorber los nutrientes en las cargas eléctricas de los coloides, unos con mayor o menor fuerza de adsorción, dificultando en algunos casos su absorción por las plantas. Para lograr que los nutrientes entren a la solución del suelo, el Silicio se intercambia con éstos, quedando adherido a los coloides, liberándolos y permitiendo de ésta manera que queden disponibles para las plantas. Al aplicarse fertilizantes como fuentes de Fósforo, una gran cantidad de este no alcanza a ser tomado por las plantas, presentándose en el suelo reacciones de fijación del fósforo (Hernández, 2012).

El Silicio neutraliza mejor la toxicidad del Aluminio en suelos ácidos que el encalado debido a que existen 5 posibles mecanismos de acción y el encalado solo tiene uno, además, aumenta la nutrición de fósforo en las plantas de un 40 a 60% sin la aplicación de fuentes fosfatadas e incrementa la eficiencia de la aplicación de roca fosfórica de un 100 a 200%, previniendo la transformación del P en compuestos inmóviles.

3.2.9. El ciclo del sodio en los suelos

En la solución del suelo existe una concentración elevada de sales sódicas capaces de sufrir hidrólisis alcalina, de tipo carbonato y bicarbonato de sodio. Estas sales de elevada solubilidad producen incrementos del pH del suelo a valores iguales o superiores a 8,5 (suelos fuertemente alcalinos) lo que dificulta de modo severo la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes como así también la actividad biológica. Los suelos sódicos suelen presentar “costras negras” en su superficie, las cuales son humatos sódicos producto de la unión de la materia orgánica coloidal con el sodio presente. Estas costras negras son identificadas con facilidad sobre la superficie del suelo, permitiendo reconocer la problemática de sodicidad a simple vista (Courel, 2019).

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

3.3. MIGRACIONES EN EL SUELO

Los tipos de migraciones son: ascendentes, descendentes y oblicuas.

Tabla 43.

Tipos de migraciones

Migraciones ascendentes	Movimientos de sustancias (no comunes) que se producen por el arrastre hacia arriba (según su solubilidad), por fenómenos como la capilaridad y la presencia de una napa freática que sube y baja estacionalmente.
Migraciones descendentes	Son las más comunes en los climas húmedos y generan dos fenómenos que forman parte del proceso de lixiviación: • Eluviación (traslado o arrastre): empobrecimiento de un horizonte por arrastre de sus constituyentes hacia un horizonte inferior. • Iluviación (acumulación): enriquecimiento de un horizonte de sustancias que provienen de otro horizonte.
Migraciones oblicuas	Movimientos en horizontes permeables afectados por una pendiente, que se encuentra por arriba de un horizonte de menor permeabilidad.

Los factores que influyen en la migración de sustancias son:

- **Agua circulante en el suelo**

Este factor es el más importante, considerando que el agua es el principal agente de alteración y también de arrastre que actúa sobre la roca madre original. La cantidad de agua y su desplazamiento, va a regular la naturaleza e intensidad de las migraciones. Además, su abundancia o déficit, va a estar íntimamente ligada a las condiciones climáticas de la zona dónde estamos considerando estos procesos migratorios en el suelo.

- **Topografía**

Se debe tomar en cuenta la inclinación de las pendientes, ya que a mayor inclinación, más agua va a escurrir sobre la superficie y por lo tanto, menor volumen de agua va a infiltrar dentro del perfil de suelo, con lo que se darán menores migraciones.

- **Permeabilidad de los suelos**

Las migraciones son mayores en suelos de textura gruesa (arenas) que en suelos de texturas finas (arcillas y limos), que presentan menor permeabilidad. Pero el depósito o acumulación se produce por el mayor peso de las partículas, más cercano a su lugar de

origen. La presencia de capas arcillosas pesadas, así como suelas de arado o capas endurecidas por causas como: excesivo laboreo durante varios años, pérdida de materia orgánica, uso excesivo de maquinaria pesadas con ruedas inadecuadas.

- **Presencia de napas freáticas temporales o permanentes**

Las napas freáticas temporales, estacionales o permanentes, que pueden ascender o descender provocando la migración de las sustancias que se desplazan con el agua en solución o suspensión. Asimismo, provocan condiciones de anaerobiosis o de falta de oxígeno, que afectan en forma temporal el perfil del suelo, provocando reacciones químicas en condiciones de ausencia del O_2 . Los óxidos particularmente los de hierro, muestran claramente las condiciones imperantes.

- **Estado de la materia orgánica y el humus de los suelos**

La mayor o menor cantidad de procesos migratorios dependen del porcentaje en que se encuentren los ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y compuestos orgánicos solubles.

- **Actividad biológica**

Existe el arrastre de sustancias por la acción de animales cavadores como lombrices, o insectos; y también hay una importante acción de las raíces vivas y muertas de las plantas. Las raíces vivas absorben agua con elementos minerales o sustancias (nutrientes) disueltas en ella. Los nutrientes migran hacia el interior de las plantas y luego vuelven al medio al morir y descomponerse las mismas.

Hay vegetales que producen ácidos orgánicos, que son liberados al medio y que contribuyen a solubilizar y alterar sustancias que rodean los pelos absorbentes radiculares. O sea que esta actividad biológica tiende a cumplir un rol compensador entre el lavado hídrico y la elevación de sustancias por animales y raíces.

3.4. LA EVOLUCIÓN DE LOS SUELOS

Fadda (2017a), manifiesta la evolución de los suelos de la siguiente manera:

- La evolución de los suelos parte de una roca (la litosfera), una mezcla mineral húmeda (hidrosfera) que, por acción de la atmósfera, sufre un desmenuzamiento y descomposición, por la acción de fuerzas físicas y químicas puramente atmosféricas, generando una roca triturada
- Sobre la roca triturada, se asientan plantas y animales (la biosfera), quienes absorben productos de disolución de la roca y desprenden productos de cambio como gases, soluciones, humus. Las plantas participan en la transformación química de los minerales y en la pulverización de la roca, mientras que, los animales remueven las partículas y participan indirectamente en la transformación química.
- De la atmósfera y de la capa acuosa subterránea proceden líquidos disolventes en continua movilidad. De la atmósfera, de las soluciones, de los organismos, en parte de las mismas rocas, penetran en el sistema complejo, gases que también están en continuo movimiento. El movimiento ininterrumpido en el suelo es su característica principal y su principal diferencia con la roca.
- La capa más externa de la superficie terrestre, limitada por la atmósfera, forma un sistema con factores de extrema complejidad.
- El estado del sistema natural está condicionado por tres integrantes: el suelo, el clima y la vegetación.
- Además, el suelo tiene una íntima relación con el sustrato geológico del que se originó, con el conjunto de factores que constituyen el clima y con la vegetación que del suelo se nutre y que al suelo da sus restos suelo, las influencias y las interacciones de sus constituyentes, esta noción es la que viene mejor para caracterizar un suelo, permitiendo prever cual será se reacción a una acción exterior.

Por otra parte, en la formación del suelo se pueden distinguir dos etapas: la etapa inicial que representa la diferenciación de los constituyentes del suelo y una etapa final en la que los constituyentes se reorganizan y evolucionan para formar el suelo. Además, para la formación del suelo intervienen varios factores físicos y biológicos.

3.4.1. Factores físicos

Entre los factores físicos están:

- **Clima:** es el más importante por considerar a la temperatura y humedad, es así que, a mayor temperatura y humedad, mayor es la meteorización y la actividad de los organismos vivos, esta meteorización es muy intensa en climas húmedos y cálidos formando suelos profundos, con una gran densidad de seres vivos; sin embargo, en climas fríos o secos es tan escasa que forma suelos poco profundos y tarda mucho tiempo. Asimismo, la precipitación influye en la formación de los horizontes al ser responsable del lavado o lixiviación de partículas del horizonte A al horizonte B, y en caso de fuerte evaporación y escasez de agua, se produce un ascenso de agua por capilaridad, originando el ascenso de sales disueltas en el agua que al evaporarse precipitan formando costras de sal en la superficie del suelo. Además, es importante mencionar que el clima determina la intensidad de pérdida de suelo (erosión).
- **Roca madre:** aporta al suelo la mayor parte de sus componentes minerales e influye en las primeras etapas de su formación, sobre todo por su resistencia a la meteorización. En este sentido, si la roca madre se altera con facilidad, se forman suelos profundos en poco tiempo; mientras que, si la roca es resistente da paso a suelos de poco espesor y sin horizonte B. Además, se debe considerar la permeabilidad de la roca puesto que la humedad influye en la formación del suelo.
- **Topografía:** las pendientes y la orientación geográfica intervienen en la formación del suelo; es así que, en zonas llanas se forman suelos profundos, mientras que en zonas de pendiente el suelo es escaso, debido a que existe mayor erosión, así como por la menor infiltración de agua. Además, la orientación hacia el sur genera suelos peores en relación a los orientados hacia el norte.

El relieve ejerce tres acciones fundamentales para la evolución del suelo:

1. Transporte: moviliza pendiente abajo (superficial e interiormente del suelo) todo tipo de materiales.
2. Características hídricas: el relieve influye en la cantidad de agua y drenaje del suelo; asimismo, ya que en las áreas altas existe un drenaje vertical rápido, que pasará a oblicuo en las laderas y quedará muy impedido en las depresiones.

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

3. Microclima: influye en función de la inclinación (influye en la intensidad calorífica de las radiaciones), orientación (regula el tiempo de incidencia de las radiaciones) y altitud (influye en los elementos climáticos generales).
- **Tiempo:** es un factor que influye directamente, ya que un suelo bien formado puede tardar desde cientos de años en un clima cálido y húmedo a miles de años en climas fríos y secos. Los suelos inmaduros o jóvenes no han tenido tiempo suficiente para desarrollarse totalmente; en cambio, los suelos maduros están en equilibrio con el medio (clima) y han tardado el tiempo necesario.

3.4.2. Factores biológicos

- **Vegetación:** influye en el horizonte A, mismo que es predominantemente orgánico dentro de los horizontes minerales, ya que en este horizonte se restos vegetales, se da su descomposición, humificación y eventualmente la formación de complejos con el material mineral.
- **Bacterias y hongos:** ayudan a formar el humus y descomponen la materia orgánica en inorgánica para el crecimiento de las plantas. En los climas fríos el crecimiento de las bacterias y hongos es lento, y por tanto, el humus se puede acumular sobre el suelo. En los climas muy cálidos y húmedos, la acción de los descomponedores es intensa y toda la vegetación muerta es oxidada rápidamente. El humus es casi inexistente.

La importancia del suelo radica en que es un elemento natural dinámico y vivo que constituye la interfaz entre la atmósfera, la litosfera, la biosfera y la hidrosfera, sistemas con los que mantiene un continuo intercambio de materia y energía, convirtiéndolo en una pieza clave del desarrollo de los ciclos biogeoquímicos superficiales y le da la capacidad para desarrollar una serie de funciones esenciales en la naturaleza de carácter medioambiental, ecológico, económico, social y cultural (Ortiz, 2015).

La concepción agronómica de suelo puede matizarse con dos enfoques distintos: el físico y el fisicoquímico. El primero considera al suelo como un medio poroso, incluso inerte, por el que circulan soluciones y aire y donde las plantas tienen su soporte físico. Según el enfoque fisicoquímico, el suelo es el medio de nutrición de las plantas (Ortiz, 2015).

3.5. PROCESOS GENÉTICOS GENERALES EN LOS SUELOS

3.5.1. Procesos ligados a la humificación

La pedogénesis es enteramente bioquímica, con formación de complejos órgano minerales, es decir que los compuestos húmicos se asocian fuertemente con los minerales del suelo, lo que influye en los movimientos de transferencia o remociones que ocurren en el perfil del mismo. Fadda (2017a) menciona que entre los procesos ligados a la humificación están:

- **Calcificación**

La calcificación ocurre en ambientes con material originario rico en calcáreo (CaCO_3), en los que una considerable cantidad de materia orgánica se adiciona tanto a la superficie del suelo como a los primeros centímetros del mismo, generalmente en forma de raíces de pastos. Se produce un humus de color negro, de estructura granular típica.

El proceso de calcificación consiste en la lixiviación incompleta del calcáreo generando un horizonte en profundidad con un contenido superior de CaCO_3 llamado horizonte cálcico. Para que este proceso ocurra, el CaCO_3 debe transformarse primero en bicarbonato soluble (HCO_3)₂ que se transporta hacia las capas inferiores del perfil. A su vez, para que se solubilice el calcáreo es necesaria una fuerte actividad biológica que genera ácidos orgánicos solubles y abundante CO_2 .

Esta primera fase se llama decarbonatación. En la segunda fase ocurre el transporte de la sustancia soluble que es dependiente de la cantidad de agua que percola a través del perfil y de la permeabilidad del suelo. La tercera y última fase consiste en la reprecipitación y acumulación del CaCO_3 que ocurre porque hay menos CO_2 al ser menor la actividad biológica y mayor la desecación gradual de los horizontes profundos. En ocasiones, la acumulación progresiva del calcáreo en profundidad puede generar con el tiempo horizontes petrocálcicos, también llamados toscas calcáreas, caliche o tosca. La calcificación ocurre principalmente en climas subhúmedos, semiáridos y áridos, con una fuerte Etp, pero en los cuales existe una cantidad suficiente de agua para disolver y transportar el CaCO_3 dentro del perfil. El régimen hídrico es subpercolativo, dentro del cual se encuentran los regímenes xérico y ústico.

El proceso de calcificación genera dos sectores en el perfil del suelo: uno eluvial, libre de CaCO_3 y con reacción química neutra o ligeramente ácida; y otro iluvial con presencia

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

dominante de CaCO_3 , con pH cercano a 8. El calcáreo puede manifestarse de varias maneras en el perfil: no individualizado en la masa del suelo (detectable por desprendimiento de burbujas de CO_2 por reacción al HCl); en forma de pseudomicelios, nódulos o concreciones o fuertemente cementado. La acumulación de CaCO_3 puede aparecer desde la base del horizonte A hasta el horizonte C y se simboliza con el sufijo k. Los suelos derivados del proceso de calcificación se distribuyen en varios órdenes del Soil Taxonomy, especialmente en los Aridisoles y algunos subórdenes de los Inceptisoles, Molisoles, Alfisoles y Vertisoles.

- **Decalcificación**

En condiciones de mayores precipitaciones (régimen údico y perúdic), con régimen de tipo percolativo, el CaCO_3 es eliminado completamente del perfil (proceso de remoción) y se produce la decalcificación. Los climas cálidos favorecen el proceso como consecuencia de que el incremento de la temperatura favorece la actividad biológica y por lo tanto una mayor producción de CO_2 , además de una mayor velocidad de lixiviado. Se eliminan los cationes alcalinos y alcalinos térreos (Na, K, Ca y Mg), y en el complejo adsorbente aparecen iones H^+ y también iones Al^{3+} . El proceso de decalcificación produce la acidificación del suelo. Este proceso puede ocurrir bajo vegetación de bosques caducifolios o también en relieves en los que la infiltración supera al escurrimiento superficial. Los suelos originados a partir de rocas ácidas, así como aquellos de permeabilidad rápida favorecen el proceso.

- **Empardecimiento**

Este proceso ocurre en las zonas de clima templado húmedo (régimen percolativo: údico y perúdic) donde domina el bosque de latifoliadas. La condición es que los materiales sean bien drenados, no calizos (o previamente decarbonatados). El proceso debe su nombre a la coloración parda ocasionada por la presencia de suficiente cantidad de óxidos de Fe y enriquecimiento in situ de arcillas (no iluviales).

La fase de empardecimiento sigue a la descarbonatación produciéndose después de la eliminación progresiva de todo el CaCO_3 , y también después del inicio de la decalcificación. Como resultado de este proceso se puede individualizar un horizonte Bw u horizonte cámbico de color pardo a pardo rojizo. La mayor parte de los suelos resultantes de este proceso corresponden al orden de los Inceptisoles.

- **Lessivage**

El lessivage (lixiviación) es un proceso de arrastre mecánico vertical de las partículas coloidales dispersas, es decir arcillas e hidróxidos de Fe ligados a ellas. No hay alteración química de las mismas, sino sólo transporte a través del perfil del suelo desde los horizontes superficiales (eluviales: empobrecidos y parcialmente decolorados) hacia los horizontes profundos (iluviales: enriquecidos y coloreados). Se genera, en ciertas circunstancias, en la capa superior un horizonte E, a veces álbico y en las inferiores un Bt u horizonte argílico.

El proceso necesita una cantidad suficiente de agua para que los coloides se dispersen y transporten, pero también se requiere que haya alternancia de períodos húmedos y secos. El proceso puede ocurrir en cualquier régimen de temperatura. Si el régimen de humedad es peródico, la falta de estación seca inhibe el proceso, mientras que, si es arídico, la falta de agua también lo inhibe. En este último caso, puede ocurrir que se observen perfiles de suelo con horizontes Bt en climas áridos (por ejemplo, algunos suelos de la Cuenca Tapia-Trancas en la provincia de Tucumán) que han evolucionado en un régimen climático diferente del actual, por lo que se trata paleosuelos.

El lessivage no ocurre si el material madre es rico en calcáreo, ya que el exceso de iones Ca impide la dispersión de los coloides. Los medios muy ácidos son igualmente desfavorables, debido a la acción floculante del catión Al trivalente. La profundidad en la que se genera el horizonte Bt depende del frente de humectación de las lluvias efectivas, lo que define el límite del descenso de los coloides. También influye la permeabilidad del suelo, así como el grado de desecación producida por las raíces de las plantas o la presencia de una capa rica en CaCO_3 o en Ca de cambio que provocan la floculación de la arcilla. El proceso está ligado a la humificación porque la migración hacia capas inferiores es en realidad de complejos órgano-minerales.

- **Podzolización**

Este proceso ocurre bajo la influencia de los humus ácidos que producen cantidades importantes de compuestos orgánicos solubles complejantes que migran en profundidad en los materiales arenosos. Estos complejos de humus con Fe y Al (quelatos) migran para formar en profundidad un horizonte espódico. El proceso de migración de quelatos se conoce como queluviación. El horizonte eluvial queda de color ceniciento (horizonte E o álbico) y es el que da el nombre al proceso, ya que podsol significa suelo ceniciento en

SUELOS CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

ruso. La podzolización requiere un clima frío, régimen hídrico údico y perúdic, material madre arenoso muy permeable y una vegetación acidófila de coníferas (a veces de bosque caducifolio).

Es considerado casi siempre un proceso zonal (suelo en equilibrio con clima y vegetación), aunque en ocasiones puede considerarse intrazonal (localizado) en los climas no continentales u oceánicos. Se produce una fuerte adición de materia orgánica que se acumula por la lenta descomposición que ocurre en los climas fríos y además porque el residuo de las coníferas es resinoso y ácido generando un medio de poca actividad biológica. Ello da origen a un horizonte orgánico (O) que puede tener varios centímetros de espesor. Los quelatos formados entre el humus y los hidróxidos de Fe y Al son solubles y migran con el agua fácilmente debido a la permeabilidad del perfil.

Estos complejos quelatados se inmovilizan en profundidad cuando cesa el aporte de agua desde superficie. Después ocurre la separación de los constituyentes, y se visualiza el anión orgánico complejante de color oscuro y el metal complejado de color herrumbre, esto da origen a horizontes Bh de color negro, Bs de color herrumbroso o Bhs de color pardo herrumbroso. En la taxonomía de suelos del USDA, se ubican dentro del Orden de los Espodosoles.

3.5.2. Procesos ligados fundamentalmente a la alteración química

Los procesos de deterioro de tipo químico implican un cambio en la composición química global y/o mineralógica de la roca original, suponen la interacción de una solución acuosa o gases con el material rocoso, generando una solución de composición diferente de la inicial y un residuo de sólidos insolubles (fases minerales secundarias, formadas en el proceso de alteración). El medio de alteración transporta parte de los productos fuera del sistema rocoso, cambiando la composición original del mismo.

La composición química y la estructura de cristalización son propiedades que determinan la estabilidad de los minerales. Los sulfatos, cloruros y carbonatos son minerales inestables por su alta solubilidad (Fadda, 2017b).

Además, es importante mencionar que los procesos de alteración química están controlados por variables físico – químicos, entre los que están:

- Presencia de agua
- Potencial iónico
- Concentración de iones hidrógeno (pH)
- Potencial de oxidación – reducción





CAPÍTULO IV: EL AGUA EN EL SUELO

4.1. FUERZAS DE RETENCIÓN DEL AGUA EN EL SUELO

El agua en el suelo está regulada por su energía y expresada en unidades de potencial, este potencial se refiere al trabajo realizado para transferir reversible e isotérmicamente una unidad de agua pura (volumen, masa, peso) desde el estado de referencia (e.d.r.) hasta el suelo en el punto considerado (Pachés, 2021). Su signo es Ψ , p.e. $\Psi_{e.d.r.} = 0$.

Características:

- Libre, sin interacción con superficies sólidas
- Pura, sin solutos disueltos
- Sometida a presión atmosférica
- Situada a una cota determinada
- A la misma temperatura que el agua del suelo

$$\Psi_t = \Psi_m + \Psi_o + \Psi_g + \Psi_p$$

Dónde:

Ψ_t = potencial total

Ψ_m = Potencial matricial

Ψ_g = Potencial gravitacional

Ψ_o = Potencial osmótico

Ψ_p = Potencial de presión

Ecuación 1. Potencial total del agua

El agua en el suelo está sujeta a diversas fuerzas que hacen que su potencial difiera de aquel del agua libre. Estas fuerzas son de retención por la matriz sólida del suelo, por las sales disueltas que contenga el agua y gravitacionales. De modo que el potencial hídrico total en el suelo (Ψ_t) es la suma de diversos componentes debido a las fuerzas que actúan sobre el agua (Pachés, 2021).

Las unidades de potencial hídrico pueden ser expresada en base a: J/kg - cbar, MPa - cm, m

1.1.1. Movimientos descendentes del agua

La permeabilidad hace referencia a la velocidad de infiltración del agua de gravitación, expresada en centímetros por segundo (Llorente, 2002). Coeficiente k

$$Q = K \frac{H + H''}{H} S$$

Es importante indicar que la Ley de Darcy funciona adecuadamente para poros saturados.

a) Resultados: La permeabilidad depende de la estructura y la granulometría, que condicionan la porosidad no capilar. El coeficiente k de limos es superior al de las arenas en el caso de poros no saturados.

b) Consecuencias que afectan a la infiltración de lluvias: Esta infiltración depende de la permeabilidad. El perfil hídrico después de una precipitación permite definir un frente de humectación, el cual, es más profundo en un suelo con textura gruesa.

1.1.2. Movimientos capilares ascendentes

Durante los periodos cálidos y secos, el agua del suelo baja, aunque siempre el suelo conserva una cantidad de agua denominada "agua higroscópica". La desecación del suelo es más rápida en superficie que en profundidad, por lo que el potencial capilar (pF) aumenta, mientras que en profundidad es bajo, tendiendo a formar una corriente de agua capilar, generando un movimiento ascendente del agua, ya sea en sentido vertical o lateral.

Para Llorente (2002), este movimiento se puede dar en base a los siguientes aspectos:

- **Medio drenado:** El ascenso capilar es muy lento y no compensa la desecación, solo la ralentiza.
- **Presencia de una capa de agua libre.** El ascenso capilar es más importante y eficaz que en el caso de un suelo drenado, ya que se trata de agua capilar sostenida y no retenida. Es así que, la eficacia depende de dos factores: la altura de ascenso por encima de la capa de agua libre y el caudal, es decir, la velocidad de sustitución del agua absorbida por las raíces. Sin embargo, estos factores dependen de la granulometría.

4.2. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL AGUA

4.2.1. El intercambio iónico

El intercambio iónico se considera como uno de los procesos reversibles mediante el cual las partículas sólidas del suelo adsorben iones de la fase acuosa, liberando al mismo tiempo otros iones en cantidades equivalentes, estableciéndose de esta manera el equilibrio entre ambas fases.

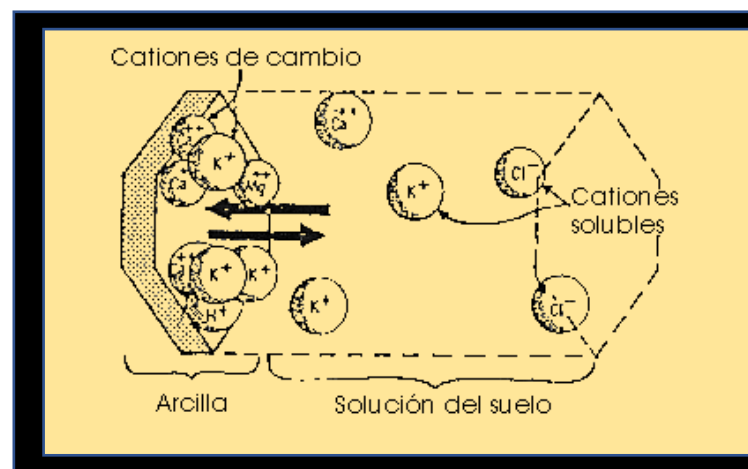


Figura 26. Cambio iónico

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

Es un proceso dinámico que se desarrolla en la superficie de las partículas. Como los iones adsorbidos quedan en posición asimilable constituyen la reserva de nutrientes para las plantas.

Según el tipo de iones que se intercambian se puede dar el cambio de cationes y de aniones:

Cambio de cationes: Suelo-M + X^{+} -----> Suelo-X + M^{+}

Cambio de aniones: Suelo-N + Y^{-} -----> Suelo-Y + N^{-}

Las causas que originan el intercambio iónico son los desequilibrios eléctricos de las partículas del suelo. Para neutralizar las cargas se adsorben iones de la disolución, que se pegan a la superficie de las partículas. Quedan débilmente retenidos sobre las partículas del suelo y se pueden intercambiar con la solución del suelo.

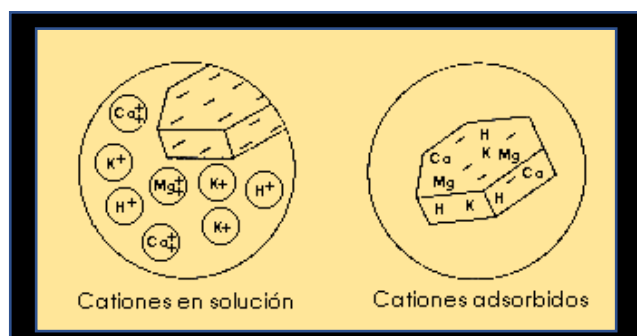


Figura 27. Causas intercambio iónico

4.2.2. Acidez del suelo - pH

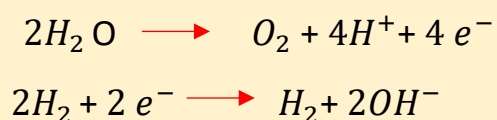
La acidez de una solución está determinada por la actividad de los iones de hidrógeno (H), haciendo uso de estos principios químicos, la acidez en el suelo se determina midiendo la actividad del H en la solución del suelo y se expresa con un parámetro denominado potencial hidrógeno (pH) (Molina, 1999).

Los ácidos se disocian poco y en las soluciones acuosas se presentan concentraciones muy bajas de iones H, tan bajas que es difícil presentarlas numéricamente en términos de molaridad, por lo que se define el pH en forma logarítmica (Molina, 1999). El pH se define como el inverso del logaritmo de la actividad de iones H de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$pH = \log \frac{1}{(H)}$$

4.2.3. El Potencial de óxido reducción

El potencial redox es una forma de medir la energía química de oxidación – reducción mediante un electrodo, convirtiéndola en energía eléctrica. El potencial redox es positivo cuando se produce una oxidación y negativo cuando se produce una reducción. Normalmente, las reacciones redox vienen acompañadas de cambios de pH en el medio. Por ejemplo, esto ocurre en los procesos de oxidación y reducción del agua:



La oxidación del agua se acidifica el medio (se producen iones H^+), mientras que su reducción lo basicifica (se genera iones OH^-). Al proceso complementario de oxidación - reducción se le conoce como redox y el valor ORP es la medida de la actividad del electrón comparado con la actividad de un electrodo de referencia, que mantiene siempre el potencial constante.

- **Reducción:** es la ganancia de electrones por parte de un átomo, molécula, grupo de átomos o grupo de moléculas.
- **Oxidación:** es la pérdida de electrones por parte de un átomo, molécula, grupo de átomos o grupo de moléculas.

Entonces: “El que se reduce es que reduce” “El que se oxida es el que se incrementa”





CAPÍTULO V: ORGANISMOS Y MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

5.1. MATERIA ORGÁNICA

La materia orgánica está conformada por compuestos tales como los carbohidratos, ligninas y proteínas, es descompuesta por los microorganismos dando paso al dióxido de carbono o al humus cuando hay presencia de residuos más resistentes.

La materia orgánica y el humus son beneficiosos para el suelo por las siguientes características:

- Almacenan muchos nutrientes del suelo.
- Mejoran su estructura.
- Suelten suelos de arcilla.
- Previenen la erosión.
- Mejoran la capacidad de retención de nutrientes y agua de suelos arenosos o toscos.

La cantidad de materia orgánica del suelo depende de la vegetación, el clima, la textura del suelo, el drenaje y de su laboreo.

5.1.1. Compuestos húmicos

La materia orgánica integra compuestos conocidos como humus o sustancias húmicas (SH), que son moléculas ricas en carbón y con una fuerte tendencia a agregarse; lo que significa que pueden unirse a casi todo y son demasiado reactivas. El humus influye en las propiedades químicas, físicas y en la fertilidad del suelo, está compuesto por nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y micronutrientes; constituyéndose del 85% al 90% del total de un suelo. Las sustancias húmicas están formadas por:

Ácidos húmicos (AHs): son polímeros naturales altamente reactivos y provienen de varias fuentes como: suelo, carbón, turba y leonardita, representan la mayor parte extraíble de las SH, tienen una coloración entre marrón oscuro y negro;. Es la fracción de las SH que no es soluble en soluciones acuosas ácidas ($\text{pH} < 2$) pero sí es soluble a valores mayores de pH.

Ácidos Fúlvicos: fracción de las SH que es soluble en soluciones acuosas a cualquier valor de pH. Se las separa de los AH por acidificación, y los AF permanecen en solución. Son de color amarillo-amarronado.

Huminas: fracción de SH insoluble en agua a cualquier valor de pH. Son de color negro.

Figura 28. Sustancias húmicas

Los ácidos húmicos se producen cuando en el proceso de humificación, la materia orgánica se oxida bajo la presencia de concentraciones adecuadas de calcio, potasio, fósforo y micronutrientes; es así que, cuando existe materia orgánica en descomposición se pueden extraer ácidos húmicos. Las plantas necesitan una cantidad adecuada de ácidos húmicos, pero su uso excesivo es perjudicial planta o cultivo requiere una cantidad óptima de ácidos húmicos.

Los ácidos fúlvicos se producen en la descomposición de la materia orgánica, se encuentran presentes en la mayoría de los suelos, incrementando la capacidad de intercambio catiónico, facilita con ello la absorción de los nutrientes por las plantas; además, ayudan a la formación de agregados, aumenta la capacidad de retención de agua, incrementan la velocidad de germinación de las semillas y estimulan la proliferación de la microflora del suelo.

5.1.2. Tipos de humus

Ibáñez (2006) propone los siguientes tipos de humus:

5.1.2.1. Humus bruto o Mor

Se trata de materia orgánica pobremente humificada, abundante en restos de tejidos vegetales irreconocibles (humina heredada) y ácidos fúlvicos (poco polimerizados) fácilmente lixiviables y poco aptos para la formación de agregados estables, donde la actividad biológica suele ser muy escasa. Cuando el ambiente no es muy árido, el humus puede descomponerse mal si procede de restos vegetales de ciertas plantas, por lo que el horizonte órgano - mineral puede adquirir gran potencia y colores negruzcos, estando cubierto por abundantes restos sin descomponer.

Dicho de otro modo, la estructura de los complejos órgano - minerales es bastante pobre. Tal estructura tiende a ser laminar y no grumosa, como en los suelos con mejores tipos de humus. Abundan los micelios blanquecinos de hongos. En cambio la actividad bacteriana, fundamental para conseguir una buena humificación, es escasa. Suele abundar en los medios ácidos (oligotrofos: pobres en nutrientes, bases), bajo ambientes húmedos y fríos y cuya vegetación, debido a su composición resulta difícil de descomponer (coníferas, ericáceas, etc.). La relación C/N es elevada, superando frecuentemente a veces el valor de 25. Sin embargo también puede aparecer en ocasiones bajo ambientes más áridos.

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

El mor se distingue por una acumulación orgánica superficial, restos vegetales poco desmenuzados en medios ácidos; el mull contiene material completamente humificado, homogeneizado y mezclado con el material inorgánico; en el moder, el material orgánico se halla yuxtapuesto al inorgánico.

5.1.2.2. Humus Moder

A diferencia del tipo Mor, este es irreconocible. Su incorporación a la formación de los agregados del suelo es más fácil que en el caso de los humus Mor, pero peor que en el Mull. Tales complejos arcillo-húmicos son de escaso tamaño y no muy estables. Sus ácidos fúlvicos poseen también una menor tendencia a ser lixiviados. Suelen presentarse en suelos ácidos, con un pH que oscila entre 4-5 y 5, con contenidos en bases pobres o medios (medio mesotrófico), bajo climas variados pero con predominancia los fríos y secos. La relación C/N fluctúa entre 16-25, se dice mayor que en los Mor y peor que en los Mull. Sin embargo bajo la una cobertura vegetal cuya composición no favorece la humificación, también aparece en ambientes mediterráneos y suelos ricos en bases, frecuentemente carbonatados.

5.1.2.3. Humus Mull

La materia orgánica se humifica bien, dando lugar a agregados estables que mejoran las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos. Los restos vegetales son infrecuentes. La actividad biológica es intensa. La vegetación sobre la que aparecen posee propiedades favorables para ser descompuesta rápidamente abundando las bacterias y, en medios eútricos o eutrofos (ricos en bases), abundan las lombrices: cuyos coprolitos lo forman agregados de formidables propiedades con vistas a retener nutrientes. De aquí la importancia de la vermicultura en agricultura. La relación C/N es siempre baja, generalmente menor de 12.

5.1.3. Influencia de las condiciones ambientales en el suelo

5.1.3.1. Efectos de la temperatura

La temperatura afecta la tasa de desarrollo de la planta, es así que todos los procesos fisiológicos de la planta ocurren más rápido cuando la temperatura aumenta entre una temperatura base y una temperatura óptima.

Un manejo adecuado del cultivo puede contrarrestar mejor los efectos negativos de las altas temperaturas que los de las bajas temperaturas, especialmente de las heladas.

Temperaturas bajas

A medida que desciende la temperatura el desarrollo de la planta es más lento; es así que, si la temperatura es lo suficientemente baja como para llegar a helar, puede generar un daño severo en los tejidos jóvenes.

Temperaturas altas

Cuando se dan temperaturas altas, el cultivo necesita más nutrientes, agua y radiación solar, para mantener su nivel de metabolismo. El daño causado por las temperaturas altas está asociado con el estrés hídrico por lo que el manejo del agua pasa a ser una operación crítica.

En la medida en que las plantas puedan transpirar libremente también podrán hacer frente a las altas temperaturas. Sin embargo, para evitar pérdidas importantes de rendimiento, se puede compensar el efecto de las altas temperaturas con un óptimo suministro de agua y de nutrientes.

5.1.3.2. Efectos de la radiación solar

El crecimiento del cultivo está determinado por la cantidad de radiación solar que puede interceptar y usar durante su vida. Un exceso de radiación raramente es un problema, siempre que estén disponibles agua y nutrientes.

Para obtener rendimientos altos las hojas deberán crecer y cubrir la superficie del suelo tan pronto como sea posible después de la siembra. Si este proceso se demora, la radiación solar se pierde en forma de calor incorporado al suelo desnudo, evaporando la humedad del suelo.

5.1.3.3. Efectos de la acidez o alcalinidad

La acidez o la alcalinidad se miden en unidades de pH con una escala de 1 a 14. El pH=7 es neutro. La acidez aumenta con los valores de 7 a 4 y la alcalinidad de 7 a 10. El principal

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

efecto de un pH muy alto o muy bajo es que algunos nutrientes pueden estar disponibles en forma excesiva y ser tóxicos mientras que la disponibilidad de otros puede disminuir y aparecer como deficiencias del cultivo.

En los suelos ácidos, el aluminio y el manganeso pueden volverse muy solubles y tóxicos y, además, reducir la capacidad de la planta para absorber fósforo, calcio, magnesio y molibdeno. Especialmente en los suelos ácidos, el fósforo no está disponible para las plantas. Si el boro, el cobre y el zinc están presentes en el suelo, pueden presentar toxicidad a bajos pH. En suelos medianamente alcalinos es posible encontrar deficiencia de boro, cobre y zinc y puede no estar disponible el fósforo. El pH del suelo tiene relativamente poco efecto sobre el nitrógeno.

5.1.3.4. Efectos de la salinidad

Todos los suelos contienen sales; sin embargo, pueden llegar a ser un problema cuando se concentran en la zona radical del cultivo, ya que llegan a destruir la estructura del suelo y favorecen la formación de costras superficiales. Es así que, cuando las plantas crecen en suelos salinos, su crecimiento se reduce y las hojas y los tallos no se expanden; además que con la acumulación salina la planta muere.

Cuanto mayor es el nivel de salinidad más rápidamente se evidencian sus efectos y decrecen los rendimientos. La clave para controlar la salinidad en los suelos es mantener o lixiviar las sales por debajo de la zona radical.

5.1.3.5. Influencia de la calidad de los despojos originales

Los organismos del suelo (biota), incluyendo los microorganismos, usan los residuos de las plantas y los animales y los derivados de la materia orgánica como alimentos. A medida que descomponen los residuos y la materia orgánica, los nutrientes en exceso (nitrógeno, fósforo y azufre) son liberados dentro del suelo en formas que pueden ser usadas por las plantas (disponibilidad de nutrientes). Los productos de deshecho producidos por los microorganismos contribuyen a la formación de la materia orgánica del suelo. Los materiales de desecho son más difíciles de descomponer que el material original de las plantas y los animales, pero pueden ser usados por un gran número de organismos. Mediante la descomposición de los residuos y el almacenamiento del carbono dentro de su propia biomasa o mediante la reconstrucción de nuevas estructuras de carbono, la biota del suelo tiene una función muy importante en los procesos de reciclaje de nutrientes y, por

lo tanto, en la capacidad de un suelo para proveer al cultivo con suficientes nutrientes para cosechar un buen producto.

Los materiales orgánicos (residuos de plantas) encima y en la superficie del suelo pueden proporcionar el amortiguamiento físico contra el impacto de las gotas de lluvia y la insolación directa. La descomposición de las raíces muertas provee canales descendentes a través de los cuales el agua puede rápidamente alcanzar los niveles más bajos de la zona radical.

Los mesoorganismos tales como las lombrices de tierra y las termitas (macrofauna) crean túneles y canales con el mismo resultado. Si el suelo ha sido tan mal manejado que la formación de tales macroporos es entorpecida y paralizada, el ciclo del agua dentro del ecosistema del suelo disminuye en su efectividad.

En los sistemas de agricultura convencional, si no hay suficiente tiempo y recursos para la restauración biológica completa que permitan superar los daños causados por la labranza y el pisoteo del ganado, la fertilidad del suelo declinará y, por ende, su productividad, evaluada por los rendimientos de las plantas. La restauración de la porosidad del suelo por medios mecánicos es menos satisfactoria que por medios biológicos.

5.2. ORGANISMOS EN EL SUELO

5.2.1. Macrofauna edáfica

La macrofauna edáfica integra a los microorganismos con un tamaño superior a los 2 mm encargados de la descomposición de la materia orgánica. Además, ayuda a regular los procesos edáficos y puede ser clasificada en grupos funcionales según la actividad que desempeñan: detritívoros o descomponedores, herbívoros y depredadores.

Es importante mencionar que, los macroinvertebrados son considerados indicadores de la calidad del suelo debido a que su diversidad, abundancia y funciones están ligados al estrés y a cambios ambientales en las condiciones del suelo, asociados a las distintas prácticas de cultivo (Almada et al., 2019).

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

Entre algunos de los beneficios de la macrofauna edáfica se pueden mencionar los siguientes:

- Ventilan el suelo y mejora sus propiedades.
- Interactúa entre los componentes biológicos, químicos y físicos de los microorganismos.
- Mezcla materia orgánica con la tierra.

La macrofauna se clasifica en:

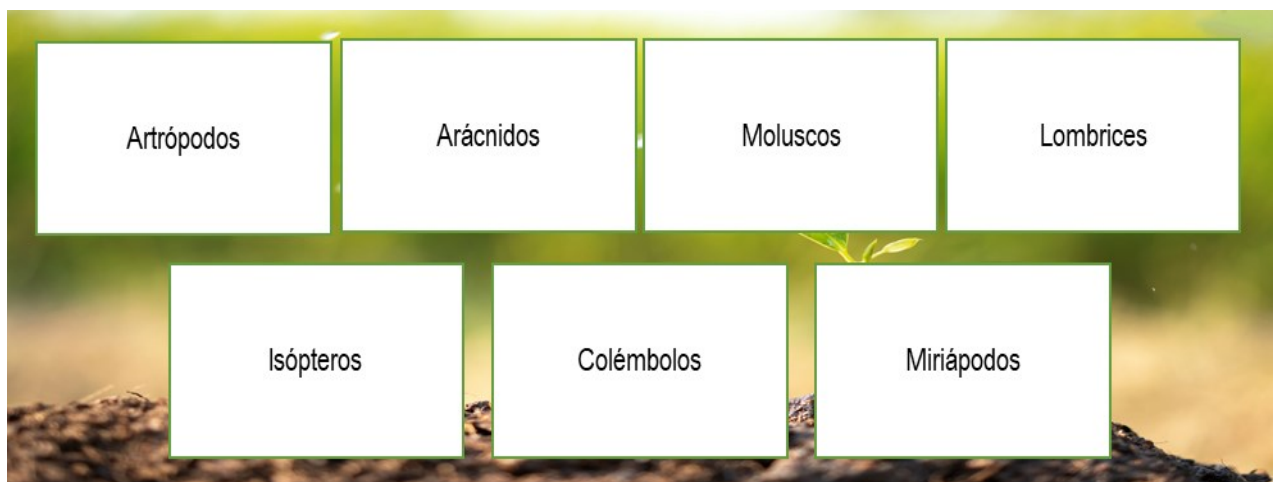


Figura 29. Clasificación de la macrofauna edáfica

5.2.2. Microfauna edáfica

La microfauna edáfica está constituida por microorganismos con un tamaño menor a 1 mm.

La microfauna se clasifica en:

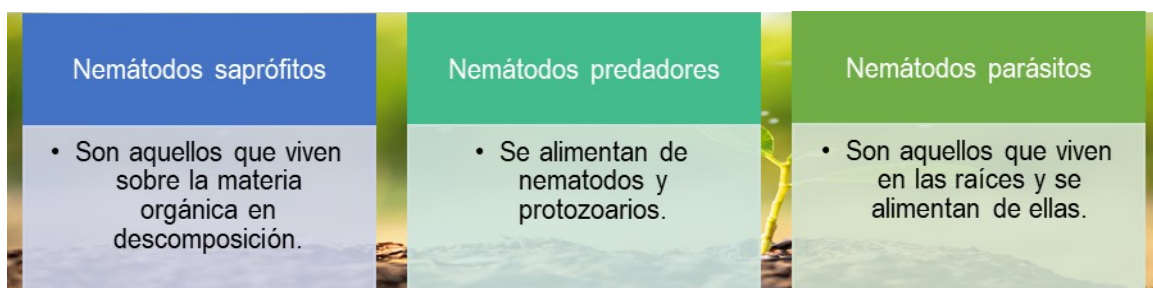


Figura 30. Clasificación de la microfauna edáfica

5.2.3. Macroflora edáfica

La macroflora edáfica está constituida por las raíces de las plantas superiores, árboles, pastos y herbáceas, mismas que contribuyen a la estabilidad de los agregados del suelo, intervienen en su formación, evitan la erosión, ayudan a regular la radiación solar y la humedad existente en el suelo, favorece a la formación al desarrollo de la microflora y retira nutrientes para incorporarlos a la biomasa, produciendo el alimento de los microorganismos que integran la flora y fauna, por medio de la formación de humus a distintas profundidades.

5.2.4. Microflora edáfica

La microflora edáfica pertenece al grupo de los organismos más pequeños ($<0,1$ mm de diámetro); por lo que para observarlos se requiere de un microscopio. Este grupo integra a las algas, bacterias, arqueas, cianobacterias, hongos, levaduras, mixomicetos y actinomicetos.





CAPÍTULO VI: FERTILIZANTES

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

6.1. FERTILIZANTES QUÍMICOS (F.Q.)

El material natural o industrializado, que contenga al menos 5% de uno o más de los tres nutrientes primarios (N, P_2O_5 , K_2O), puede ser llamado fertilizante. Los fertilizantes químicos son preparados sobre la base de materias primas importadas y su procesamiento es altamente dependiente de energía.

6.1.1. Clasificación

En cuanto al origen

La materia prima para la producción de fertilizantes químicos proviene principalmente de yacimientos mineros. Su extracción no afecta directamente las áreas de producción agrícola; sin embargo, estas fuentes no son renovables.

En cuanto a la concentración de nutrientes y humedad

Una de las fortalezas de los fertilizantes químicos es la elevada concentración de nutrientes y la baja humedad, generando una reducción de los costos de transporte, aplicación y manejo.

En cuanto a los aspectos de contenido, formulación y riesgos de contaminación

En la mayoría de los países, los fertilizantes químicos no atienden a las necesidades específicas del terreno, lo que genera que se produzca un desperdicio o deficiencia de ciertos nutrientes, produciéndose desequilibrio en la fertilidad del suelo. Asimismo, los nutrientes que se acumulan excesivamente en el suelo, representan una contaminación.

Por otro lado, los contenidos de nutrientes en los fertilizantes químicos se pueden manejar más racionalmente ya sea industrialmente o en mezclas, y así tener concentraciones adecuadas de nutrientes que respondan a necesidades específicas.

En cuanto a su eficiencia como abono y mejorador del suelo

Los fertilizantes químicos en general son solubles, siendo una ventaja por estar disponibles para las plantas. Sin embargo, cuando hay exceso de agua, gran cantidad de estos nutrientes se pueden desaprovechar ya sea por su erosión o lixiviación, contaminando a la vez las aguas superficiales y subterráneas. Además, si los fertilizantes químicos se usan de manera inadecuada, pueden constituirse en contaminadores del suelo y del agua.

En cuanto a las facilidades de manejo y costos

Por la concentración de nutrientes, por la baja humedad y por la formulación granulada o en polvo, los fertilizantes químicos pueden ser más fácilmente adoptados para su aplicación mecánica, principalmente en zonas de ladera, con la utilización de pequeños equipos manuales. Es así que, los costos de transporte y mano de obra para el manejo y aplicación de los fertilizantes sean relativamente más bajos en relación con otros productos de concentraciones más bajas, y con niveles de humedad más altas.

6.1.2. Producción de fertilizantes

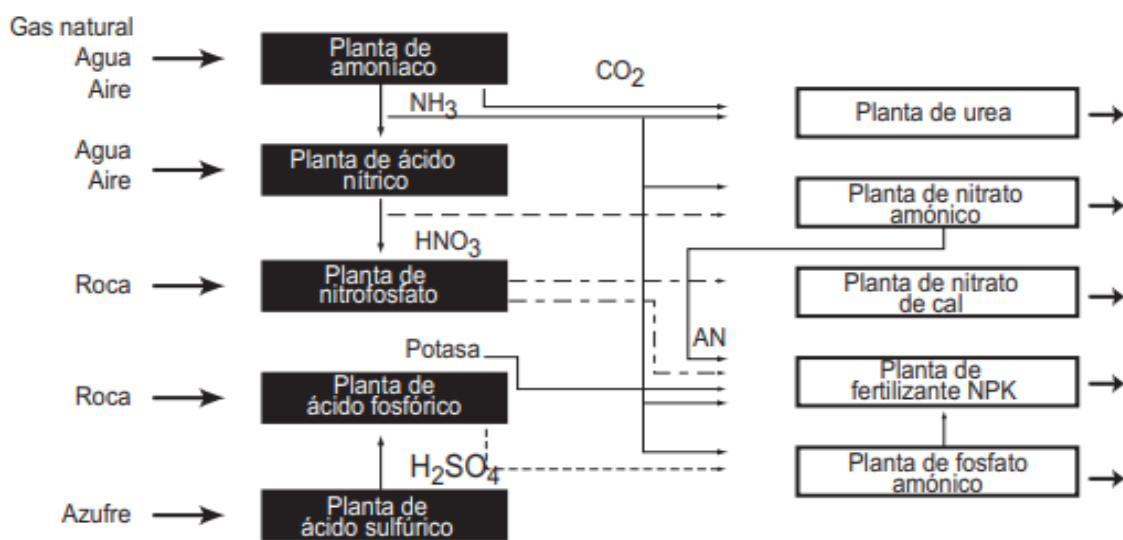


Figura 31. Diagrama de flujo de producción de fertilizantes

El amoníaco es sintetizado de los hidrocarburos, del nitrógeno atmosférico y del vapor. El dióxido de carbono resultante de su conversión puede combinarse con el amoníaco para formar la urea. El ácido nítrico es hecho por oxidación del amoníaco con el aire. El ácido sulfúrico es producido por la quema del azufre en el aire. La reacción con la roca produce ácido fosfórico. Las sales de potasio de los depósitos naturales son la fuente de K (FAO, 2002).

La presentación de los fertilizantes minerales es muy variada. Dependiendo del proceso de fabricación, las partículas de los fertilizantes minerales pueden ser de muy diferentes tamaños y formas: gránulos, píldoras, perlados, cristales, polvo de grano grueso, compactado o fino. La mayoría de los fertilizantes es provista en forma sólida (FAO, 2002).

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

6.1.3. Grados de los fertilizantes

Los fertilizantes que contienen sólo un nutriente primario son denominados fertilizantes simples. Los que contiene dos o tres nutrientes primarios son llamados fertilizantes multinutrientes, algunas veces también fertilizantes binarios (dos nutrientes) o ternarios (tres nutrientes).

Fertilizantes simples

Algunos de los fertilizantes simples más utilizados (así como regionalmente importantes) son los siguientes:

Urea con 46% de N: es la mayor fuente de nitrógeno en el mundo debido a su alta concentración y a su precio normalmente atractivo por unidad de N. Sin embargo, su aplicación requiere de buenas prácticas agrícolas para evitar, las pérdidas por evaporación de amoníaco en el aire.

Sulfato amónico: con el 21% de N (en forma de amoníaco), no es tan concentrado como la urea. Sin embargo, contiene, además del N, el 23% de azufre. Se usa preferentemente en cultivos irrigados y donde el azufre debe ser aplicado. Lo mismo es para el nitrosulfato amónico con el 26% de N (alrededor de 2/3 como amoníaco y 1/3 como nitrato) y del 13% al 15% de azufre.

Nitrato amónico cálcico: por encima del 27% de N (partes iguales de N como amoníaco y como nitrato), es un fertilizante preferido para los cultivos en las regiones semiáridas de los subtrópicos.

Superfosfato simple, con el 16 al 20% de P_2O_5 , contiene adicionalmente 12% de azufre y más del 20% de calcio (CaO).

Superfosfato triple: con una concentración del 46% de P_2O_5 , no contiene azufre ni calcio. Ambos tipos de fertilizantes fosfatados contienen el fosfato soluble en agua, en una forma disponible para las plantas. Una cantidad sustancial de fosfato es aplicada en forma de fertilizantes NP (nitrofosfato, fosfato monoamónico (MAP) y fosfato diamónico (DAP)) y de fertilizantes NPK.

Cloruro potásico: con hasta 60% de K_2O , es el fertilizante usado en la mayoría de los cultivos. En cultivos sensibles al cloro o en los cuales el azufre se necesita, se usa el sulfato potásico con el 50% de K_2O y 18% de azufre. Sin embargo, como con los fertilizantes fosfatados, una gran parte de K_2O es aplicada en la forma de fertilizantes NPK y PK.

Tabla 44.

Algunos fertilizantes importantes

Nombres comunes	Fórmulas	Grado o análisis en porcentaje				
		N	P ₂ O ₅	k ₂ O	Mg	S
Fertilizantes nitrogenados						
Sulfato amónico	(NH ₄) ₂ SO ₄	21	0	0	-	23
Nitrato amónico	NH ₄ NO ₃	33-34,5	0	0	-	-
Nitrato amónico – cal (nitrato amónico cálcico)	NH ₄ NO ₃ + CaCO ₃	20,5-26	0	0	-	-
Urea	CO(NH ₂) ₂	45-46	0	0	-	-
Nitrosulfato amónico	NH ₄ NO ₃ * (NH ₄) ₂ SO ₄	26	0	0	-	15
Fertilizantes fosfatados						
Superfosfato simple	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ + CaSO ₄	0	16-20	0	-	12
Superfosfato triple o concentrado	Ca(H ₂ PO ₄) ₂	0	46	0	-	-
Fosfato de roca molido (fosfato mineral)		0	20-40	0	-	-
Fertilizantes potásicos						
Muriato o cloruro potásico	KCl	0	0	60	-	12
Sulfato potásico	K ₂ SO ₄	0	0	50	-	18
Sulfato potásico - magnésico	K ₂ SO ₄ * 2MgSO ₄	0	0	26-30	5-7	16-22
Fertilizantes de magnesio						
Kieserita	MgSO ₄ * 7H ₂ O	-	-	-	16	22
Kieserita calcinada	MgSO ₄ * H ₂ O	-	-	-	20	27
Fertilizantes azufratados						
Todos los fertilizantes conteniendo S como anión		-	-	-	-	Según fórmula
Yeso	CaSO ₄ * 2H ₂ O					16-18
Algunos fertilizantes de importancia regional						
Nitrato sódico	NaNO ₃	16	0	0	-	-
Fosfato di-cálcico	Ca (HPO ₄)	0	35-42	0	-	-
Escoria Thomas		0	16-20	0	1-3	-

6.2. FERTILIZANTES ORGÁNICOS (F.O)

Este tipo de abonos han sido utilizados con la finalidad de generar un aumento en la fertilidad de suelos, así como también mejorar las diferentes características logrando un desarrollo de cultivos adecuado. Actualmente la importancia del uso de estos abonos ha aumentado ya que se ha demostrado su efectividad a través del incremento del rendimiento, calidad de cultivos y los productos provenientes de los mismos

Se ha logrado comprobar la importancia de la materia orgánica como componente del suelo para el desarrollo de cultivos. Lamentablemente los suelos van perdiendo gradualmente este contenido de materia orgánica lo cual se ve evidenciado en la disminución del rendimiento en los cultivos. Cuando a los suelos afectados por la ausencia gradual de materia orgánica se les incrementa materia orgánica de cualquiera sea su tipo, estos suelos evidencian una mejora asombrosa logrando así aumentar hasta 10 veces su rendimiento. Cuando se trata de materia orgánica que proviene de estiércoles de animales ésta contiene una gran cantidad de nutrientes que son esenciales para las plantas.

Si hablamos de abonos extraordinarios deberíamos mencionar al estiércol de animales ya que tienen un gran aporte de nutrientes, cabe recalcar que para mantener la calidad de sus nutrientes es necesario un adecuado almacenamiento en especial el almacenamiento de nitrógeno ya que puede ser eliminado mediante lixiviación o volatilización. Para conseguir un buen abono en las explotaciones ganaderas esta producción debe ser cuidadosa y con adecuadas condiciones ya que si no se lleva el debido proceso a través de anaerobiosis se puede llegar a producir metano, así como otros gases que son contaminantes y causan mal olor conllevando una proliferación de patógenos. Los abonos que son bien producidos pueden tener los siguientes beneficios para los cultivos como:

- 1) Los organismos heterótrofos toman de los abonos orgánicos como fuente de carbono orgánico
- 2) Ayudan a mejorar la capacidad de producción del suelo, así como su fertilidad.
- 3) Posee intercambios catiónicos en mayor cantidad que las arcillas.
- 4) Reducen el escurrimiento superficial a partir de un incremento en la infiltración de agua
- 5) Favorece a la estabilidad de agregados del suelo.
- 6) Solubiliza nutrimentos a partir de otras fuentes a partir de la formación de ácido carbónico.
- 7) Forman complejos orgánicos para darles mayor disponibilidad de nutrientes a los cultivos.

- 8) Liberan nutrimentos de una manera progresiva y esto permite el adecuado suministro de nutrientes para las plantas, además mejoran la estructura del suelo
- 9) Aporta de elementos que son esenciales para los cultivos. A diferencia de los fertilizantes de origen inorgánicos tienen mayor residualidad.

Existen algunos tipos de abonos orgánicos como:

Los estiércoles, compost y residuos orgánicos son considerados abonos orgánicos. Los estiércoles pueden provenir de ganado bovino, de residuos de plantas como paja de maíz y de otros organismos como lombricompost. Existe una gran diversidad de abonos orgánicos que son empleados en la agricultura con la finalidad de mejorar los suelos

En cuanto al contenido nutrimental de los diferentes abonos orgánicos es muy variable debido a que está sujeto a algunos factores, un ejemplo de esto es el estiércol de bovino el cual obedece a la especie que ha producido ese estiércol, la edad, su digestión, tipo de alimentación y el tratamiento al que ha sido sometido el estiércol una vez recolectado, su maduración hasta su almacenamiento.

El contenido nutrimental de cierto cultivo depende del rendimiento que ha alcanzado el cultivo, la nutrición que ha recibido, incorporación, entre otros

Tabla 45.

Contenido nutrimental de la gallinaza comparado con el estiércol

Nutrientes	Gallinaza	Estiércol
	Kg/ton	
Materia Orgánica	700	510
Sales solubles	56	50
Magnesio	8.3	7.1
Sodio	5.6	5.1
Calcio	61.2	36.8
Fosforo	30.8	14.6
Nitrógeno	34.7	14.2
Potasio	20.9	34.1

Este cuadro comparativo muestra la superioridad que posee la gallinaza en sus valores de nitrógeno, calcio y también materia orgánica a diferencia del estiércol bovino.

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA



Figura 32. Abonos orgánicos

Por otra parte, si hablamos de compostas éstas son abonos orgánicos los cuales pasan por diferentes procesos como la maduración antes de ser aplicados. Este proceso de compostaje ayuda a dar estabilidad en cuanto a materia orgánica, lastimosamente se pierde altas cantidades de nitrógeno.

Tabla 46.

Contenido nutricional de la composta donde puede observar escaso aporte de nitrógeno

Determinación	Rango	Medida %	Kg por 10 t/ha composta
Nitrógeno disponible	0.5-1.2	0.9	9
Fosforo	0.2-2.1	0.7	70
C.E	3-9	6.1	-
Potasio	0.7-1.7	1	100
Magnesio	0.3-1.0	0.6	60
Calcio	1.2-4.8	2.7	270
Hierro, ppm	30-6000	1900	19
Magnesio, ppm	165-490	340	3.4
Cobre, ppm	20-70	45	0.5
Boro, ppm	14-38	26	0.26
Zinc, ppm	108-300	180	1.8
M.O %	5-65	30	6.540

Dado que los agricultores se pueden enfrentar a costos altos se han demostrado que algunas alternativas pueden funcionar muy bien para la fertilidad como por ejemplo la incorporación de residuos de cultivos, a decir de algunos expertos en el campo de la agricultura, ésta es una excelente manera de incrementar materia orgánica al suelo.

Existen restos de cultivos comúnmente utilizados entre los cuales tenemos:

Tabla 47.*Contenido nutrimental de los residuos orgánicos(macronutrientes)*

Insumo	N(%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	Na (%)	Ca (%)	Mg (%)
Jitomate	3.5	7.6	1.7	0.361	2.45	0.65
Pimiento	3.5	5.6	1.1	0.07	3.18	0.3
Maíz	0.5	1.8	0.3	0.019	0.4	0.23
Brócoli	3.5	3.4	1.1	1.37	3.03	0.43

Un ejemplo claro de la incorporación de residuos de otros cultivos tenemos la paja de maíz el cual presenta el siguiente aporte nutrimental

*Figura 33. Aporte nutrimental del rastrojo de maíz***Tabla 48.***Algunos fertilizantes importantes*

Toneladas de rastrojo	Aporte nutrimental del rastrojo de maíz (kg)				
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Mg	Ca
20	100	60	360	46	80
15	75	45	270	34.5	60
10	50	30	180	23	40
5	25	15	90	11.5	20





CAPÍTULO VII: MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL SUELO

7.1. MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL SUELO

La conservación de suelos se constituye en un sistema que complementa y combina obras estructurales, medidas agronómicas, de fertilidad y agroforestales; este sistema debe aplicarse de la forma más completa posible, si se desea tener éxito tanto en la protección del suelo como en la productividad (Rodríguez, 2014). Es así que, Raudes & Sagastume (2009) mencionan que si se realiza un adecuado manejo se puede lograr:

- **Controlar la erosión**

Evita que la corriente arrastre el suelo, frenando la velocidad del paso de agua por sobre el suelo (escorrentía); considerando que la cantidad de suelo fértil que se pierde en la temporada lluviosa y que la corriente arrastra al río u otros depósitos, es alta. Esta pérdida erosiva da como resultado la pérdida de la capa productiva del suelo y la formación de cárcavas.

- **Aprovechar mejor el agua**

Aumenta la infiltración del agua en el suelo, almacenando y/o aprovechando el recurso hídrico. Fuera del suelo se pierde toda el agua de la escorrentía que no logra infiltrarse; misma que no puede ser aprovechada por los cultivos, las obras de manejo de suelo y agua permiten el almacenamiento y/o el aprovechamiento del recurso hídrico.

- **Mejorar la fertilidad de los suelos y prevenir plagas y enfermedades**

Se considera aplicar medidas que ayuden a mejorar la fertilidad del suelo con el propósito de evitar las pérdidas de suelo por erosión y mejorar el rendimiento de los cultivos.

7.2. PRINCIPIOS DE CONSERVACIÓN DEL SUELO

Existen diversas prácticas de conservación que se basan en los siguientes cuatro principios para el manejo de suelos (Figura 34):

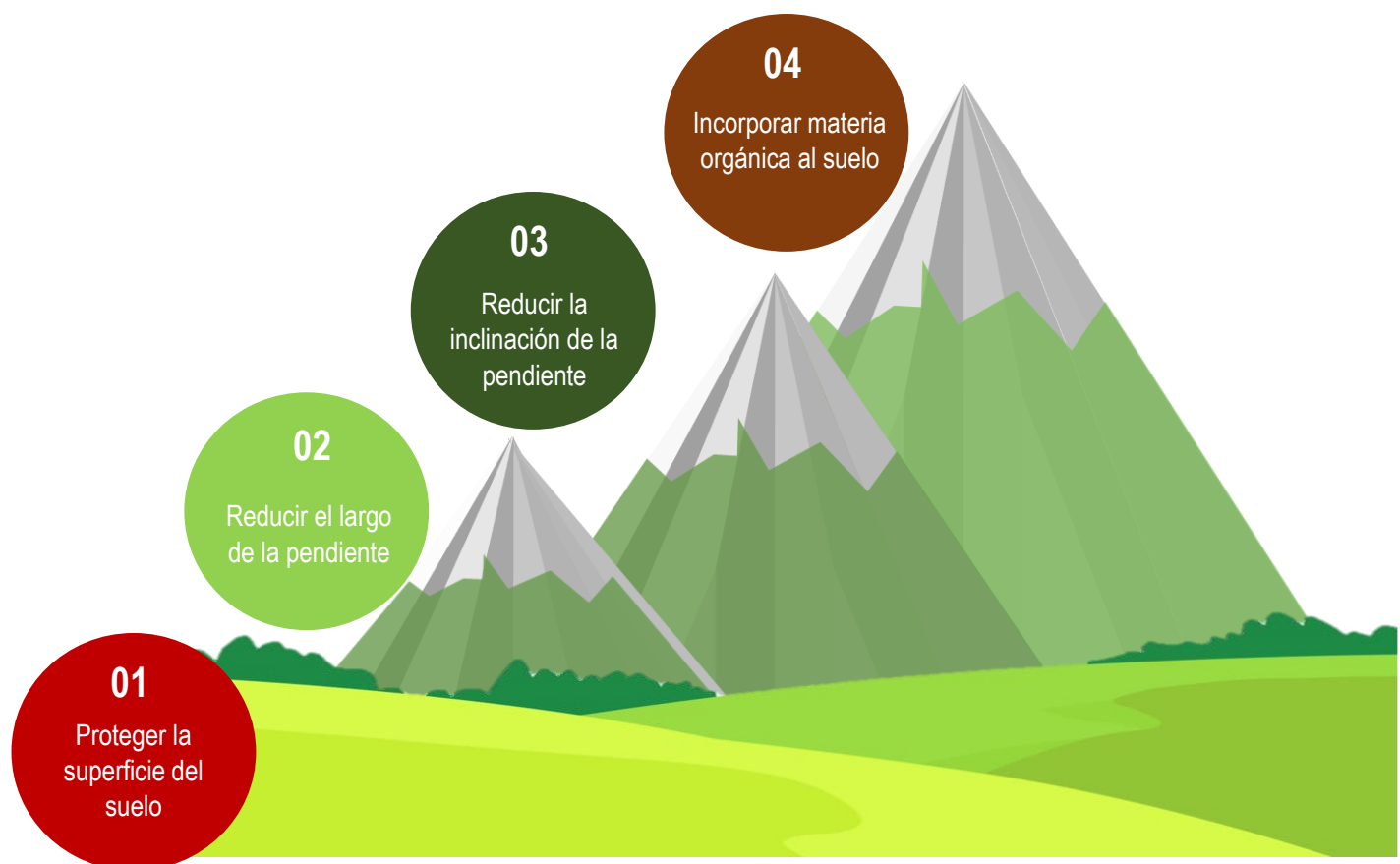


Figura 34. Principios de manejo de suelos

Fuente: Raudes & Sagastume (2009)

1. Proteger la superficie del suelo.

La cobertura vegetal protege el suelo contra el golpe de las gotas de lluvia y el arrastre del agua de escorrentía. Además, incrementa la infiltración de agua en el suelo.

Prácticas: capa de material vegetal muerto (rastrajo o mulch), siembra de abono verde, agroforestería, labranza mínima, siembra en contorno.



Figura 35. Protección de la superficie del suelo

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

2. Reducir el largo de la pendiente

Existen prácticas que reducen el largo de la pendiente y con eso la velocidad de la escorrentía. Además, contribuyen a aumentar la penetración del agua en el suelo, reduciendo la cantidad de suelo perdido por los procesos erosivos. Con las obras de reducción o corte de la pendiente, el suelo que arrastra la escorrentía se sedimenta y se mantiene en cada estructura construida.

Prácticas: barreras vivas, muros de retención, zanjas de ladera, terrazas de base angosta, hileras de árboles.



Figura 36. Reducción del largo de pendiente del suelo

3. Reducir la inclinación de la pendiente

Con todos los tipos de terrazas se evita la escorrentía y se aumenta la infiltración del agua en el suelo; generando una plataforma cultivable.

Prácticas: terrazas de banco, terrazas de base angosta, camellones, miniterrazas o terrazas individuales.

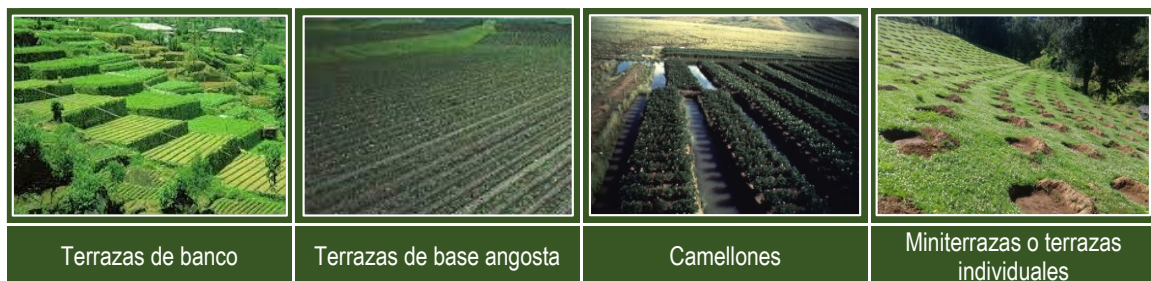


Figura 37. Reducción del largo de pendiente del suelo

4. Incorporar materia orgánica al suelo

Esta práctica ayuda a mejorar la fertilidad del suelo, ya que la materia orgánica se convierte en humus, que funciona como una esponja, favoreciendo a la infiltración del agua en el suelo y su retención, la disponibilidad de nutrientes y también la disminución en la escorrentía en el suelo.

Prácticas: Incorporación de abonos orgánicos como: composta, bocashi, abono verde, lombrihumus, estiércol descompuesto, gallinaza y otros.



Figura 38. Incorporación de materia orgánica al suelo

Es importante tomar en cuenta que, antes de introducir la agricultura de conservación es indispensable reducir o eliminar algunos de los efectos de la degradación como: capas compactadas, deficiencias de nutrientes, toxicidad o invasión de malezas (FAO, 1984).

7.3. PRÁCTICAS DE CONSERVACIÓN DEL SUELO

Es importante incorporar prácticas adecuadas como: siembras en curvas a nivel, barreras vivas, terrazas, zanjas de infiltración y desagüe, labranza mínima y cero, entre otras. En este sentido, es importante conocer sobre la “pendiente” ya que interviene en cada una de estas prácticas. La pendiente es el desnivel de un terreno; es decir, el grado de inclinación que tiene una ladera, que se mide en porcentaje de desnivel e indica los metros que baja la ladera en cada 100 metros medidos horizontalmente (ICPROC, 1998).

En este sentido, si se conoce el porcentaje de desnivel de una ladera, se puede saber cómo manejarla y que tipo de trabajo es el más adecuado, ya que cada ladera necesita un tratamiento y uso especial.

Entre las prácticas de conservación más importantes están las propuestas por ICPROC (1998):

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

Tabla 49.

Siembra en curvas de nivel

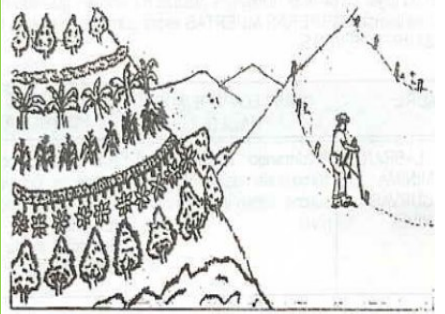
Nombre:	Siembra en curvas de nivel	
Cómo lo podemos hacer:	Se usa un agronivel, trazando curvas como guía y se siembra de acuerdo a estos trazos.	
Para qué se utiliza:	Para hacer siembras siguiendo la forma del terreno, así evitamos que el agua lave el suelo o se produzca escorrentía sobre la pendiente.	

Tabla 50.

Barreras vivas

Nombre:	Barreras vivas	
Cómo lo podemos hacer:	Se siembran plantas pequeñas o árboles en cortas distancias con un sistema radicular fuerte, buen agarre, siguiendo la curva a nivel.	
Para qué se utiliza:	De esta forma detenemos la tierra arrastrada por la lluvia, permitiendo así una mayor infiltración o penetración del agua.	

Tabla 51.

Labranza mínima en curvas de nivel

Nombre:	Labranza mínima en curvas de nivel	
Cómo lo podemos hacer:	Se prepara el surco o sitio de siembra, los surcos deben ir en curvas a nivel.	
Para qué se utiliza:	Nos permite mantener cubierto el suelo, mejorando la retención de humedad en la zona de las raíces.	

Tabla 52.

Terrazas individuales

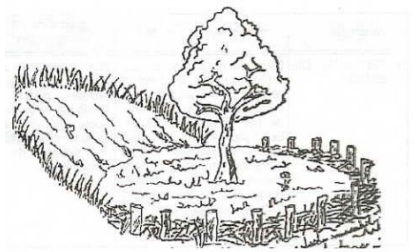
Nombre:	Terrazas individuales	
Cómo lo podemos hacer:	Se explana el sitio donde se siembra el árbol, en la parte superior se coloca una barrera viva o muerta o un trincho esto para retención.	
Para qué se utiliza:	Nos permite mantener cubierto el suelo, mejorando la retención de humedad en la zona de las raíces.	

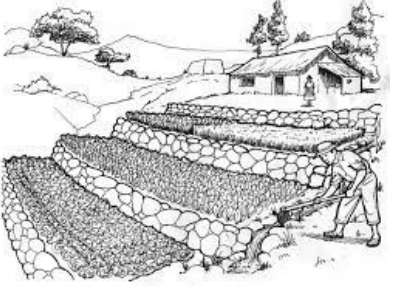
Tabla 53.

Terrazas de formación lenta

Nombre:	Terrazas de formación lenta	
Cómo lo podemos hacer:	Se ubican barreras muertas altas (80 cm a 1 m de alto), reteniendo así el suelo de arrastre y con el tiempo se forma una explanación en la parte superior.	
Para qué se utiliza:	Nos permite mantener cubierto el suelo, mejorando la retención de humedad en la zona de las raíces.	

Tabla 54.

Terrazas de banco

Nombre:	Terrazas de banco	
Cómo lo podemos hacer:	Se hacen bancos a modo de grandes escalones mediante el corte del terreno y relleno de las partes bajas. Las parcelas o taludes deben cubrirse con barreras muertas para mayor estabilidad.	
Para qué se utiliza:	Permiten establecer cultivos en terreno plano evitando el arrastre del suelo y formando fajas de gran fertilidad a través de la pendiente.	

SUELOS CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

Tabla 55.

Zanjas de infiltración y desagüe

Nombre:	Zanjas de infiltración y desagüe	
Cómo lo podemos hacer:	Se hacen cajuelas 30 cm de ancho y de hasta 30 a 40cm de profundidad dejando pequeños diques cada 8 m de zanja	
Para qué se utiliza:	Sirve para recolectar agua lluvia, aumentando la filtración y disminuyendo la escorrentía. Además, recolecta el suelo que ha sido arrastrado por el agua	

Tabla 56.

Trinchos

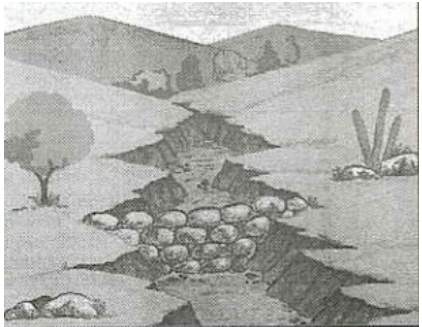
Nombre:	Trinchos	
Cómo lo podemos hacer:	Se hacen barreras pequeñas en tramos cortos utilizando palos, sacos o costales llenos de arena o tierra que se colocan atravesados a lo ancho de la zanja o cárcava.	
Para qué se utiliza:	Evitan el arrastre de materiales en zanjas naturales de desagüe, recuperan zonas afectadas por la erosión. Ayudan al crecimiento de vegetación.	

Tabla 57.

Barreras rompe vientos

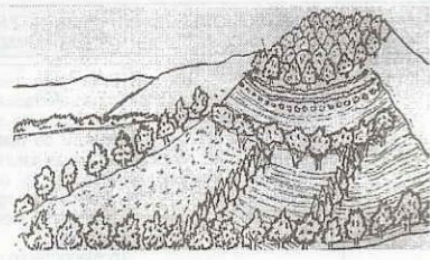
Nombre:	Barreras rompe vientos	
Cómo lo podemos hacer:	Se siembran hileras de árboles en franjas a través del terreno siguiendo la curva de nivel, las franjas se orientan en dirección contraria a la dirección contraria de la corriente de aire.	
Para qué se utiliza:	Nos permite mantener cubierto el suelo, mejorando la retención de humedad en la zona de las raíces.	

Tabla 58.

Coberturas vivas y muertas

Nombre:	Coberturas vivas	Coberturas muertas	
Cómo lo podemos hacer:	Con especies que cubran el suelo en forma de tapiz son de porte bajo.	Se cubre el suelo con residuos vegetales (fibrosos) como pastos (gramíneas), hojarascas, entre otros.	
Para qué se utiliza:	Permite mantener cubierto el suelo, mejora la retención de humedad en la zona de las raíces.	Aporta alimento para los microorganismos y las plantas; impiden la entrada directa de los rayos del sol, manteniendo la humedad en el suelo.	

Con la utilización estas prácticas se puede garantizar la recuperación de los suelos deteriorados y mantener en buenos estados aquellos que aún permanecen buenos para cultivar.

7.4. EL AGOTAMIENTO DE LOS SUELOS

El suelo no es un recurso renovable a escala humana, ya que se requieren cientos o miles de años para regenerarse. Es importante distinguir entre degradación y pérdida del suelo; en la degradación no se pierde, aunque se deteriora disipando parte de sus propiedades lo que afecta a sus funciones o “servicios” ya referidos; mientras que, en la pérdida, el suelo desaparece.

7.4.1. Degradación del suelo

La degradación del suelo se produce por el mal uso que el ser humano realiza de los recursos edáficos. Ibáñez (2018), menciona los procesos de degradación, descritos a continuación:

- **Pérdida de materia orgánica**

Cuando se cultiva la tierra y no se repone la materia orgánica que pierde, los agregados del suelo terminan por deshacerse en sus partículas constitutivas, empeorando su estructura y por lo tanto las propiedades edáficas.

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

- **Salinización y sodificación**

Son procesos que tienden a aumentar el contenido de sales potásicas y sódicas del suelo, en detrimento de otros cationes, que como el calcio son vitales para la nutrición vegetal. Bajo estas circunstancias, el pH del suelo aumenta en exceso (mayor a 8,5), generando una captura descompensada de los nutrientes que requieren las plantas. Algunas de las prácticas que provocan la salinización del suelo son: el riego con aguas salobres bajo un clima con déficit estacional de humedad, un abonado inadecuado, etc.

- **Acidificación**

Proceso que genera la descompensación del balance de nutrientes. La mayor parte de los nutrientes son lavados, siendo sustituidos por el hidrógeno o aluminio. Así el pH de los suelos desciende de 4,5 (muy ácidos), siendo la pobreza de nutrientes muy acusada. Cuando el ión que termina por dominar es el aluminio, el pH puede bajar de 4, produciéndose problemas de toxicidad. Algunas prácticas y fenómenos que inducen a que el suelo se acidifique son: la lluvia ácida, abonado incorrecto, repoblación con especies forestales acidificantes, drenaje de suelos semiacuáticos litorales que sustentan la vegetación de los manglares, etc.

- **Compactación**

Es la pérdida de la estructura del suelo, con independencia de la pérdida de materia orgánica, cobertura vegetal o sodificación, que afectan a la compactación superficial. Además, existe otro factor que repercute en los horizontes profundos, como lo es el uso de la maquinaria agrícola excesivamente pesada.

- **Contaminación**

Es un proceso muy grave y que se extiende como una plaga por la edafosfera, ya sea por contaminación o polución. El término contaminación indica los procesos que inducen a la acumulación en el suelo de elementos o compuestos que son ajenos al mismo como: plaguicidas, compuestos sintéticos, sustancias radioactivas. El término polución se usa cuando un elemento que aparece normalmente en los suelos en cantidades moderadas, alcanza magnitudes exageradas como perniciosas.

7.4.2. Pérdida del suelo

Si los suelos no son utilizados por el ser humano con cuidado se pierden, aflorando en caso extremo las rocas subyacentes si se trata de la erosión, o siendo sepultado bajo cemento o asfalto, en el caso del sellado. En este sentido, hay diversos factores que contribuyen a la pérdida de este recurso como la erosión, misma que puede ser generada por el agua (erosión hídrica), viento (erosión eólica), hielo (erosión glacial - periglacial) o la gravedad (erosión mecánica), siendo la pérdida total o considerable de la cobertura vegetal el factor que más influye sobre la erosión.

Además, otro problema que se ha identificado es el sellado, el cual se ha convertido en un grave problema, debido a que actualmente millones de hectáreas se encuentran sepultadas bajo asfalto y cemento, por el incremento de viviendas, industrias e infraestructuras.

7.5. EL COMPOSTAJE Y EL COMPOST

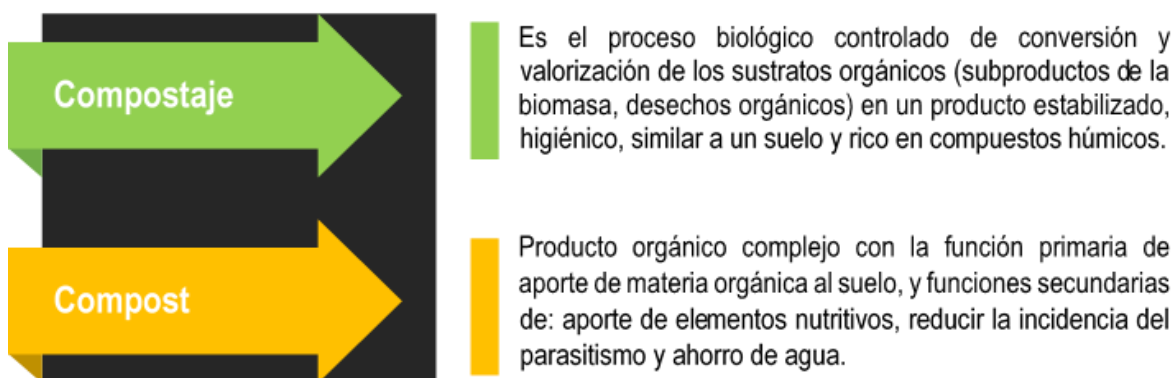


Figura 39. Compostaje y compost

El proceso de compostaje consiste en reproducir parte del ciclo biológico natural de crecimiento y descomposición. En este proceso, cuando mueren las plantas y animales que se alimentan de éstas, se convierten en la materia prima para el proceso de descomposición y humificación. Los microorganismos, hongos, insectos, ácaros y otros pequeños animales convierten el carbono de la materia orgánica muerta en energía para su propio crecimiento, liberan dióxido de carbono al aire, utilizan los nutrientes que las plantas tomaron del suelo y luego los devuelven a éste al morir. Otros microorganismos y vegetales reutilizan el carbono y los nutrientes y el ciclo comienza nuevamente (Docampo, 2013).

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

Un compostaje adecuado integra una cadena alimenticia con niveles de consumidores primarios, secundarios y terciarios. Durante el compostaje los microorganismos se multiplican y los procesos bioquímicos liberan anhídrido carbónico, agua, energía y otros productos orgánicos. Parte de la energía se utiliza en el metabolismo y el resto se emite en forma de calor (Figura 24).



Figura 40. Compostaje

En la fase inicial, cuando los microorganismos integran su alimento fácilmente, se produce una descomposición rápida con importante generación de calor, a medida que el alimento se agota disminuye el crecimiento microbiano y por consiguiente la generación de calor, continuando el proceso de descomposición y generación de humus, pero en forma más lenta.

El manejo de compostaje consiste en alcanzar y mantener lo más posible la actividad microbiana, de forma de lograr una descomposición rápida con importante generación de calor. Para ello es indispensable mantener un equilibrio entre alimentos, agua y aire en la pila de compostaje que favorezca a los microorganismos capaces de desarrollarse a una temperatura superior a 45 °C (termófilos). Con ello se logra una mejor y más rápida descomposición, y alcanzar temperaturas de entre 50 y 65 °C que destruyen a la mayoría de los patógenos y semillas de malezas pero no a otros microorganismos benéficos.

El producto final del proceso (compost) tendrá menor carbono, energía química, proteínas y agua que las materias primas que lo originaron, pero tiene más humus, sustancia compuesta por productos orgánicos de naturaleza coloidal que se genera en la

descomposición natural de los restos orgánicos y es componente principal que determina la fertilidad de los suelos.

7.5.1. Beneficios del compostaje

Algunos beneficios del compostaje son:



Figura 41. Beneficios del compostaje

7.5.2. Desarrollo del compostaje

Según Docampo (2013), el proceso de compostaje puede ser dividido en dos fases que se caracterizan básicamente por la variación de temperatura:

Primera Fase:

Descomposición de la materia orgánica (fase termófila, de alta velocidad o exotérmica), que desprende calor, puede durar varias semanas o más de un mes, dependiendo de las características del sustrato, la tecnología utilizada para el compostaje, y de las condiciones operativas y ambientales. El proceso de compostaje comienza tan pronto como el sustrato orgánico es preparado correctamente y se coloca en pilas. En ese momento prevalece la temperatura ambiente, pero tan pronto las bacterias comienzan a consumir los elementos de la mezcla fácilmente oxidables (azúcares, ácidos orgánicos, aminoácidos), la

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

temperatura se eleva. Esta etapa es muy importante porque permite alcanzar los siguientes objetivos:

- Saneado del producto, como resultado de la destrucción de microorganismos patógenos, la que se alcanza con temperaturas por encima de los 55 °C.
- Desactivación de las semillas de malezas y plantas parásitas en el entorno de los 60 °C. No es recomendable que durante la etapa termófila la temperatura exceda los 70-75 °C pues la mayoría de las especies de microorganismos no puede sobrevivir, con la consiguiente desactivación del proceso de descomposición.

Segunda Fase:

Maduración o curado luego de la fase termófila, la temperatura del compost desciende y no es posible restaurarla. En este punto, la descomposición es asumida por los microorganismos mesófilos (los que tienen óptimo desarrollo entre los 15 y 35 °C) y se convierte en un largo proceso de curado o maduración. Aunque la temperatura del compost está próxima a la ambiental, las reacciones bioquímicas se siguen produciendo para conformar un producto final más estable y adecuado para las plantas. Como los compuestos fácilmente degradables son metabolizados durante la primera fase del compostaje, el proceso de descomposición se traslada a las moléculas orgánicas más complejas, tornándose en un proceso muy lento. Los actinomicetos, que aparecen activamente en la fase mesófila, degradan el almidón, la celulosa y la lignina, compuestos indispensables para la síntesis de las sustancias húmicas. Al final de esta fase del proceso el compost está maduro y estabilizado.

7.5.3. Sistemas de compostaje

Según el tipo de instalación los sistemas de compostaje se dividen en: compostaje en hileras y compostaje en biorreactor.

Compostaje en pilas o hileras

El sistema en hilera o pila es derivado del proceso básico original de compostaje al aire libre. El material es colocado en pilas o hileras de dimensiones variables, de 1 a 3 metros de altura y de 3 a 8 metros de ancho. Las dimensiones de la hilera dependen del tipo de material a ser procesado y del sistema utilizado para mantener el oxígeno de la biomasa.

Respecto a la forma, se recomienda la pila con una sección transversal en forma de un triángulo truncado, o trapezoidal, que implica un método más práctico y minimiza los requerimientos de espacio para el compostaje. Se puede dividir el sistema de compostaje en pilas en base al método de provisión de oxígeno a la biomasa en:

- **Compostaje en pilas estáticas:** solo determinados tipos de biomasa se prestan al compostaje estático, aquellos en los que no es necesario recurrir al volteo o alguna otra forma de aireación forzada, ya que las características del mismo, permite que la convección natural de aire se vea limitada sólo en una pequeña parte del volumen total de la pila.
- **Compostaje en pilas estáticas aireadas:** La aireación se logra mediante la introducción de flujo de aire a través del material utilizando uno o más ventiladores que operan bajo presión negativa o positiva.
- **Compostaje en pilas con volteo mecánico:** el método más simple y adoptado para el volteo de las pilas de compostaje ha sido el de “pala frontal”. Todavía se utilizan extensamente en sistemas de pequeña escala en el procesamiento de residuos agrícolas y estiércol animal. En los procesos de mayor escala e industrializados, la “pala cargadora frontal” se ha ido sustituyendo progresivamente por equipos diseñados especialmente para la aireación y/o volteo mecánico de la biomasa, en una amplia diversidad de sistemas, diseños y dimensiones.

Compostaje en biorreactor

Un biorreactor es una estructura cerrada, rígida o “tambor” utilizado para contener el material a someter a tratamiento biológico. Se usa generalmente para la primera fase del compostaje que requiere mayor atención y control que la segunda fase. En función de las diferencias estructurales, las plantas de compostaje pueden ser divididas en: sistemas de operación continua y sistemas de operación discontinua. En los primeros el material o mezcla para compostar se carga en forma continua; en los segundos, la carga de mezcla se realiza después de que el material procesado se descarga del biorreactor. En función de la presencia o ausencia de movimiento del material dentro del biorreactor, se realiza una clasificación adicional en: biorreactor estático y biorreactor dinámico.

7.5.4. Parámetros del compostaje

Tabla 59.

Parámetros del compostaje

Parámetro	Rango ideal al comienzo (2 – 5 días)	Rango ideal para compost en fase termofílica II (2-5 semanas)	Rango ideal de compost maduro
C:N	25:1 – 35:1	15 / 20	10:1 – 15:1
Humedad	50% - 60%	45% - 55%	30% - 40%
Concentración de oxígeno	~ 10%	~ 10%	~ 10%
Tamaño de partícula	< 25 cm	~ 15 cm	< 1,6 cm
pH	6,5 – 8,0	6,5 – 8,5	6,5 – 8,5
Temperatura	45 – 60°C	45°C	Temperatura ambiente
Densidad	250 – 400 kg /m ³	< 700 kg /m ³	< 700 kg /m ³
Materia orgánica (Base seca)	50% - 70%	> 20%	> 20%
Nitrógeno total (Base seca)	2,5 – 3%	1 – 2%	~ 1%

7.5.5. Proceso de compostaje

El proceso de compostaje incluye diferentes etapas que deben cumplirse para obtener compost de calidad; sin embargo, la utilización de un material que no haya finalizado correctamente el proceso de compostaje puede acarrear riesgos como (FAO, 2013):

Fitotoxicidad: en un material que no haya terminado el proceso de compostaje correctamente, el nitrógeno está más en forma de amonio en lugar de nitrato. El amonio en condiciones de calor y humedad se transforma en amoniaco, creando un medio tóxico para el crecimiento de la planta y dando lugar a malos olores. Igualmente, un material sin terminar de compostar contiene compuestos químicos inestables como ácidos orgánicos que resultan tóxicos para las semillas y plantas.

Bloqueo biológico del nitrógeno: conocido como “hambre de nitrógeno”. Ocurre en materiales que no han llegado a una relación Carbono: Nitrógeno equilibrada, y que tienen material mucho más rico en carbono que en nitrógeno. Cuando se aplica al suelo, los microorganismos consumen el C presente en el material, y rápidamente incrementan el consumo de N, agotando las reservas de N en el suelo.

Reducción de oxígeno radicular: Cuando se aplica al suelo un material que aún está en fase de descomposición, los microorganismos utilizan el oxígeno presente en el suelo para continuar con el proceso, agotándolo y no dejándolo disponible para las plantas.

Exceso de amonio y nitratos en las plantas y contaminación de fuentes de agua: un material con exceso de nitrógeno en forma de amonio, tiende a perderlo por infiltración en el suelo o volatilización y contribuye a la contaminación de aguas superficiales y subterráneas. Además, puede ser extraído por las plantas del cultivo, generando una acumulación excesiva de nitratos, con consecuencias negativas sobre la calidad del fruto (ablandamiento, bajo tiempo postcosecha) y la salud humana.

7.5.6. Fases del compostaje

Las diferentes fases del compostaje se dividen según la temperatura, en:

1. Fase Mesófila: el material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C debido a la actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días).

2. Fase Termófila o de Higienización: cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina. Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. En especial, a partir de los 60 °C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores. Esta fase también recibe el nombre de fase de higienización ya que el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella spp.* Igualmente, como se verá en el capítulo 3.4, esta fase es importante pues las temperaturas por encima de los 55°C eliminan los quistes y huevos de helminto, esporas de hongos

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

fitopatógenos y semillas de malezas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado.

3. Fase de Enfriamiento o Mesófila II: agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Al bajar de 40 °C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración.

4. Fase de Maduración: es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

7.5.7. Monitoreo durante el compostaje

El proceso de compostaje debe tener un monitoreo constante para que esté dentro de un rango óptimo, analizando el oxígeno o aireación, la humedad de sustrato, temperatura, pH y la relación C:N. A continuación, se señalan estos parámetros y sus rangos óptimos:

Oxígeno

El compostaje es un proceso aerobio y se debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos, liberando a su vez, dióxido de carbono (CO₂) a la atmosfera. Así mismo, la aireación evita que el material se compacte o se encharque. Las necesidades de oxígeno varían durante el proceso, alcanzando la mayor tasa de consumo durante la fase termofílica.

La saturación de oxígeno en el medio no debe bajar del 5%, siendo el nivel óptimo el 10%. Un exceso de aireación provocaría el descenso de temperatura y una mayor pérdida de la humedad por evaporación, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua. Las células de los microorganismos se deshidratan, algunos producen esporas y se detiene la actividad enzimática encargada de la degradación de los diferentes compuestos. Por el contrario, una baja aireación, impide la suficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis. Se producen entonces malos olores y acidez por la presencia de compuestos como el ácido acético, ácido sulfhídrico (H₂S) o metano (CH₄) en exceso.

Tabla 60.*Control de la aireación*

Porcentaje de aireación		Problema	Soluciones
< 5%	Baja aireación	Insuficiente evaporación de agua, generando exceso de humedad y un ambiente de anaerobiosis.	Volteo de mezcla y/o adición de material estructurante que permita la aireación
	5% - 15% Rango Ideal		
> 15%	Exceso de aireación	Descenso de temperatura y evaporación del agua, haciendo que el proceso de descomposición se detenga por falta de agua.	Picado del material a fin de reducir el tamaño de poro y así reducir la aireación. Se debe regular la humedad, proveyendo agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta y verduras, césped, purines u otros)

Dióxido de Carbono (CO₂)

El oxígeno transforma (oxida) el carbono (C) presente en las materias primas. A través del proceso de oxidación, el C se transforma en biomasa (más microorganismos) y dióxido de carbono (CO₂), o gas producido por la respiración, que es fuente de carbono para las plantas y otros organismos que hacen fotosíntesis. Durante el compostaje, el CO₂ se libera por acción de la respiración de los microorganismos, variando la concentración con la actividad microbiana y con la materia prima utilizada como sustrato. En general, pueden generarse 2 a 3 kilos de CO₂ por cada tonelada, diariamente. El CO₂ producido durante el proceso de compostaje, en general es considerado de bajo impacto ambiental, ya que es capturado por las plantas para realizar fotosíntesis.

Humedad

Es un parámetro vinculado a los microorganismos, ya que, usan el agua como medio de transporte de nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular. La humedad óptima para el compost se sitúa alrededor del 55%, aunque varía dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas, así como del sistema empleado para realizar el compostaje. Si la humedad baja de 45%, disminuye la actividad microbiana, sin dar tiempo a que se completen todas las fases de degradación, causando que el producto obtenido sea biológicamente inestable. Si la humedad es mayor a 60%, el agua saturará los poros e interferirá la oxigenación del material. En procesos en que los principales componentes sean sustratos tales como aserrín, astillas de madera, paja y hojas secas,

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

la necesidad de riego durante el compostaje es mayor que en los materiales más húmedos, como residuos de cocina, hortalizas, frutas y cortes de césped. El rango óptimo de humedad para compostaje es del 45% al 60% de agua en peso de material base. Una manera sencilla de monitorear la humedad del compost es aplicar la “técnica del puño”.

Tabla 61.

Parámetros de humedad óptimos

Porcentaje de humedad		Problema	Soluciones
< 45%	Humedad insuficiente	Puede detener el proceso de compostaje por falta de agua para los microorganismos	Se debe regular la humedad, ya sea proporcionando agua al material o añadiendo material fresco con mayor contenido de agua (restos de fruta, verdura, césped, purines u otros)
	45% - 60% Rango Ideal		
> 60%	Oxígeno insuficiente	Material muy húmedo, el oxígeno queda desplazado. Puede dar lugar a zonas de anaerobiosis.	Volteo de mezcla y/o adición de material con bajo contenido de humedad y con alto valor en carbono, como serrines, paja u hojas secas.

Temperatura

Tiene un amplio rango de variación en función de la fase del proceso. El compostaje inicia a temperatura ambiente y puede subir hasta los 65°C sin necesidad de ninguna actividad antrópica (calentamiento externo), para llegar nuevamente durante la fase de maduración a una temperatura ambiente. Es deseable que la temperatura no decaiga demasiado rápido, ya que, a mayor temperatura y tiempo, mayor es la velocidad de descomposición y mayor higienización.

Tabla 62.

Parámetros de temperatura óptimos

Temperatura (°C)	Causas asociadas		Soluciones
Bajas temperaturas (T° ambiente < 35°C)	Humedad insuficiente	Las bajas temperaturas pueden darse por varios factores, como la falta de humedad, por lo que los microorganismos disminuyen la actividad metabólica y por tanto, la temperatura baja.	Humedecer el material o añadir material fresco con mayor porcentaje de humedad (restos de fruta y verduras, u otros)
	Material insuficiente	Insuficiente material o forma de pila inadecuada para que alcance una temperatura adecuada.	Añadir más material a la pila de compostaje.

	Déficit de nitrógeno o baja C:N	El material tiene una alta relación C:N y por lo tanto, los microorganismos no tienen el N suficiente para generar enzimas y proteínas y disminuyen su actividad. La pila demora en incrementar la temperatura más de una semana.	Añadir material con alto contenido en nitrógeno como estiércol.
Altas temperaturas (T° ambiente > 70%)	Ventilación y humedad insuficiente	La temperatura es demasiada alta y se inhibe el proceso de descomposición. Se mantiene actividad microbiana pero no la suficiente para activar a los microorganismos mesófilos y facilitar la terminación del proceso	Volteo y verificación de la humedad (55-60%). Adición de material con alto contenido en carbono de lenta degradación (madera o pasto seco) para que ralentice el proceso.

pH: El pH del compostaje depende de los materiales de origen y varía en cada fase del proceso (de 4.5 a 8.5). En las primeras fases, el pH se acidifica por la formación de ácidos orgánicos. En la fase termófila, debido a la conversión del amonio en amoníaco, el pH sube y se alcaliniza el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro. El pH define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación. La mayor actividad bacteriana se produce a pH 6,0- 7,5, mientras que la mayor actividad fúngica se produce a pH 5,5-8,0. El rango ideal es de 5,8 a 7,2.

Tabla 63.

Parámetros de pH óptimos

pH		Causas asociadas	Soluciones
< 4,5	Exceso de ácidos orgánicos	Los materiales vegetales liberan muchos ácidos orgánicos y tienden a acidificar el medio	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N
4,5 – 8,5 Rango Ideal			
> 8,5	Exceso de nitrógeno	Cuando hay un exceso de nitrógeno en el material de origen, con una deficiente relación C:N, asociado a humedad y altas temperaturas, se produce amoníaco alcalinizando el medio.	Adición de material más seco con mayor contenido de carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín)

Relación Carbono-Nitrógeno (C:N)

Esta relación varía en función del material de partida y se obtiene la relación numérica al dividir el contenido de C (%C total) sobre el contenido de N total (%N total) de los materiales

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

a compostar. Esta relación también varía a lo largo del proceso, siendo una reducción continua, desde 35:1 a 15:1.

Tabla 64.

Parámetros de la relación carbono / nitrógeno

C:N		Causas asociadas	Soluciones
> 35:1	Exceso de carbono	Existe en la mezcla una gran cantidad de materiales ricos en carbono. El proceso tiende a enfriarse y a ralentizarse	Adición de material rico en nitrógeno hasta conseguir una adecuada relación C:N
	15:1 – 35:1 Rango Ideal		
< 15:1	Exceso de nitrógeno	En la mezcla una hay una mayor cantidad de material rico en nitrógeno, el proceso tiende a calentarse en exceso y se generan malos olores por el amoníaco liberado	Adición de material con mayor contenido de carbono (restos de poda, hojas secas, aserrín)

Tamaño de partícula

La actividad microbiana está relacionada con el tamaño de la partícula, es decir, con la facilidad de acceso al sustrato. Si las partículas son pequeñas, hay una mayor superficie, facilitando el acceso al sustrato. El tamaño ideal de los materiales para comenzar el compostaje es de 5 a 20 cm. La densidad del material, y la aireación de la pila o la retención de humedad, están relacionados con el tamaño de la partícula, siendo la densidad aproximadamente 150 - 250 kg/m³, conforme avanza el proceso de compostaje, el tamaño disminuye y por tanto, la densidad aumenta, 600 - 700 kg/m³.

Tabla 65.

Control del tamaño de partícula

Tamaño de las partículas (cm)		Problema	Soluciones
> 30 cm	Exceso de aireación	Los materiales de gran tamaño crean canales de aireación que hacen bajar la temperatura y desaceleran el proceso	Picar el material hasta conseguir un tamaño medio de 10 – 20 cm
	5 - 30 cm Rango Ideal		
< 5 cm	Compactación	Las partículas demasiado finas crean poros pequeños que se llenan de agua, facilitando la compactación del material y un flujo restringido del aire, produciéndose anaerobiosis	Volear y/o añadir material de tamaño mayor y volteos para homogenizar

7.5.8. Aplicación del compost

El compost se puede aplicar semimaduro o maduro. El compost semimaduro tiene una elevada actividad biológica y el porcentaje de nutrientes fácilmente asimilables por las plantas es mayor que en el compost maduro. Por otro lado, al tener un pH no estable aún (tendiendo a la acidez), puede afectar negativamente a la germinación, por lo que este compost no se usa para germinar semillas, ni en plantas delicadas. El compost maduro se usa en gran medida para plántulas, jardineras y macetas. Se suele mezclar (20%-50%) con tierra y otros materiales.



SUELOS
CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, O. (2007). Aluminio, un indicador de calidad ambiental en suelos de carga variable. (Tesis de doctorado). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México. Recuperado de: https://www.uaeh.edu.mx/nuestro_alumnado/icbi/doctorado/documentos/Aluminio%20un%20indicador%20de%20calidad.pdf
- Almada, M., Szwarc, D., Vitt, D., Masin, C. & Cruz, M. (2019). Macrofauna edáfica: potencial indicador en suelos con producción algodónera. *Voces y Ecos*, (41), 30 - 33.
- Andina, D. (2015). Química del suelo: calcio y magnesio del suelo. Universidad Nacional de Tucumán. Recuperado de: <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-nacional/fisiologia-vegetal/calcio-y-magnesio/2564339>
- Cerón, L., & Aristizábal, F. (2012). Dinámica del ciclo del nitrógeno y fósforo en suelos. *Revista colombiana de Biotecnología*, 14(1), 285-295.
- Courel, G. (2019). Guía de estudio: Suelos salinos y sódicos. *Cátedra de Edafología. Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad Nacional de Tucumán*, 1-8.
- Docampo, R. (2013). Sustentabilidad: Compostaje y Compost. *Revista INIA*, (35), 63-67
- Dorronsoro, C. (2010). *Clasificación y Cartografía de suelos*. Universidad de Granada. Recuperado de: <http://edafologia.ugr.es/carto/tema01/soilclas.htm>
- Fadda, G. (2017a). *Introducción a la edafología*. Cátedra de Edafología, Universidad Nacional de Tucumán. Recuperado de: <https://www.edafologia.org/app/download/7953428176/Introduccion+a+la+edafologia+2017.pdf?t=1587690300>
- Fadda, G. (2017b). *Procesos pedogenéticos fundamentales*. Facultad de Agronomía y Zootecnia Universidad Nacional de Tucumán. Recuperado de: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Genesis%20%20Procesos%20pedogeneticos%20fundamentales%202019.pdf>

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

- Hernández, D. (2012). Uso de tres mejoradores de retención de nutrientes en el suelo. (Tesis de pregrado). Universidad técnica de Ambato, Ecuador. Recuperado de: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/8220/1/Tesis-83%20%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20292.pdf>
- Ibáñez, J. (2006). Humus y la Clasificación del Humus de los Suelos [Entrada de blog]. Recuperado de: <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/08/18/37767>
- Ibáñez, J. (2018). *El suelo y su degradación*. Consejo Superior de Investigaciones Científica. Recuperado de: https://www.unescoetxea.org/ext/manual_EDS/pdf/07_suelo_castellano.pdf
- Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria, INIA (2015). *Semana de la Ciencia y Tecnología Jornada de Puertas Abiertas*. Recuperado de: <http://inia.uy/Documentos/P%C3%ABlicos/INIA%20Tacuaremb%C3%B3/2015/El%20Suelo%2020%20de%20mayo.pdf>
- Instituto Cristiano de Promoción Campesina, ICPROC. (1998) *Áreas técnicas agropecuarias sostenibles San Vicente de Chucuri*. Prácticas de conservación del suelo. pp 12 -18.
- Llorente, M. (2002). Resumen del manual de edafología. *Formaciones Superficiales - Geología*. Universidad de Salamanca. Salamanca, España.
- Molina, E. (1999). Acidez y encalado de los suelos. Centro de investigaciones agronómicas Universidad de Costa Rica. *International Plant Nutrition Institute*, 1-18.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO (1984). *Proteger y Producir: Conservación de Suelo para el Desarrollo*. Recuperado de: https://books.google.com.ec/books/about/Proteger_y_producir_conservacion_del_sue.html?id=EajKMgEACAAJ&redir_esc=y
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO (2002). *Los fertilizantes y su uso*. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/x4781s/x4781s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO (2013). *Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina*. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/i3388s/i3388s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO (21 de marzo 2021). *Estructura del suelo*. Recuperado de: http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s07.htm#top

Ortiz, R. (2015). Síntesis de la evolución del conocimiento en Edafología. *Revista Eubacteria*, (34), 51-64.

(Pachés, M. (2019). El agua en el suelo. Fuerzas de retención. *Universidad Politécnica de Valencia*. Recuperado de: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/121154/Pach%c3%a9s%20-%20El%20agua%20en%20el%20suelo.%20Fuerzas%20de%20retenci%c3%b3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Raudes, M., & Sagastume, N. (2009). *Manual de Conservación de Suelos. Programa de Manejo Integrado de Plagas en América Central "PROMIPAC"*. El Zamorano, Honduras: Abelino Pitty.

Rodríguez, P. (2014). Evaluación de la calidad de los suelos y desarrollo de un plan de manejo de los terrenos de San Nicolás, Terencio Reyes y Elvin Santos de Zamorano, Honduras. (Tesis de pregrado). Escuela Agrícola Panamericana, Honduras. Recuperado de: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/3516/1/CPA-2014-072.pdf>

Van Konijnenburg, A. (2006) *Agricultura Orgánica. El Suelo: sus componentes físicos*. Argentina: Reedición - Estación Experimental Agropecuaria.

AUTORES

MIGUEL ANGEL OSORIO RIVERA

Ingeniero Ambiental, Magister Universitario en Ingeniería para el Ambiente y el Territorio. Estudiante de Doctorado de Recursos y Tecnologías Agrarias, Agroambientales y Alimentarias. Coordinador del grupo de investigación IITMS. Miembro Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Cuenta con artículos científicos en bases de datos de alto impacto como WEB OF SCIENCE y SCOPUS. Coordinador de la carrera de Ingeniería Ambiental de la ESPOCH - Sede Morona Santiago.

JUAN PABLO HARO ALTAMIRANO

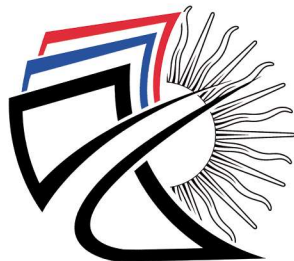
Ingeniero Agrónomo, Magister en Formulación, Evaluación y Gerencia de Proyectos para el Desarrollo, Ph.D (c) Agricultura Sustentable. Cuenta con experiencia en el área de desarrollo agropecuario. Se ha desempeñado como: responsable del área agropecuaria en los Cantones de Riobamba, Guano, Colta, Guamote, Penipe (2012-2014), responsable del Laboratorio de Biotecnología ESPOCH, Integrante del Grupo de Investigación Innovación y Transferencia de Tecnología "IITMS". Cuenta con varios proyectos de Investigación y Vinculación implementados. Además, cuenta con varias publicaciones científicas. Actualmente, es docente de la carrera de Ingeniería Zootecnia, Tecnologías de la Información de la Sede Morona Santiago, ESPOCH.

WILLIAM ESTUARDO CARRILLO BARAHONA

Ingeniero en Biotecnología Ambiental, Máster Universitario en Cambio Global Recursos Naturales y Sostenibilidad, Estudiante de Doctorado de Recursos y Tecnologías Agrarias, Agroambientales y Alimentarias. Cuenta con experiencia en centros de investigación nacionales e internacionales a en el área ambiental. Ha colaborado en proyectos de vinculación e investigación, Investigador activo del grupo de investigación IITMS. Miembro Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo en la carrera de Ingeniería Ambiental de la Sede Morona Santiago, de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

JOSÉ HERNÁN NEGRETE

Ingeniero Agrónomo. Técnico Superior Laboratorista Naturópata, Magister en Seguridad Industrial Mención Prevención de Riesgos y Salud Ocupacional. Técnico Agrícola en el Instituto Nacional de Desarrollo Agropecuario - INDA (2000-2002). Técnico Docente y Responsable de la Estación Agrometeorológica de la Facultad de Recursos Naturales de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - ESPOCH (2013-2018). Docente de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo - ESPOCH (2018-actualidad). Investigador activo del grupo de investigación IITMS. Miembro de proyectos de investigación y vinculación. Coordinador de la carrera de Ingeniería en Minas de la ESPOCH - Sede Morona Santiago.



PUERTO MADERO
EDITORIAL

SUELOS

CARACTERIZACIÓN E IMPORTANCIA

El libro consta de siete partes distribuidos en los siguientes contenidos:

- El primer capítulo abarca las GENERALIDADES, integradas por la definición, perfil y estructura del suelo, tipos de suelo, textura de suelo, pH, clasificación, características, composición y fases del suelo.
- El segundo capítulo contiene las PROPIEDADES DEL SUELO, con los temas de nomenclatura de horizontes, horizontes diagnósticos, así como sus propiedades específicas de los suelos
- El tercer capítulo contiene los MINERALES Y EVOLUCIÓN DEL SUELO, con los temas de alteración de los minerales, ciclos de los minerales, migraciones, evolución y procesos genéticos generales del suelo.
- El cuarto capítulo abarca el AGUA EN EL SUELO, con los temas de fuerzas de retención y propiedades químicas del agua
- El quinto capítulo trata de los ORGANISMOS Y MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO, con los temas de materia orgánica y organismos del suelo.
- El sexto capítulo describe los FERTILIZANTES, integrando a los fertilizantes químicos y orgánicos.
- ☒ El séptimo capítulo describe el MANEJO Y CONSERVACIÓN DEL SUELO, con temáticas de principios, prácticas de la conservación del suelo, el agotamiento de los suelos y el compostaje y proceso de compost.

ISBN 978-987-88-5025-2



puertomaderoeditorial.com.ar



La Plata - Argentina