2020

CMES

3er Concurso Mexicano

de Evaluación de Suelos

MANUAL DE EVALUACIÓN DE SUELOS

ÉNFASIS EN MEMORIA EDÁFICA, MATERIA ORGÁNICA E HIDROEDAFOLOGÍA

VARGAS RODRÍGUEZ • CERÓN GONZÁLEZ • OLIVARES MARTÍNEZ • BOBADILLA BALLESTEROS

Edición: Vargas-Rodríguez, D.F., Cerón-González, A., Olivares-Martínez, L.D. y Bobadilla-Ballesteros, M.D.

Revisión y corrección: Solleiro-Rebolledo, E. y Chávez-Vergara, B.

Grupo de trabajo del Concurso Mexicano de Evaluación de Suelos, Comisión de Acción Juvenil de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C.: Cerón-González, A., Olivares-Martínez, L.D., Bobadilla-Ballesteros, M.D., Gámez-Barajas, C., Vargas-Rodríguez, D.F. y Amador-Sierra, J.

LA SOCIEDAD LATINOAMERICANA UNIDA EN LA LUCHA PARA "MANTENER VIVO EL SUELO, PROTEGIENDO SU BIODIVERSIDAD"

Ciudad de México, México
2020

CONTENIDO

PRÓLOGO 1

INFORMACIÓN GENERAL 3

PARTE I. IDENTIFICACIÓN DEL SITIO 5

IDENTIFICACIÓN DEL SITIO 5
CLIMA 5
USO DE SUELO Y VEGETACIÓN 5
TOPOGRAFÍA 6
MATERIAL PARENTAL 8

PARTE II. DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO 9

CARACTERÍSTICAS DE LA SUPERFICIE DEL SITIO 9
EROSIÓN SUPERFICIAL 9
PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL 10
GRIETAS SUPERFICIALES 11
DESCRIPCIÓN DE LOS HORIZONTES 11
LÍMITES 11
TEXTURA 12
COLOR 14
ESTRUCTURA 15
ESTABILIDAD DE AGREGADOS 17
POROSIDAD 18
DENSIDAD APARENTE 19
CARBONATOS 20
REVESTIMIENTOS 20
REPELENCIA AL AGUA 21
FRAGMENTOS GRUESOS 21

PARTE III. DESIGNACIÓN DE HORIZONTES Y CLASIFICACIÓN 22

DESIGNACIÓN DE HORIZONTES 22
PREFIJO NUMÉRICO 22
HORIZONTE GENÉTICO 22
HORIZONTES DE TRANSICIÓN 23
SUFIJO 23
SUBDIVISIONES NUMÉRICAS 24

HORIZONTES ORGÁNICOS 25
CLASIFICACIÓN DE SUELOS 26
EJEMPLO SIMPLIFICADO DE LA CLASIFICACIÓN DE UN SUELO SEGÚN WRB (2015) 27

PARTE IV. EVALUACIÓN DE SUELOS 29

EVALUACIÓN HIDROEDAFOLÓGICA 29
CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA 29
PROFUNDIDAD EFECTIVA DEL SUELO 30
EVALUACIÓN DEL ALMACÉN DE MATERIA ORGÁNICA 31
FORMA DEL HUMUS O MANTILLO 31
MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO MINERAL 31
ALMACÉN DE MATERIA ORGÁNICA 32
EVALUACIÓN DE LA MEMORIA EDÁFICA 34
TIEMPO DE FORMACIÓN 35
CAPACIDAD DE MEMORIA EDÁFICA 35

PARTE V: INTERPRETACIÓN DEL PERFIL DE SUELO 37

USO POTENCIAL PARA PAGO POR SERVICIOS AMBIENTALES 37
CONSERVACIÓN 38
PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS PARA LA SOBERANÍA ALIMENTARIA 38

PARTE VI. EJEMPLO FORMATO DE CAMPO 39

REFERENCIAS 45

PRÓLOGO

Dentro de los principales objetivos de las organizaciones mundiales como la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) y la Unión Internacional de las Ciencias del Suelo (IUSS, por sus siglas en inglés) se encuentran promover el cuidado del medio ambiente y el desarrollo sostenible. Aunque estas responsabilidades corresponden a la sociedad entera, los profesionistas de las ciencias naturales y ambientales tienen una encomienda mayor, pues en ellos recae la oportunidad de orientar eficazmente las decisiones en torno a la protección del hombre y del geosistema en su conjunto, promoviendo tantas relaciones simbióticas como sean posibles y, con ello, asegurando un espacio de convivencia oportuno para esta y las siguientes generaciones.

El **suelo**, ante todo, debe ser entendido como un cuerpo activo y dinámico, sostén de la vida en el planeta Tierra, así como fuente de alimentos y energía. Por ello, existe una fuerte urgencia por generar una atmósfera de común entendimiento en la que intervengan estrategias inter y multidisciplinarias, tanto para el estudio del suelo como para su conservación. En este sentido, los científicos del suelo estamos obligados a fomentar equipos colaborativos que celebren la diversidad de enfoques, con el fin de difundir el conocimiento a toda la sociedad.

Por ello, a partir de 2018, comenzó a gestarse la hoy cimentada **Comisión de Acción Juvenil**, desde la **Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A.C. (SMCS),** como un espacio de transferencia intergeneracional del conocimiento en temas referentes a la Ciencia del Suelo, cuya tarea primordial es acercar dicha disciplina a jóvenes científicos. Una de las acciones más representativas de la Comisión es el Concurso Mexicano de Evaluación de Suelos, mismo que pudo materializarse para su primera edición en Texcoco (2018) y para una segunda en Aguascalientes (2019).

Inquebrantables ante las adversidades, la Comisión de Acción Juvenil hizo frente a las limitaciones logísticas que supuso la organización de la tercera edición del proyecto. En este tenor, el **3er Concurso Mexicano de Evaluación de Suelos** migró a la modalidad virtual, continuando la febril

apuesta por encender el sentimiento edafológico. Además, gracias a los recursos digitales ha sido posible el cultivo de la semilla edafológica no sólo entre los mexicanos, sino en cualquiera que goce de la dicha de pertenecer a la comunidad latinoamericana, con razón de orgullo para nuestro territorio fecundo y contrastante, que ha visto nacer ya no hermanos, sino mellizos de alma.

Bajo el llamado de la **Sociedad Latinoamericana de la Ciencia del Suelo** de **"Mantener vivo el suelo, protegiendo su biodiversidad"** en torno al **Día Mundial del Suelo**, el inexorable anhelo de acercar la Edafología a tantos como sea posible supuso la creación de dos proyectos más relacionados con el Concurso, el **1er Curso Internacional de Evaluación de Suelos** y una serie de infografías en temas base de la Ciencia del Suelo, a la sazón, llamadas ***Edafografías***. Con estas acciones logramos reunir a jóvenes edafólogos de 20 países y de gran parte de México.

Desde la **Comisión de Acción Juvenil** de la **SMCS** coincidimos que los Concursos Mexicanos de Evaluación de Suelos son una forma efectiva para fomentar el interés de nuevos jóvenes edafólogos en la génesis, clasificación y evaluación de suelos. Promoviendo, además, el afecto por la restauración y conservación de los suelos, como una herramienta clave para resolver los actuales problemas ambientales y sociales. Suponemos, además, que los Concursos han sido exitosos por haberse madurado desde una plataforma juvenil, de respiración mexicana y pulsaciones de unidad latinoamericana.

Lic. Axel Cerón González
Querétaro, México

M.C. Judith Amador Sierra
Durango, México

INFORMACIÓN GENERAL

Como parte de las celebraciones del Día Mundial del Suelo (5 de diciembre) e inmersos en la Década Internacional de los Suelos (2015 - 2024), se ha organizado el **3er Concurso Mexicano de Evaluación de Suelos** (**CMES**), el **5 de diciembre de 2020**, en modalidad virtual. Esta es una gran oportunidad para que los estudiantes, investigadores y personas interesadas en el recurso suelo, tanto en México como en el extranjero, puedan interactuar, experimentar y difundir sus conocimientos en Ciencia del Suelo.

El objetivo de esta contienda es que los participantes usen sus habilidades prácticas para describir, comprender e interpretar las características del suelo a través del uso de datos de campo. Además de poner a prueba sus conocimientos en temas base de la Ciencia del Suelo. Por ello, el **3CMES** comprende dos actividades, que deberán resolverse por los concursantes de manera individual:

1. **Parte práctica**: con datos de campo de un perfil de suelo los participantes deberán:
    - Designar horizontes genéticos y puntualizar rasgos morfológicos;
    - Clasificar con base en la World Reference Base (WRB, 2015);
    - Evaluar el suelo, poniendo especial interés en la memoria edáfica, la materia orgánica y la hidroedafología; e
    - Interpretar los usos potenciales del suelo.
2. **Parte teórica:** se deberán responder una serie de preguntas automatizadas, de manera sincrónica, y que incluirán temas como morfología, génesis, clasificación, geografía y evaluación de suelos.

La parte práctica tendrá una duración máxima de **50 minutos**, una vez entregados a los participantes los datos de un perfil de suelo, el cual será sólo uno para todos los concursantes. Para esta sección, se generará un formulario en línea, para su llenado y envío. Esta sección **no tendrá** una sesión de **encuentro virtual**. Se recomienda hacer uso de este Manual, especialmente desde la Parte III, pues si bien las Partes I y II son importantes para la evaluación de suelos, no son

necesarias para este Concurso, más allá de servir como guía. Asimismo, instamos a hacer uso de materiales como:

FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos. Roma: FAO.

IUSS Working Group WRB. (2015). Base referencial mundial del recurso suelo 2014. Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. Roma: FAO.

Siebe, C., Jahn, R. y Stahr, K. (2016). Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. 3ª Edición (revisada, corregida y aumentada). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

La parte teórica consistirá en una serie de preguntas automatizadas creadas por el **Comité Organizador** y revisadas por la **Coordinación Científica** del Concurso. Todos los participantes se enfrentarán a las mismas preguntas, las cuales se deberán responder a través de la aplicación Kahoot! disponible para dispositivos móviles y computadoras. Esta sección **sí tendrá** una **sesión virtual**. Si bien, a través de la sesión virtual se dictarán las preguntas y las respuestas, para que los participantes hagan uso de un único equipo, recomendamos, tanto como sea posible, utilizar dos dispositivos: uno para leer las preguntas y otro para responder a través de Kahoot!

PARTE I. IDENTIFICACIÓN DEL SITIO

Identificación del sitio

Para la correcta identificación de un suelo dentro de una base de datos, cada descripción de perfil debe contener, como mínimo, la siguiente información del sitio:

- **Número o código del perfil**
- **Ubicación en coordenadas geográficas y altitud**
- **Fecha de descripción**
- **Nombre de quien realizó la descripción**

Clima

Las condiciones climáticas del sitio están estrechamente relacionadas con las condiciones ambientales que influyen sobre el desarrollo del suelo y su identificación facilita la interpretación de algunos procesos edafogenéticos. Los datos de precipitación (mm) y temperatura (°C) medias anuales son la información mínima que debe recolectarse, de preferencia de la estación meteorológica más cercana al sitio.

Uso de suelo y vegetación

De manera mínima, el uso de suelo puede clasificarse de acuerdo con el **Cuadro 1**, mientras que la vegetación con el **Cuadro 2**.

Cuadro 1. Clasificación de usos de suelo. Modificado de FAO (2009).

Código	Clase	
A	Agricultura	Agricultura de riego y temporal
M	Agricultura mixta	Agropastoril, agroforestería
H	Ganadería	Pastoreo intensivo y extensivo
F	Forestal	Bosque natural, plantación forestal
P	Protección de la naturaleza	Preservación de la naturaleza y recreación
S	Asentamientos, industrias	Residencial, transporte, excavaciones y tiraderos
Y		Zona militar
O		Otros usos de la tierra
U		Sin manejo aparente

Cuadro 1. Clasificación de la vegetación. Modificado de CNA (1989).

Código	Clase
M	Manglar
Pa	Pastizal
Z	Zacatonal
MZ	Mezquital
S	Selva
B	Bosque
Ma	Matorral
NA	Sin vegetación aparente

Topografía

La descripción topográfica se refiere a la posición en el terreno (**Figura 1**), la forma de la pendiente (**Figura 2**) y el ángulo de inclinación (**Cuadro 3**).

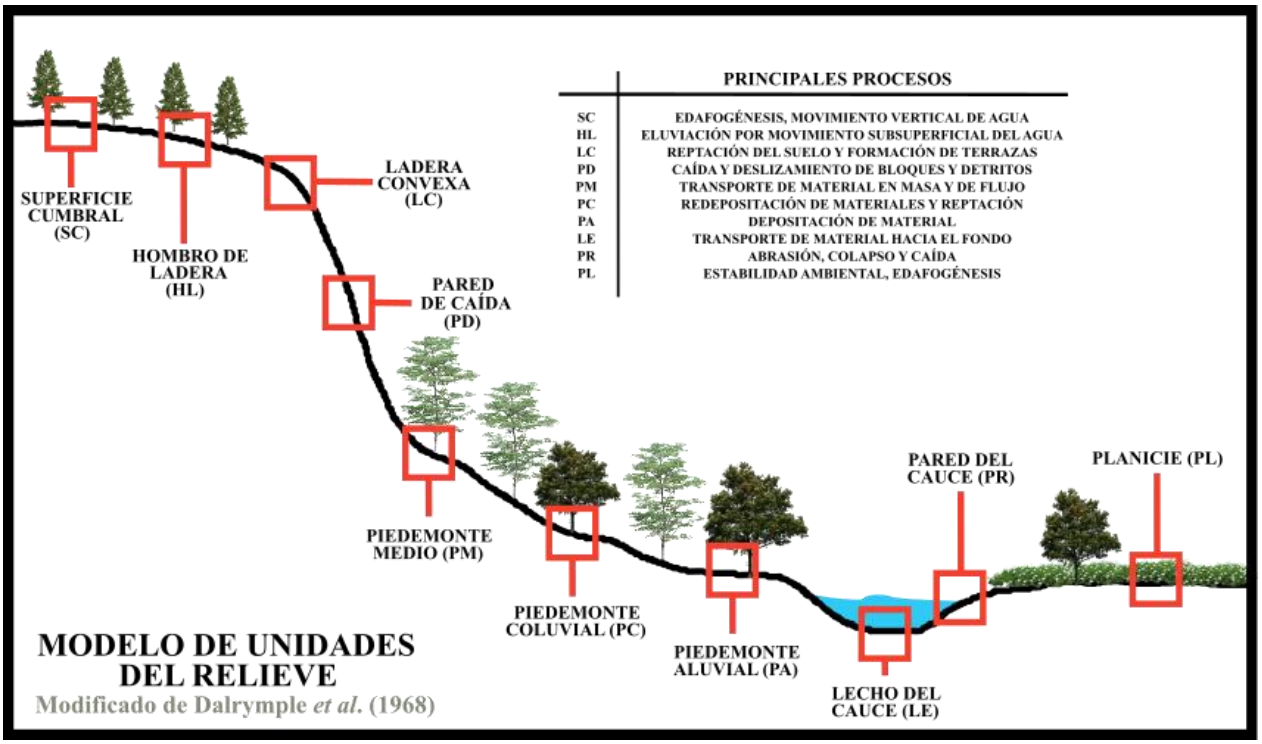


Figura 1. Modelo de unidades del relieve y sus principales procesos relacionados a la morfogénesis y a la edafogénesis. Modificado de Dalrymple *et al*. (1968).

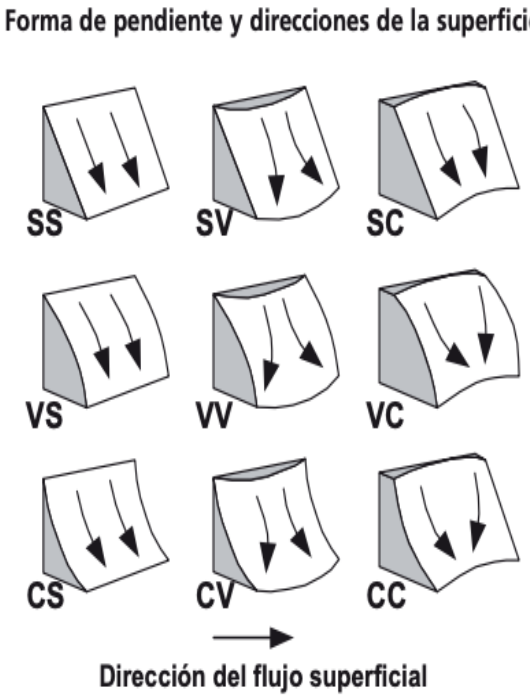


Figura 2. Forma de la pendiente y direcciones de la superficie, tomando en cuenta la dirección del flujo superficial. Tomado de FAO (2009). **SS**: plano; **SV**: planoconvexo; **SC**: planocóncavo; **VS**: convexo-plano; **VV**: convexo; **VC**: convexo-cóncavo; **CS**: cóncavo-plano; **CV**: cóncavoconvexo; y **CC**: cóncavo.

Cuadro 3. Clases de pendientes y su gradiente de inclinación. Adaptado de FAO (2009).

Código	Clase	Gradiente de inclinación (°)
01	Nivel	0 – 2
02	Suavemente inclinado	2.1 – 5
03	Inclinado	5.1 – 10
04	Moderadamente inclinado	10.1 – 15
05	Fuertemente inclinado	15.1 – 30
06	Escarpado	30.1 – 60
07	Muy escarpado	> 60

Material parental

Se refiere al material a partir del cual se formó el suelo. Al describirlo se debe indicar, como mínimo, su naturaleza (**Cuadro 4**).

Cuadro 4. Posibles materiales parentales. Modificado de FAO (2009).

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

PARTE II. DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO

La descripción de la morfología del suelo incluye las características de la superficie del terreno como erosión, afloramientos rocosos, fragmentos gruesos, agrietamiento y encostramiento, así como la descripción del suelo horizonte por horizonte. Dicha descripción se realiza en un perfil recién excavado o un corte de camino limpio, sin influencias externas.

Características de la superficie del sitio

Erosión superficial

La erosión del suelo, por lo general, guarda un origen hídrico o eólico. En caso de identificarse, se debe registrar el tipo (**Cuadro 5**) y el grado de erosión (**Cuadro 6**).

Cuadro 5. Tipo de erosión del suelo. Modificado de FAO (2009).

Código	Tipo
N	Sin evidencia
W	Erosión laminar
T	Erosión en surcos
U	Erosión en cárcavas
A	Erosión eólica

Cuadro 6. Grados de erosión del suelo. Obtenido de Siebe *et al*. (2016).

Grado	Características
1	Pérdida <25% del espesor original del horizonte A o E, o de los primeros 20 cm en caso de que los horizontes A o E tengan un espesor menor que 20 cm. En la mayor parte del área el espesor del horizonte superficial se encuentra dentro del intervalo normal de variabilidad de sitios no erosionados y sólo algunas zonas (<20%) muestran diferencias apreciables en espesor.
2	Pérdida 25% a 75% del espesor original del horizonte A o E, o de los primeros 20 cm en caso de que los horizontes A o E tengan un espesor menor que 20 cm. El horizonte superficial consiste en una mezcla del horizonte A o E original y los materiales subyacentes.

Cuadro 6. Grados de erosión del suelo. Obtenido de Siebe *et al*. (2016). *Continuación*.

Grado	Características
3	Pérdida > 75% del espesor original del horizonte A o E, o de los primeros 20 cm en caso de que los horizontes A o E tengan un espesor menor que 20 cm. En la mayor parte del área ha quedado expuesto el material subyacente a los horizontes A o E originales, o en caso de que los horizontes A o E hayan sido de gran espesor, el horizonte superficial consiste en una mezcla del horizonte A o E original y de los materiales subyacentes.
4	Pérdida total de los horizontes A o E originales, o de los primeros 20 cm del suelo en caso de que los horizontes A o E tengan un espesor menor que 20 cm, y afectación de parte de los horizontes subyacentes. La mayor parte del área muestra un sistema de cárcavas muy desarrolladas.

Pedregosidad superficial

Se refiere a la abundancia de fragmentos gruesos superficiales mayores a 2 mm, y se expresa en términos de porcentaje de cobertura superficial (**Cuadro 7**) y de acuerdo con su tamaño (**Cuadro 8**).

Cuadro 7. Clasificación de fragmentos gruesos superficiales en términos de porcentaje de cobertura superficial. Modificado de FAO (2009).

Código	Clase	%
N	Ninguno	0
P	Pocos	0.1 – 5
C	Comunes	5.1 – 15
M	Muchos	15.1 – 40
A	Abundantes	40.1 – 80
LD	Dominantes	> 80

Cuadro 8. Clasificación de fragmentos gruesos superficiales de acuerdo con su tamaño. Modificado de FAO (2009).

Código	Clase	cm
F	Grava fina	0.2 – 0.6
M	Grava media	0.61 – 2.0
C	Grava gruesa	2.1 – 6.0
S	Piedras	6.1 – 20.0
B	Cantos	20.1 – 60.0
L	Cantos grandes	60.1 – 200

Grietas superficiales

Las grietas se forman en suelos enriquecidos con arcillas expansibles, particularmente asociados con Vertisols. Las grietas pueden clasificarse de acuerdo con su tamaño (**Cuadro 9**) y con su profundidad (**Cuadro 10**).

Cuadro 9. Clasificación de las grietas superficiales de acuerdo con su tamaño (FAO, 2009).

Código	Clase	cm
F	Finas	< 1
M	Medias	1.0 – 2.0
A	Anchas	2.1 – 10
V	Muy anchas	> 10

Cuadro 10. Clasificación de las grietas superficiales de acuerdo con su profundidad (FAO, 2009).

Código	Clase	cm
S	Superficial	-
M	Media	< 2.0
D	Profunda	10.1 – 20
V	Muy profunda	> 20

Descripción de los horizontes

Límites

Los límites de los horizontes del suelo proveen información relacionada con los procesos formadores del suelo y comúnmente son descritos en términos de profundidad, distinción (**Cuadro 11**) y topografía (**Cuadro 12** y **Figura 3**).

Cuadro 11. Distinción entre límites de horizontes (FAO, 2009).

Código	Clase	cm
A	Abrupto	< 2.0
C	Claro	2.1 – 5.0
G	Gradual	5.1 - 15
D	Difuso	> 15

Cuadro 12. Topografía entre límites de horizontes (FAO, 2009).

Código	Clase	Características
S	Suave	Casi plano
O	Ondulado	Ondulaciones más anchas que profundas
I	Irregular	Ondulaciones más profundas que anchas
Q	Quebrado	Discontinuo

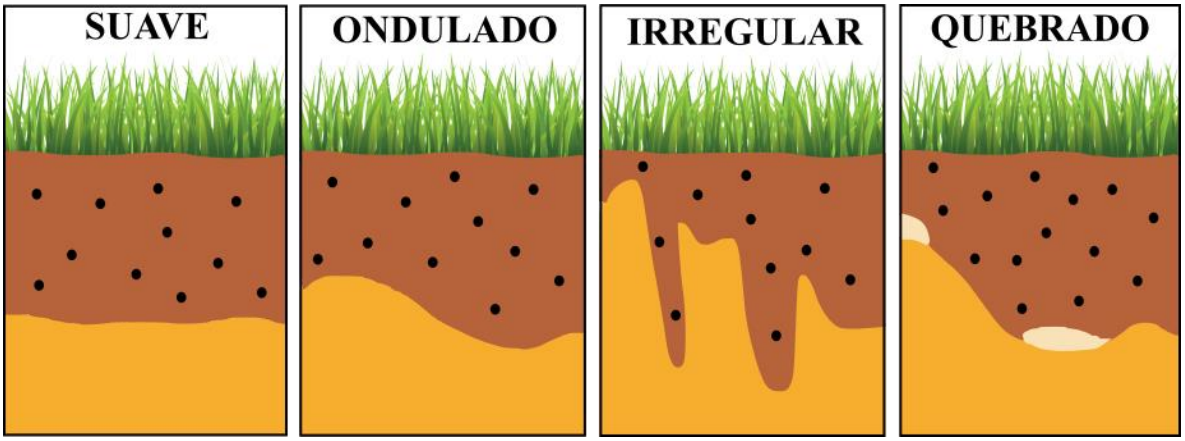


Figura 3. Topografía entre límites de horizontes. Modificado de Schoeneberger *et al*. (2011).

Textura

La textura del suelo se describe como una clase textural, y se refiere a la porción relativa de las clases de tamaño de partículas en un volumen de suelo dado (**Figura 4**). Su clasificación en campo se puede llevar a cabo siguiendo al **Cuadro 13**.

Cuadro 13. Guía para la determinación textural. Modificado de Siebe *et al*. (2006)

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

Cuadro 13. Guía para la determinación textural. Modificado de Siebe *et al*. (2006). *Continuación*

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

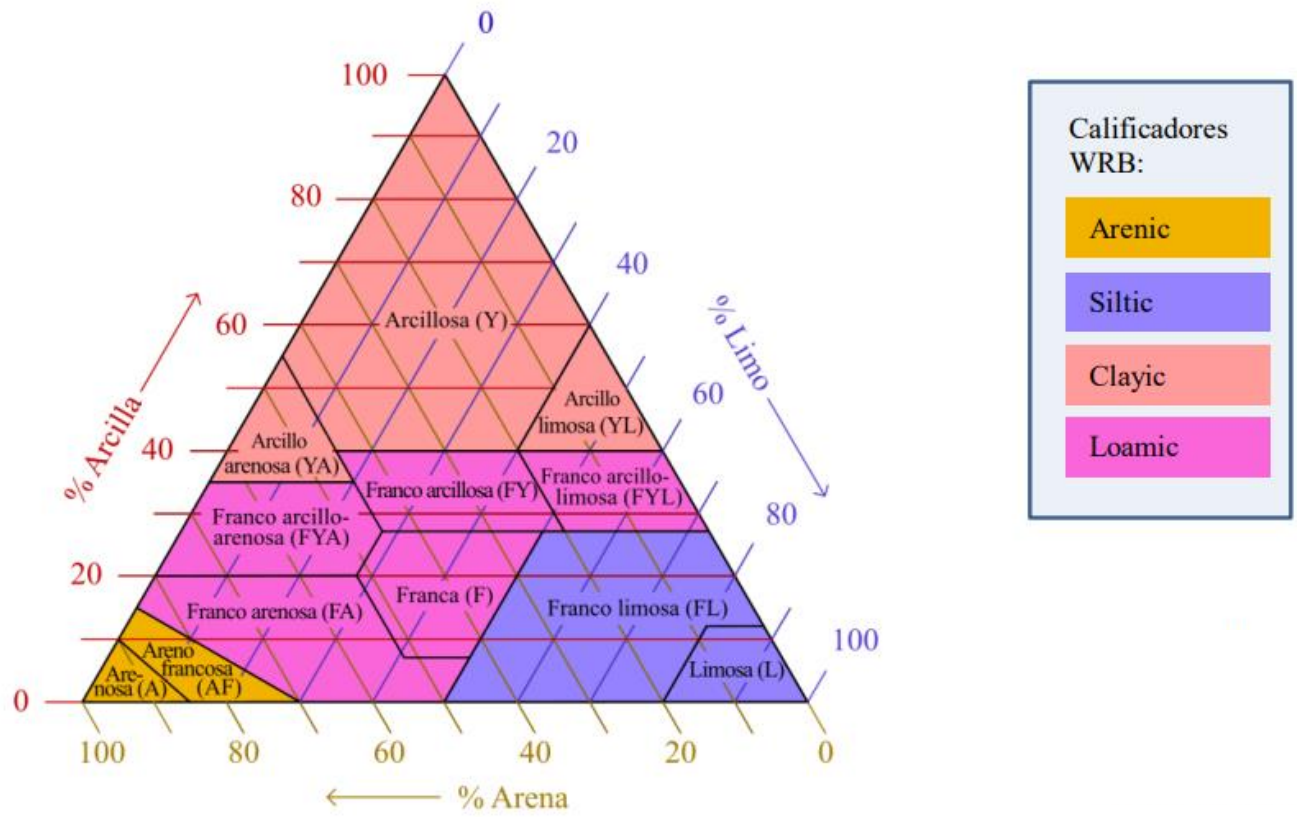


Figura 4. Diagrama ternario para la determinación de los constituyentes de la tierra fina, clases texturales y calificadores para WRB (2015). Tomado de Buness *et al*. (2020).

Color

El color del suelo refleja distintos procesos edafogenéticos, como son la melanización o la rubefacción, y propiedades como la composición mineral del suelo, la cual está estrechamente relacionada con el material parental. El color se debe obtener a partir de una muestra en húmedo para cada horizonte, haciendo uso de la tabla de colores Munsell (*Munsell Soil Color Chart*). Los colores deben ser designados de acuerdo con el matiz (*hue*), la luminosidad (*value*) y el croma (*chroma*) (**Figura 5**). Es recomendable hacer la descripción del color del suelo bajo condiciones similares para cada muestra y bajo luz difusa, es decir, sin la incidencia directa de los rayos del sol.

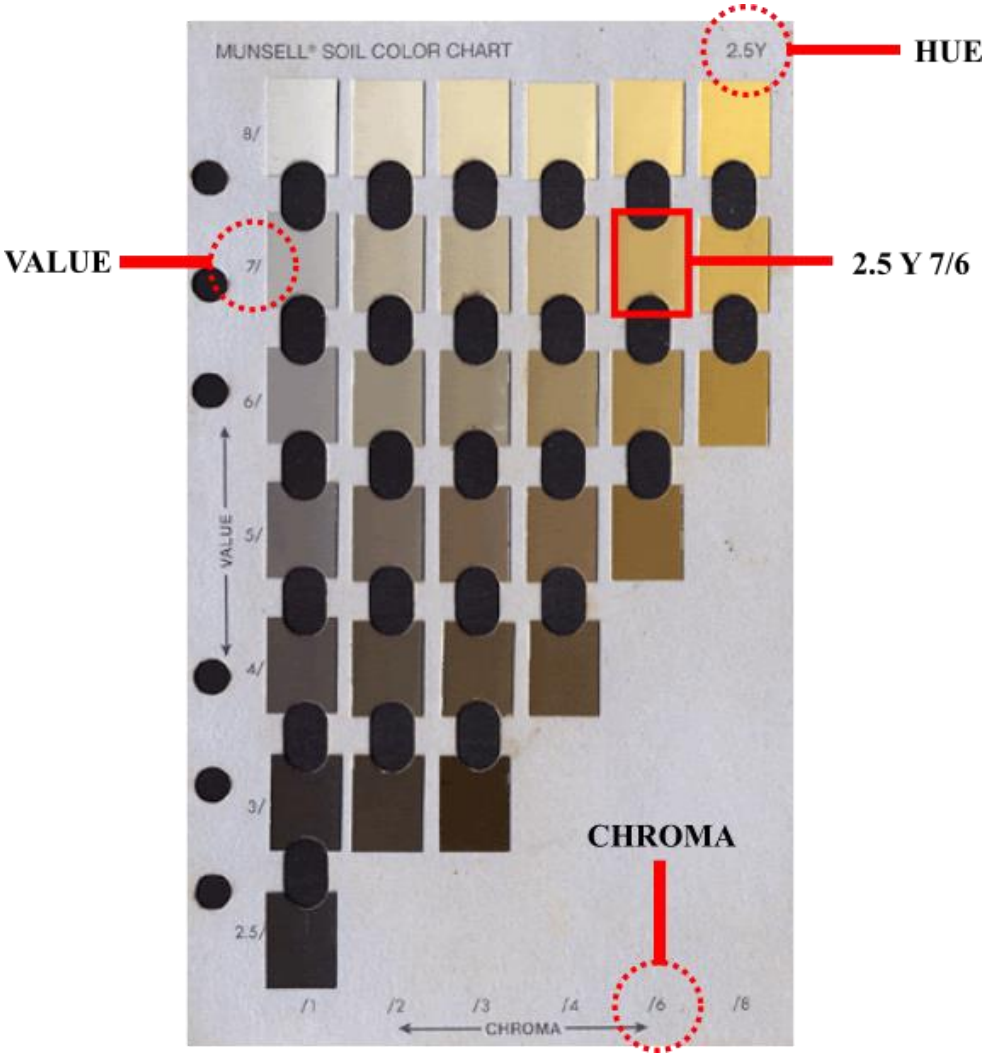


Figura 5. Partes de una carta de colores Munsell. Se ejemplifica cómo debe registrarse el color del suelo, considerando el *hue*, el *value* y el *chroma*.

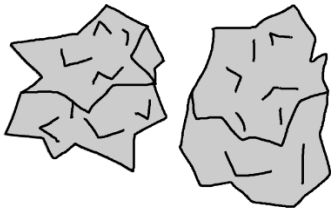
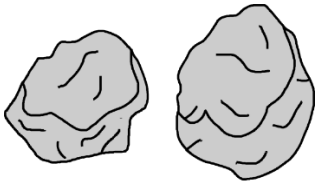
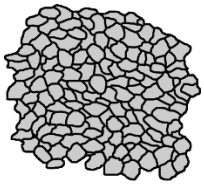
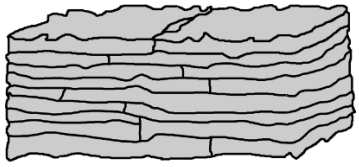
Estructura

La estructura del suelo refleja la disposición de las partículas en agregados, resultado de los procesos edafogenéticos. Se describe en términos del grado de desarrollo (**Cuadro 14**), tipo (**Cuadro 15**) y tamaño. El grado de desarrollo se asociada a la naturalidad del arreglo entre los agregados, mientras que el tipo y tamaño a la geometría dominante en los agregados individuales.

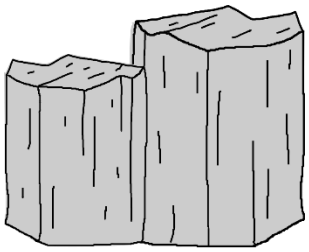
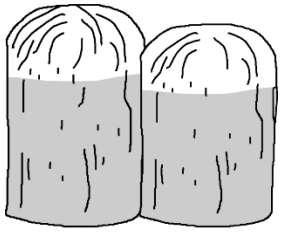
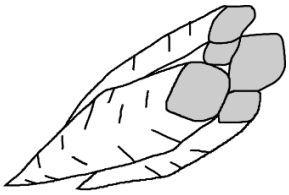
Cuadro 13. Clasificación del grado de desarrollo de la estructura (FAO, 2009).

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

Cuadro 14. Estructura del suelo. Modificado de FAO (2009).

Estructura	Descripción
 BLOQUES ANGULARES	Bloques o poliedros casi equidimensionales, con superficies planas o ligeramente redondeadas, que son moldes de caras de los agregados vecinos, con caras intersecando a ángulos relativamente agudos.
 BLOQUES SUBANGULARES	Bloques o poliedros casi equidimensionales, con superficies planas o ligeramente redondeadas, que son moldes de caras de los agregados vecinos, con las caras intersectando a ángulos redondeados.
 GRANULAR	Esferoides o poliedros que tienen superficies curvilíneas o irregulares, que no son moldes de las caras de los agregados vecinos.
 LAMINAR	Planos con dimensiones verticales limitadas, generalmente orientadas sobre un plano horizontal y usualmente sobrepuestos.

Cuadro 14. Estructura del suelo. Modificado de FAO (2009). *Continuación.*

 **PRISMÁTICA**	Las dimensiones están limitadas en el plano horizontal y extendido a lo largo del plano vertical. Las caras verticales están bien definidas, con superficies planas o ligeramente redondeadas que son moldes de las caras de los agregados circundantes. Las caras intersectan normalmente a los ángulos relativamente agudos.
 **COLUMNAR**	Estructuras prismáticas que tienen una cubierta o casquete redondeado.
 **CUNEIFORME**	Lentes elípticos unidos que terminan en ángulos afilados, confinados por caras de fricción.

Estabilidad de agregados

La estabilidad de los agregados determina la penetrabilidad de las raíces y la resistencia a la destrucción y, consecuentemente, a su erosión. En campo la estabilidad de agregados se evalúa depositando aproximadamente **diez** agregados de diámetros entre 3 y 10 mm, en una cápsula de porcelana y saturándolos con agua. Tras rotarlos suavemente durante 30 segundos, se evalúa el grado de descomposición de los agregados (**Cuadro 15**).

Cuadro 15. Evaluación de la estabilidad de los agregados. Tomando de Siebe *et al*., 2016.

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

Porosidad

La porosidad del suelo incluye cavidades, canales, vesículas y fisuras. Todos ellos de importancia para el drenaje y aireación del suelo. Dicha porosidad debe describirse, cuando menos, en términos de abundancia y tamaño (**Figura 6**). Aunque también es posible describir su distribución (dentro o fuera de agregados) y su forma (**Figura 7**). Para observar con detenimiento la porosidad del suelo se recomienda el uso de una lupa.

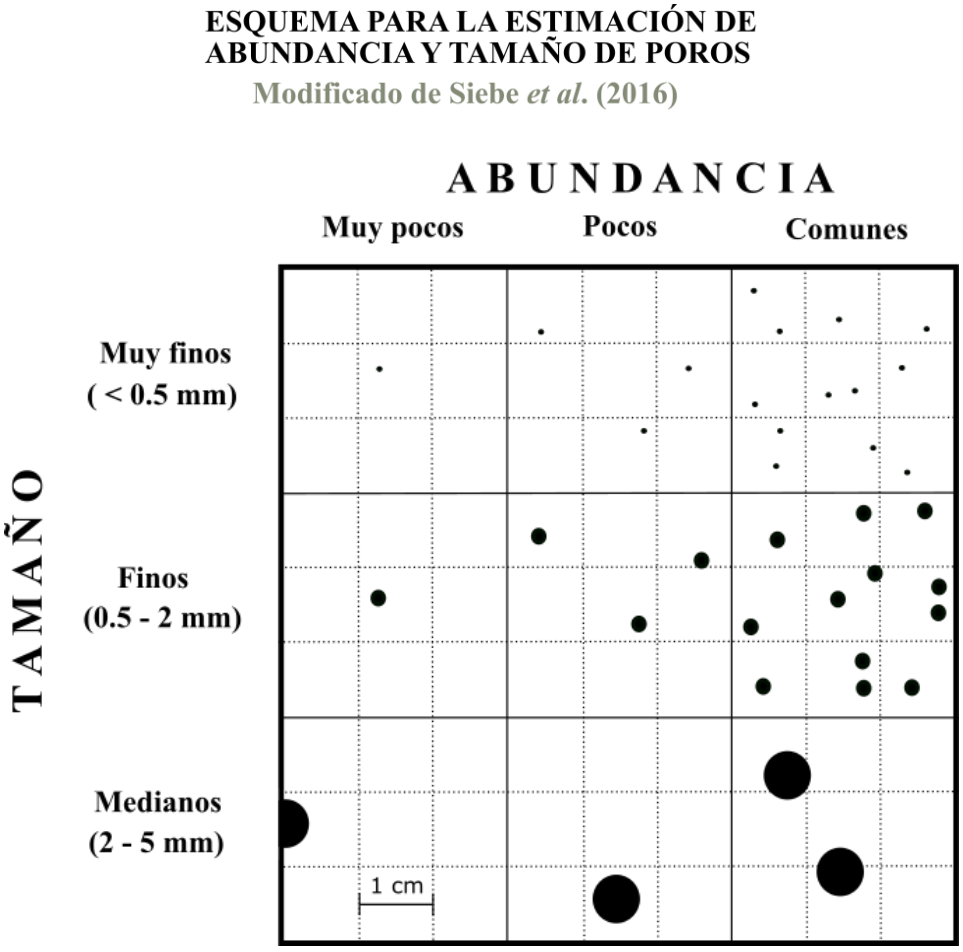


Figura 6. Esquema para la estimación de poros, tomando en cuenta su abundancia y tamaño. Cada cuadrado menor representa 1 cm^2. Modificado de Siebe *et al*. (2016).

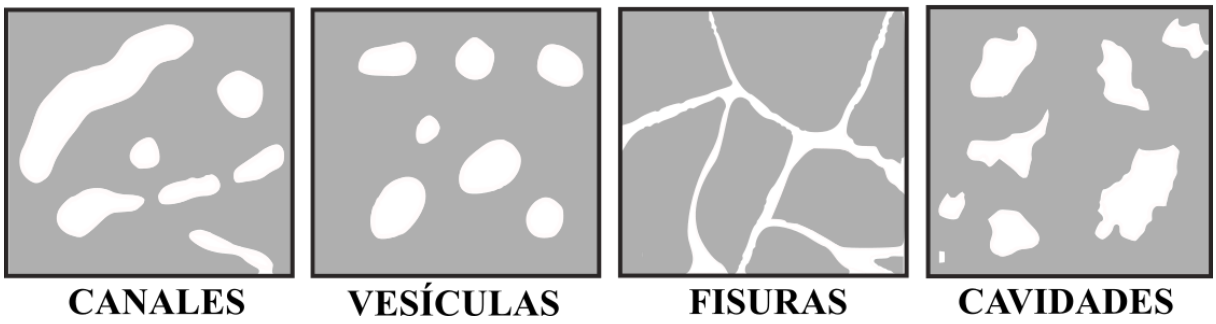


Figura 7. Clasificación de los poros del suelo por su forma. Modificado de Morrás (2014). Canales (**CN**), Vesícula (**VS**), Fisuras (**FS**) y Cavidades (**CV**).

Densidad aparente

La densidad aparente es un criterio importante para la evaluación hídrica y de nutrientes. En campo, puede ser determinada de manera semicuantitativa, tomando en cuenta la penetrabilidad del perfil de suelo con ayuda de un cuchillo y datos de la textura del suelo (**Cuadro 16**).

Cuadro 16. Evaluación de la densidad aparente. Tomado de Siebe *et al*. (2016).

Características (válido para suelos secos)	**Densidad aparente [g/cm^3]**			
	Arenas y limos	**Francos**	**Arcillosos**	**Evaluación**
El cuchillo sólo se puede introducir bajo fuerzas mayores, la muestra casi no se desmorona.	**>1.9**	**> 1.8**	**>1.6**	**ALTA**
El cuchillo sólo se introduce con dificultad 1 a 2 cm en el suelo, la muestra se desmorona en pocos fragmentos que sólo se pueden partir con dificultad.	**1.8**	**1.6**	**1.4**	**MEDIA**
El cuchillo se puede introducir en el suelo con poco esfuerzo, la muestra se desmorona en pocos fragmentos, los cuales pueden ser partidos en fragmentos más pequeños con la mano.	**1.6**	**1.4**	**1.2**	
Al presionar suavemente, el suelo se desmorona en muchos fragmentos.	**1.4**	**1.2**	**1.0**	**BAJA**
La muestra se desmorona totalmente al tomarla, se ven muchos poros gruesos y muy gruesos.	**1.2**	**<1.0**	**-**	

Carbonatos

Los carbonados en los suelos se encuentran de forma residual del material parental (calcárico) o como resultado de la neoformación *in situ* (cálcico). La presencia de carbonato de calcio ($CaCO_3$) se expresa a través de la adición de gotas de HCl (ácido clorhídrico) al 10%. El grado de efervescencia, derivado de la liberación de CO_2 está relacionado con la cantidad de carbonato de calcio presente. Las clases para la reacción de carbonatos en el suelo se definen con relación al **Cuadro 17**.

Cuadro 17. Clasificación de la reacción del carbonato de calcio. Modificado de FAO (2009).

Código	%	Descripción	Criterio
N	0	Sin presencia	Sin efervescencia
SL	0.1 - 2	Presencia ligera	Se escucha la efervescencia, pero no es visible
MO	2.1 - 10	Presencia moderada	Efervescencia visible
ST	10.1 - 25	Presencia alta	Efervescencia fuertemente visible
EX	> 25	Presencia muy alta	Reacción extremadamente fuerte

Revestimientos

Los revestimientos en el suelo se describen de acuerdo con su tipo (**Cuadro 18)**, cantidad (**Cuadro 19**) y localización (dentro o fuera de los agregados).

Cuadro 18. Clasificación de los tipos de revestimientos. Modificado de FAO (2009).

Código	Tipo
A	Arcilla
H	Humus
CC	Carbonatos de Calcio
S	Arena
M	Manganeso

Cuadro 19. Clasificación de la cantidad de revestimientos. Modificado de FAO (2009).

Código	Cantidad	%
N	Ninguno	0
P	Pocos	0 - 5
C	Comunes	5.1- 40
A	Abundantes	40.5 - 80
D	Dominantes	>80

Repelencia al agua

El grado de repelencia al agua (hidrofobicidad) se determina a través de la aplicación de tres gotas de agua sobre una parte relativamente plana de la superficie del terreno y la cuantificación del tiempo necesario para penetrar dicha superficie del terreno. Este método es conocido como *Water Drop Penetration Time* (WDPT) (Van't Woudt, 1959; Letey *et al*., 2000). El promedio del tiempo requerido para que dichas gotas permeen en el suelo se asocia según el **Cuadro 20**.

Cuadro 20. Grados de repelencia al agua. Adaptado de Mataix-Solera *et al*. (2014).

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

Fragmentos Gruesos

Los fragmentos gruesos en el perfil del suelo se deberán registrar por horizonte, de acuerdo con su porcentaje relativo entre éstos y la tierra fina (arenas, limos y arcillas).

PARTE III. DESIGNACIÓN DE HORIZONTES Y CLASIFICACIÓN

Designación de horizontes

La designación de horizontes incluye un prefijo numérico, un horizonte genético con letra mayúscula, un sufijo con letra minúscula y si es necesario, una subdivisión numérica.

Prefijo numérico

En suelos minerales los números arábigos se usan como prefijos para indicar que un suelo no se ha formado completamente en un mismo tipo de material, es decir, existe una discontinuidad en el material parental. Una discontinuidad se reconoce por un cambio significativo en la distribución del tamaño de partículas o conjunto de minerales.

Cuando se identifica una discontinuidad, la numeración del prefijo comienza en el material subyacente al depósito superficial y se designa añadiendo el prefijo "**2**" a los horizontes y capas que se forman en el material subyacente a la discontinuidad. Si se encuentra otra discontinuidad debajo del material con el prefijo "2", los horizontes y capas formados en el tercer material se designan con el prefijo "3". Por ejemplo: Ap, Bt1, 2Bt2, 2Bt3, 3BC. No hay un número definido máximo de discontinuidades.

Horizonte genético

La designación de horizontes debe seguir las indicaciones del **Cuadro 22**.

Cuadro 22. Horizontes genéticos. Tomado de FAO (2009).

Código	Descripción
Horizontes orgánicos	
H	Horizonte formado a partir de la acumulación en la superficie del suelo de materiales orgánicos. Están saturados con agua por periodos prolongados, o lo estuvieron y ahora son drenados artificialmente. Comunes en suelos pantanosos.
O	Horizonte dominado por la acumulación de material orgánico sobre la superficie. Los horizontes O no están saturados con agua por periodos prolongados. Comunes en suelos forestales.

Cuadro 22. Horizontes genéticos. Tomado de FAO (2009). *Continuación.*

Horizontes minerales	
A	Horizonte superficial o subsuperficial con acumulación de materia orgánica, usualmente de colores más negruzcos y/o con menor contenido de arcilla que los horizontes subyacentes.
E	Horizonte subsuperficial caracterizado por la pérdida de arcilla, hierro, aluminio o alguna combinación de estos; usualmente de colores más claros que el color de los horizontes suprayacentes A y subyacentes B.
B	Horizonte mineral caracterizado por una o más de las siguientes: una concentración de arcilla, hierro, aluminio o una combinación de estos; una mejor estructuración edáfica que los horizontes subyacentes y suprayacentes; colores más fuertes (croma alto y/o matiz rojizo) que los horizontes suprayacentes y subyacentes.
C	Material consolidado o no consolidado, usualmente intemperizado químicamente, muy poco afectado por procesos edafogenéticos.
R	Duro y fuertemente cementado. Lecho rocoso, que no puede ser penetrado por el cuchillo edáfico.

Horizontes de transición

Los horizontes genéticos de transición tienen características tanto de horizonte suprayacente como del subyacente, pero se parece más al horizonte que se designa primero, por ejemplo, AE, AB, AC, EA, EB, BA, BE, BC, CA, CB.

Los horizontes en los que las partes distintas tienen propiedades reconocibles de dos tipos de horizontes mayores se indican como en los casos anteriores, pero las dos letras mayúsculas se encuentran separadas por una diagonal (/), en el que el primer componente del horizonte designado es dominante y rodea el material del segundo horizonte, por ejemplo, A/B, A/E, A/C, E/A, E/B, B/A, B/E, B/C, C/A, C/B.

Sufijo

Se escriben los sufijos en letras minúsculas para designar los tipos específicos de horizontes genéticos, si es necesario, por ejemplo: Ap, Bw, Bt, Btk, Cg. Los sufijos se describen en el **Cuadro 23**. El sufijo ‘b’ se usará sólo cuando un suelo esté sepultado, siempre y cuando esté claramente

expresado. El sufijo ‘w’ se utilizará únicamente en los horizontes genéticos B que presentan un cambio de color y/o estructura, y es incompatible en combinación con cualquier otro sufijo, con excepción del sufijo ‘b’.

Cuadro 23. Sufijos. Tomado de FAO (2009).

Sufijo	Descripción	Usado para
a	Material orgánico altamente descompuesto	Horizontes orgánicos
b	Horizonte genético enterrado	Horizontes minerales
c	Concreciones o nódulos	Horizontes minerales
d	Capa y horizonte denso	Horizontes minerales, no con m
e	Material orgánico moderadamente descompuesto	Horizontes orgánicos
g	Condiciones estágnicas	Sin restricción
h	Acumulación de materia orgánica	Horizontes minerales
i	Superficies de deslizamiento	Horizontes minerales
i	Materia orgánica ligeramente descompuesta	Horizontes orgánicos
j	Acumulación de jarosita	Sin restricción
k	Acumulación de carbonatos edafogenéticos	Sin restricción
l	Franja capilar de moteados (gleyzación)	Sin restricción
m	Fuerte cementación o endurecimiento	Horizontes minerales
n	Acumulación de sodio intercambiable	Sin restricción
o	Acumulación residual de sesquióxidos	Sin restricción
p	Labranza u otra acción humana	Sin restricción. E, B, C como Ap
q	Acumulación de sílice edafogenética	Sin restricción
r	Fuerte reducción	Sin restricción
s	Acumulación iluvial de sesquióxidos	Horizontes B
t	Acumulación iluvial de arcilla silicatada	Horizontes B y C
u	Materiales urbanos y otros antrópicos	Horizontes H, O, A, E, B y C
v	Ocurrencia de plintita	Sin restricción
w	Desarrollo de color o estructura	Horizontes B
x	Características de fragipán	Sin restricción
y	Acumulación edafogenética de yeso	Sin restricción
z	Acumulación edafogenética de sales más solubles que el yeso	Sin restricción

Subdivisiones numéricas

Cuando dos horizontes o más presentan la misma combinación de letras, pero particularidades individuales que los diferencian entre sí, como un cambio de color o de textura, se utilizarán las subdivisiones numéricas en forma de sufijos. Por ejemplo, Bt1, Bt2.

Horizontes orgánicos

Sobre los suelos se puede observar un comportamiento con residuos orgánicos en diferentes grados de descomposición, los cuales van desde aquellos que se acumulan en superficie y se estratifican de acuerdo con lo avanzado de su descomposición (horizonte O, o mantillo) hasta aquellos que están limitados por saturación hídrica (horizonte H). Particularmente, en sistemas forestales los rasgos físicos (profundidad, grado de alteración, color, etcétera), químicos (pH, concentración de C, N, P, etcétera) y biológicos (actividad microbiana), dependen de las condiciones ambientales y del origen de los residuos orgánicos.

El estudio de los horizontes orgánicos nos ayuda a interpretar los ciclos biogeoquímicos del C, N y P, y a identificar los procesos por los cuales se habrán de enriquecer los horizontes minerales, y con ello, dar origen a la Materia Orgánica del Suelo (MOS). Con ayuda de un cuadro de 10 x 10 cm se determina el tipo de horizonte orgánico a partir de sus rasgos, particularmente, profundidad, estratificación, identidad del material, humedad y presencia de actividad microbiana, según los criterios de suelos forestales:

Horizonte Oi (mantillo): Se caracteriza por la acumulación de hojas/acículas, frutos, pequeñas ramas y trozos de corteza. Su morfología y origen son fácilmente reconocibles.

Horizonte Oe (fragmentado y/o fermentado): Los restos vegetales se encuentran fragmentados debido a la actividad de la fauna del suelo. Su procedencia es reconocible y suele estar más húmedo que el horizonte Oi. La descomposición lenta de este horizonte se caracteriza por la presencia de hifas, así como heces de la fauna detritívora.

Horizonte Oa (humificación): Es un horizonte orgánico caracterizado por la acumulación de materia orgánica descompuesta. Su morfología y procedencia es imposible de identificar. Posee un color oscuro por una humificación más avanzada debido a la acción de los microorganismos del suelo.

Clasificación de suelos

La clasificación de suelos WRB (2015) se basa en particularidades del suelo definidas en términos de horizontes, propiedades y materiales de diagnóstico. Dichas particularidades tienen en cuenta su relación con los procesos formadores del suelo. La arquitectura de la WRB (2015) comprende dos niveles de detalle categórico:

I. El primer nivel tiene 32 Grupos de Suelo de Referencia (GSR); y
II. El segundo nivel consiste en el nombre de GSR combinado con un conjunto de calificadores principales y suplementarios.

Para facilitar el uso de la WRB (2015) se sugiere seguir los siguientes **cinco pasos** para la clasificación de suelos:

1. Determinación de horizontes[1], propiedades y materiales de diagnóstico

Los horizontes y propiedades de diagnóstico se caracterizan por una combinación de atributos resultado de los procesos formadores del suelo, que pueden observarse y medirse ya sea en campo o en laboratorio. Además, los horizontes de diagnóstico requieren de un espesor específico. Los materiales de diagnóstico, por su parte, son componentes que influyen significativamente en los procesos edafogenéticos o son indicativos de ellos. No existe un máximo de horizontes, propiedades o materiales de diagnóstico para los suelos (ver Capítulo 3. WRB, 2015).

2. Determinación del Grupo de Suelo de Referencia

La combinación de horizontes, propiedades y materiales de diagnóstico se compara con la Guía WRB (ver Capítulo 4. WRB, 2015), a fin de asignar al suelo el Grupo de Suelo de Referencia apropiado. Para ello, es necesario ir a través de la Guía de manera sistematizada, comenzando por el primer GSR jerarquizado (Histosol, para WRB 2015) e ir excluyendo uno por uno los GSR para los cuales no se cumplen los requisitos especificados. El suelo, entonces, pertenece al primer GSR para el cual cumple los criterios.

[1] Algunos GSR como Arenosols, Fluvisols y Regosols carecen de horizonte de diagnóstico.

3. Determinación de los Calificadores principales

Los Calificadores principales disponibles para cada GSR específico se enlistan en la Guía WRB, junto a cada GSR. Los calificadores principales son jerárquicos y se presentan en orden de importancia. Es decir, cuanto más arriba estén enlistados para cada GSR, mayor será su relevancia en la clasificación para dicho GSR.

4. Determinación de los Calificadores suplementarios

Los Calificadores suplementarios disponibles para cada GSR específico se enlistan en la Guía WRB, junto a cada GSR. Los calificadores suplementarios no son jerárquicos, pero se utilizan, por conveniencia, en orden alfabético.

5. Clasificación de Suelos WRB (2015)

Los calificadores principales se añaden antes que el nombre del GRS, sin paréntesis y sin comas. La secuencia es de derecha a izquierda, es decir, el calificador principal más alto en la lista se coloca más cerca del GSR. Los calificadores suplementarios se añaden después del GRS, entre paréntesis y separados uno del otro por comas. La secuencia es de izquierda a derecha, es decir, el primer calificador, en orden alfabético, se coloca más cerca del GSR. Algunos calificadores se presentan separados por una diagonal "/", y representa exclusión mutua entre calificadores.

Sólo es posible utilizar un GSR. Sin embargo, se pueden añadir tantos calificadores principales y suplementarios como sean necesarios, cuidando evitar redundancias. Por ejemplo, si aplica el calificador Calcaric (que contiene material calcárico), no es necesario agregar el calificador Eutric (saturación de bases efectivas intercambiables ≥ 50%).

Ejemplo simplificado de la clasificación de un suelo según WRB (2015)

Datos de campo: un suelo desarrollado a partir de loess tiene un marcado aumento de arcilla a los 60 cm de profundidad con cutanes de arcilla. Presenta un pH cercano a 6.0 entre los 50 y 100 cm de profundidad. El suelo superficial se divide en un horizonte oscuro y otro inferior más claro,

seguido por el horizonte enriquecido en arcillas, mismo que presenta moteados en los agregados característicos de condiciones reductoras.

Albic Stagnic* Luvisol *(Cutanic, Differentic)

Explicación: el suelo presenta un incremento de arcilla (calificador *Differentic*) en uno de los horizontes subsuperficiales el cual, además, tiene cutanes de arcilla (calificador *Cutanic*), por lo que da pie a la existencia de un horizonte de diagnóstico árgico. Dicho horizonte árgico, de alta CIC y alta saturación de bases (inferido por pH = 6) cumple los requisitos para el GSR **Luvisol**. El suelo manifiesta un horizonte subsuperficial de color claro (calificador *Albic*) y algunos moteados (calificador *Stagnic*).

PARTE IV. EVALUACIÓN DE SUELOS

Evaluación hidroedafológica

Conductividad hidráulica

La infiltración es la acción por la cual el agua fluye a través del suelo o de cualquier material poroso (Elrick & Reynolds, 1992). Esta propiedad da cuenta de si se producirá un escurrimiento superficial cuando la precipitación sobrepase la conductividad hidráulica del suelo, generalmente durante los eventos de lluvia más intensos. Se puede ver fuertemente influida por la textura y estructura del suelo, su contenido de humedad, la densidad aparente, el contenido de materia orgánica del suelo, la compactación y la historia de manejo que haya tenido el terreno (Marín-Castro *et al*., 2016). Caracterizar la infiltración es importante para conocer qué tan erodable será un terreno, o su potencial como reservorio hídrico.

La conductividad hidráulica se debe estimar para el horizonte superficial y el limitante, con apoyo del **Cuadro 24**. Aunque no es muy posible, puede ser que el horizonte mineral superficial sea el horizonte limitante. En este caso, la conductividad del horizonte superficial se indicará también como la del horizonte limitante (o capa límite).

Cuadro 24. Clases de conductividad hidráulica. Adaptado de Gupta *et al*. (2020).

Conductividad Hidráulica	
Muy baja	Textura franca, arcillo arenosa o franco limosa
Baja	Textura franco arcillosa, arcillo arenosa, limosa o franco arcillo limosa
Moderada	Textura arcillosa, areno francosa o franco arenosa
Alta	Textura arenosa o arcillo limosa

Modificadores: La conductividad hidráulica del suelo se puede modificar por el grado de estructura y la repelencia al agua, de acuerdo con el **Cuadro 25**. Al menionarse “Baja/Sube *n* clase(s)”, se debe aumentar o disminuir dicha cantidad toda vez que se esté aún dentro de los límites de clases. Si se cumple con más de un modificador se usa el criterio que primero aparezca.

Cuadro 25. Modificadores de las clases de conductividad hidráulica.

Modificaciones a la Conductividad Hidráulica	
Baja dos clases (-2)	• Repelencia al agua fuerte • Fragmentos gruesos mayores a 80%
Baja una clase (-1)	• Repelencia al agua moderada • Estructura masiva o sin estructura • Fragmentos gruesos mayores a 40%
Sin modificación (0)	• Repelencia al agua ligera o nula • Grados de estructura D y M
Sube una clase (+1)	• Grado de estructura F con estructura granular, migajosa o en bloques subangulares

D: débil, M: media, F: fuerte (ver **Cuadro 13**).

Profundidad efectiva del suelo

Las clases de profundidad del suelo se definen como la profundidad desde la superficie del suelo hasta el límite superior de una capa que restringe el crecimiento de las raíces. En la Hoja de evaluación se registrará la profundidad a la que se encuentra (en caso de hacerlo) la capa restrictiva. Las capas restrictivas incluyen:

- Roca continua;
- Texturas arcillo limosa, arcillosa o arcillo arenosa sin estructura o masivas;
- Horizontes B con texturas arcillo limosa, arcillosa o arcillo arenosa, con un gradiente textural B/A >2;
- Presencia excesiva de fragmentos gruesos (mayor al 30% en volumen);
- Horizontes endurecidos (p. ej. Petrodúrico, petrocálcico).

Evaluación del almacén de materia orgánica

Forma del Humus o Mantillo

Con base en los criterios mencionados en el apartado de Horizontes Orgánicos (ver Parte III), se puede clasificar al humus o mantillo a partir de la estratificación de estos, e inferir la posible relación C/N (**Cuadro 26**).

Cuadro 26. Estimación de MO en suelos con diferentes formas de humus. Tomado de Siebe *et al.* (2006) y Blum *et al.* (2018).

Forma de humus	Conjunto de horizontes orgánicos	Relación C/N	Composición
Moder	Oi-Oe-Oa (2-8 cm)	18.1 – 29	Hojarasca de descomposición lenta, alta humedad, baja temperatura
Mor	Oi-Oe-Oa (>8 cm)	≥ 29	Hojarasca de descomposición lenta o baja actividad de organismos
Mull	Oi-Oe Oi (1-3 cm)	10 – 18	Hojarasca de descomposición rápida
Mull Degradado	Oi-Oe-Oa Oi (< 1 cm)	10 – 18	Hojarasca de descomposición rápida

*Nota: Mull Degradado se aplica a suelos erosionados o de agrícolas.

Materia orgánica en el suelo mineral

La estimación del porcentaje de materia orgánica en el suelo mineral se determinará en **horizontes A o aquellos transicionales que contengan un horizonte A, por ejemplo, AB o BA**, haciendo uso de la textura y color del suelo por horizontes. Para ello, se hará uso del **Cuadro 26**. Se debe promediar, cuando sea posible, los valores en seco y húmedo de las muestras por horizonte. De no ser posible, se tomarán los valores para la muestra en húmedo. De existir más de un horizonte A o en el perfil, o más de un horizonte transicional A, se hará un promedio.

Cuadro 27. Estimación del contenido de materia orgánica basado en el color del suelo del Cuadro Munsell y clase textural. Adaptado de FAO (2009). Para las clases texturales revisar el **Cuadro 13** y la **Figura 4**.

Muestra	Clases texturales	Valor en Tablas Munsell										
		Gris claro		Gris			Gris oscuro		Gris negro		Negro	
		7	6.5	6	5.5	5	4.5	4	3.5	3	2.5	2
		MOS (%)										
En húmedo	A	-	-	-	-	0.2	0.4	0.7	1.2	2.7	4.5	7.0
	AF, FA, F	-	-	-	-	0.3	0.5	0.8	1.5	3.0	5.0	-
	Otras	-	-	-	0.2	0.4	0.7	1.2	2.2	4.0	6.0	-
En seco	A	0.4	0.4	0.8	1.2	1.7	2.5	4.0	6.5	10.0	13.0	-
	AF, FA, F	0.4	0.6	1.0	1.6	3.0	5.0	7.5	12.0	16.0	-	-
	Otras	0.5	0.9	1.6	3.5	5.0	7.5	12.0	16.0	-	-	-

Almacén de materia orgánica

La materia orgánica del suelo (MOS) se refiere a todo el material de origen vegetal y microbiano que esté parcialmente descompuesto y sin descomposición (FAO, 2009). Es un factor formador del sistema edáfico y su evolución durante la edafogénesis determinará procesos físicos, químicos y biológicos del suelo (Aguilera, 2000).

El almacén de materia orgánica del suelo se determina con base en la concentración de carbono orgánico almacenado por unidad de área en un perfil de suelo. En esta estimación se utilizarán por horizonte los parámetros de densidad aparente, espesor y el porcentaje de fragmentos gruesos. Para ello se debe determinar por horizonte el contenido de materia orgánica por unidad de área del suelo de acuerdo con la siguiente fórmula (Siebe *et al*., 2006):

$$M_h = \frac{COS_{\%}}{100} \cdot \frac{100 - FG_{\%}}{100} \cdot H \cdot da \cdot 10$$

Donde:

M_h = Materia orgánica de un determinado horizonte [kg/m²]

$COS_{\%}$ = Porcentaje de carbono orgánico en el horizonte [%]

$FG_{\%}$ = Porcentaje de fragmentos gruesos en el horizonte [%]

H = Espesor del horizonte [cm]

da = Densidad aparente del horizonte [g/cm³, kg/dm³]

Una vez determinados los contenidos de materia orgánica por horizonte se procede a calcular el almacén por perfil de suelo a 100 cm. Si el espesor del horizonte a los 100 cm tiene una profundidad mayor, se considerará H de la fórmula de carbono orgánico por horizonte como el espesor requerido para completar la profundidad de un metro.

$$M_S = \sum_{h=1}^{h_{1m}} M_h$$

Dónde:

M_S = Materia orgánica del suelo [kg/m²]

M_h = Materia orgánica de un determinado horizonte [kg/m²]

h = número de horizonte

h_{1m} = horizonte ajustado a un metro de profundidad

Se deberá determinar la capacidad de almacén de materia orgánica según el resultado obtenido en la sumatoria para *Almacén de materia orgánica* y el Grupo de Referencia del Suelo (**Cuadro 28**).

Cuadro 28. Capacidad de almacén de materia orgánica por GRS. Adaptado de Robert (2002).

Capacidad de almacén de materia orgánica			
GRS	**Baja**	**Media**	**Alta**
	$kg \cdot m^{-2}$		
Leptosols*	< 3	3-13	> 13
Vertisols	< 11	11-20	> 20
Andosols	< 11	11- 25	> 26
Podzols	< 24	24-30	> 30
Nitisols	< 8	8-15	> 15
Ferralsols	< 10	10-15	> 15
Chernozems	< 12	12-20	> 20
Gypsisols	< 3	3- 8	> 8
Calcisols	< 4	4-10	> 10
Cambisols	< 4	4-12	> 12
Otros GSR	< 5	5-15	> 15

Evaluación de la memoria edáfica

El suelo tiene la capacidad de registrar, transformar y almacenar información sobre los factores y procesos que lo han estructurado. Esta capacidad es definida como la memoria edáfica (Targulian y Goryachkin, 2004) la cual guarda un registro de las condiciones de formación. Así como se puede evaluar la memoria en las propiedades edafogenéticas (textura, estructura, mineralogía, macro y micromorfología, entre otras), también se puede evaluar la litomemoria (mineralogía, estructura, textura y morfología del material parental). Ésta es heredada al edafosistema y, a medida que avanza la edafogénesis, es gradualmente borrada, transformada o sustituida por nuevos productos (Targulian y Bronnikova, 2019).

Tiempo de formación

El tiempo de edafogénesis es, quizá, uno de los más difíciles de determinar, porque depende de múltiples condiciones que direccionan la velocidad de los procesos. Targulian y Krasilnikov (2007) establecen los tiempos característicos de diversos procesos edafogenéticos, que van de procesos rápidos a lentos (Cuadro 29). Con esta información es posible evaluar el tiempo de formación del suelo de acuerdo con el tipo de procesos edafogenéticos presentes. Si un suelo presenta rasgos de procesos edafogenéticos de distintos tiempos característicos se toma aquel de mayor tiempo requerido.

Cuadro 29. Tipos de tiempos de formación de procesos edafogenéticos. Modificado de Targulian y Krasilnikov (2007).

Tiempo de formación		
Rápido	Formación de mantillo	$10^1 – 10^2$ años
	Gleyzación	
	Stagnización	
	Salinización	
	Brumificación	
	Crioturbación	
	Bioturbación	
	Compactación	
Intermedio	Humificación	10^3 años
	Andosolización	
	Cementación con Si	
	Migración de carbonatos	
	Migración de arcillas	
Lento	Ferralitización	$10^4 – 10^6$ años
	Alitización	
	Petrocementación	
	Saprolitización profunda	

Capacidad de memoria edáfica

No todas las propiedades del suelo constituyen la memoria edáfica, debido a su poca estabilidad. Es por ello que en la evaluación se consideran aquellas propiedades que cambian poco con el tiempo. El potencial de almacenamiento puede ser evaluado de acuerdo con la siguiente lista de tipo de residuos en la fase sólida:

- Estructura media o alta del suelo
- Presencia de nódulos de Fe-Mn
- Presencia de minerales secundarios (v.g. carbonatos, yeso, tipo de arcilla, etc.)
- Presencia de cutanes de arcilla
- Presencia de un horizonte rico en humus H, O ó Ah

Cuadro 30. Clases de potencial de almacenamiento de información.

Capacidad de memoria edáfica	
Baja	Menos de 2 tipos de residuos
Moderada	2 o 3 tipos de residuos
Alta	Más de 3 tipos de residuos, o restos arqueológicos o paleontológicos

PARTE V: INTERPRETACIÓN DEL PERFIL DE SUELO

Para un correcto y rápido análisis de las interpretaciones del perfil de suelo se debe comenzar por la columna derecha de cada Cuadro, leyendo de abajo hacia arriba cada columna, revisando los criterios. Si un factor de la columna derecha aplica, se marca la Clase 3. Si ningún factor de la Clase 3 aplica, se debe revisar de igual forma la columna central. Si un factor de la columna central aplica, se marca la Clase 2. Si ningún factor de la Clase 2 aplica, entonces se marca la Clase 1. Nota: sólo aplica una Clase para cada perfil de suelo.

Uso potencial para pago por servicios ambientales

Factores	Idoneidad		
	Clase 1 Óptima	**Clase 2 Idónea**	**Clase 3 Inadecuada**
Capacidad de almacenamiento de materia orgánica	Media	Baja	Alta
Relación C/N en el mantillo	< 29	≥ 29	No hay mantillo
Conductividad hidráulica de la capa superficial	Alta y Moderada	Baja	Muy baja
Conductividad hidráulica de la capa restrictiva	Sin capa restrictiva	Alta y Moderada	Baja y Muy baja
Grado de erosión	1 o sin erosión	2 y 3	4

Conservación

Factores	Idoneidad		
	Clase 1 Óptima	**Clase 2 Idónea**	**Clase 3 Inadecuada**
Conductividad hidráulica de la capa superficial	Alta o Moderada	Baja	Muy Baja
Capacidad de almacenamiento de Materia Orgánica	Alta	Media	Baja
Capacidad de Memoria Edáfica	Alta	Moderada	Baja
Tiempo de formación	Lento	Intermedio	Rápido
Grado de erosión	No hay erosión	1 y 2	3 y 4

Producción de alimentos para la Soberanía Alimentaria

Factores	Idoneidad		
	Clase 1 Óptima	**Clase 2 Idónea**	**Clase 3 Inadecuada**
Grado de erosión	No hay erosión	1	2, 3 y 4
Profundidad efectiva del suelo (cm)	> 100	100 - 50	< 50
Pendiente (°)	< 5	5 - 15	> 15
Tiempo de formación	Rápido	Intermedio	Lento
Densidad aparente del horizonte superficial mineral	Baja	Media	Alta

3ER CONCURSO MEXICANO DE EVALUACIÓN DE SUELOS

DESCRIPCIÓN

El perfil se localiza en la ladera baja de un piedemonte coluvial a 1772 msnm con una inclinación del terreno de 5.7° y una forma planocóncava. Clima semicálido subhúmedo, vegetación de bosque espinoso (mezquital) sobre rocas ígneas y se usa con fines agrícolas. En el suelo existen seis horizontes edáficos y no cuenta con la presencia de horizontes orgánicos. Además, a los 180 cm existe un suelo enterrado por coluviamiento, y también presenta carbonatos secundarios.

Ap **0 – 40 cm.** Color gris muy oscuro en húmedo (10YR 3/1), textura arcillosa y estructura en cuña y en bloques angulares que rompen a granular. Con grietas de expansión-contracción, pedregosidad del 10% y alta densidad de raíces. Sin reacción al HCl.

Bki **40 – 60 cm.** Color marrón grisáceo oscuro en húmedo (10YR 4/2), textura arcillosa, estructura en cuña y bloques angulares de tamaño mediano. Pedregosidad del 30%

Bk **60 – 135 cm.** Color marrón grisáceo oscuro en húmedo (10YR 4/2), textura arcillo limosa, estructura en bloques angulares que tiende a prismática con pedregosidad del 40% y algunas grietas de expansión-contracción. La matriz está cubierta por carbonatos secundarios, la reacción al HCl es fuerte y prolongada, tanto en la matriz como en los recubrimientos.

BCk **135 – 160 cm.** Color marrón grisáceo oscuro en húmedo (10YR 4/2), textura arcillo limosa, estructura en bloques subangulares, muy porosa con pedregosidad del 60% (rocas grandes) y algunas grietas de expansión-contracción. Carbonatos en la cara de los agregados y como recubrimientos en las rocas, la reacción al HCl es fuerte y prolongada.

CBk **160 – 180 cm.** Color marrón grisáceo en húmedo (10YR 5/2), textura arcillo limosa. Concreciones de carbonatos pequeñas, la reacción al HCl es fuerte y prolongada tanto en la matriz como en las concreciones. Pedregosidad del 80%

2Bk **180 – 200 cm.** Color pardo grisáceo oscuro en húmedo (10YR 4/2), textura arcillosa, estructura en bloques subangulares.

3ER CONCURSO MEXICANO DE EVALUACIÓN DE SUELOS

Perfil "Sixto", Jose Sixto Verduzco, Michoacán (México)

PARTE I. IDENTIFICACIÓN DEL SITIO Y FACTORES FORMADORES.

Clima	Uso del suelo	Vegetación	Posición en el terreno	Forma de la pendiente	Ángulo de inclinación	Material parental
Semicálido subhúmedo	Agricultura (A)	Mezquital (MZ)	Piedemonte Coluvial (PC)	Planocóncavo (SC)	5.7°	Roca ígnea (I)

PARTE II. DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO

Erosión superficial	Grado de erosión	Pedregosidad superficial	Fragmentos gruesos	Grietas superficiales	Tipo de grietas	Repelencia al agua
Sin evidencia (N)	No aplica	Pocos (P)	Piedras (S) y Cantos (B)	Medias (M)	Muy profunda (V)	Nula

PARTE II. DESCRIPCIÓN DEL PERFIL DE SUELO PARTE III. HORIZONTES

Límite			Textura			Color			Estructura		%	Poros			DA	CO_3	Rev	Horizonte			
cm	Dist	Top	Y %	A %	Clase	Hue	Val	Chr	Grado	Tipo	FG	Abund	Tam	Tipo				Pref	Letra	Suf	No
40	A	S	81.7	6.0	Y	10YR	3	1	F	CU/BA /BSA	10	C	F	CN	1.1	SL	N	-	A	p	-
60	C	O	81.4	7.7	Y	10YR	4	2	F	CU/BA	30	C	G	FS	1.2	ST	CC	-	B	ki	-
135	G	O	54.4	4.9	YL	10YR	4	2	F	BSA	40	C	G	FS	1.4	ST	CC	-	B	k	
160	C	O	51.5	3.6	YL	10YR	4	2	F	BSA	60	P	F	FS	1.4	ST	CC	-	BC	k	-
180	C	O	42.9	4.0	YL	10YR	5	2	M	BSA	80	MP	MF	FS	1.4	ST	CC	-	CB	k	-
200	-	-	62.7	4.7	Y	10YR	4	2	D	BSA	-	MP	MF	FS	1.6	ST	CC	2	B	k	-

PARTE III. CLASIFICACIÓN DE SUELOS (WRB, 2015)

CLASIFICACIÓN: Pellic Endocalcic Vertisol (Mollic, Endoskeletic)

Diagnóstico			GSR	Calificadores principales	Calificadores suplementarios
Horizontes	Propiedades	Materiales	Vertisol	Calcic	Mollic
Vértico	Grietas de expansión contracción	Colúvico		Pellic	Endoskeletic
Cálcico		Carbono orgánico			
Móllico					

PARTE IV. EVALUACIÓN DE SUELOS

Hidroedafología					Materia Orgánica						Memoria Edáfica			
Conductividad hidráulica			Profundidad efectiva (cm)		Estimación C/N		MO en horizontes minerales A (%)		Almacén de MO en perfil		Tiempo de formación		Capacidad	
	S	L	Muy Profunda (>150)		≥ 29		Bajo (< 0.4)		Baja	X	Rápido		Baja	
Muy Baja			Profunda (100 – 150)		18.1 – 29		Moderado (0.4 – 0.9)		Media		Intermedio	X	Moderada	X
Baja			Moderada (50 – 99)	X	10 – 18		Alto (1.0 – 3.0)		Alta		Lento		Alta	
Moderada	X	X	Somera (20 – 49)		10 – 18 D		Muy Alto (> 3.1)	X						
Alta			Muy somera (< 20)		NA	X								

PARTE V. INTERPRETACIÓN DEL PERFIL DE SUELO

Uso potencial para pago por servicios ambientales		Conservación		Producción de alimentos para la Soberanía Alimentaria	
Clase 1 (Óptima)		Clase 1 (Óptima)		Clase 1 (Óptima)	
Clase 2 (Idónea)		Clase 2 (Idónea)	X	Clase 2 (Idónea)	X
Clase 3 (Inadecuada)	X	Clase 3 (Inadecuada)		Clase 3 (Inadecuada)	

3ER CONCURSO MEXICANO DE EVALUACIÓN DE SUELOS
MORFOLOGÍA

Ap

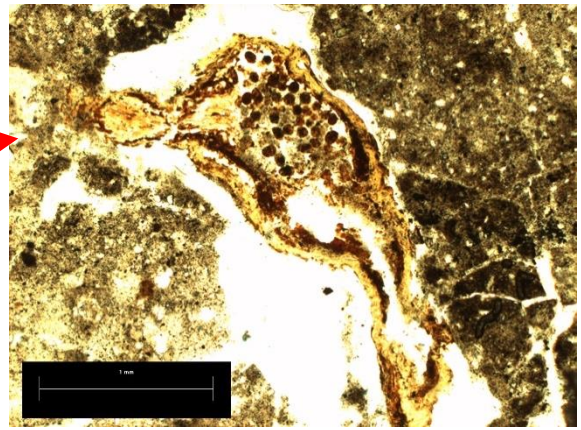
Bki

Bk

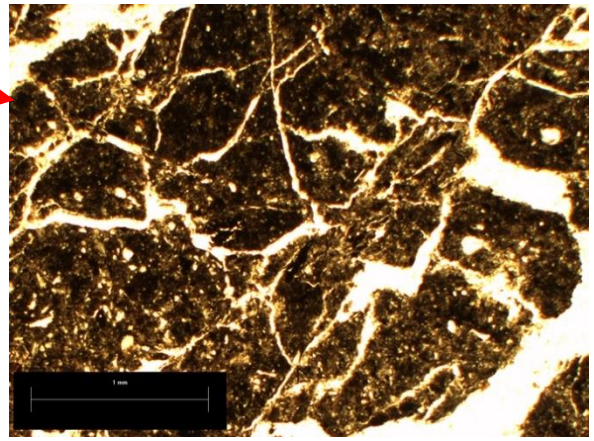
BCk

CBk

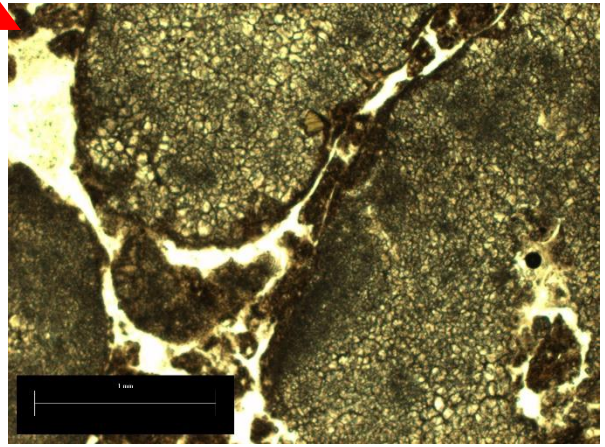
2Bk



Resto vegetal con coprolitos

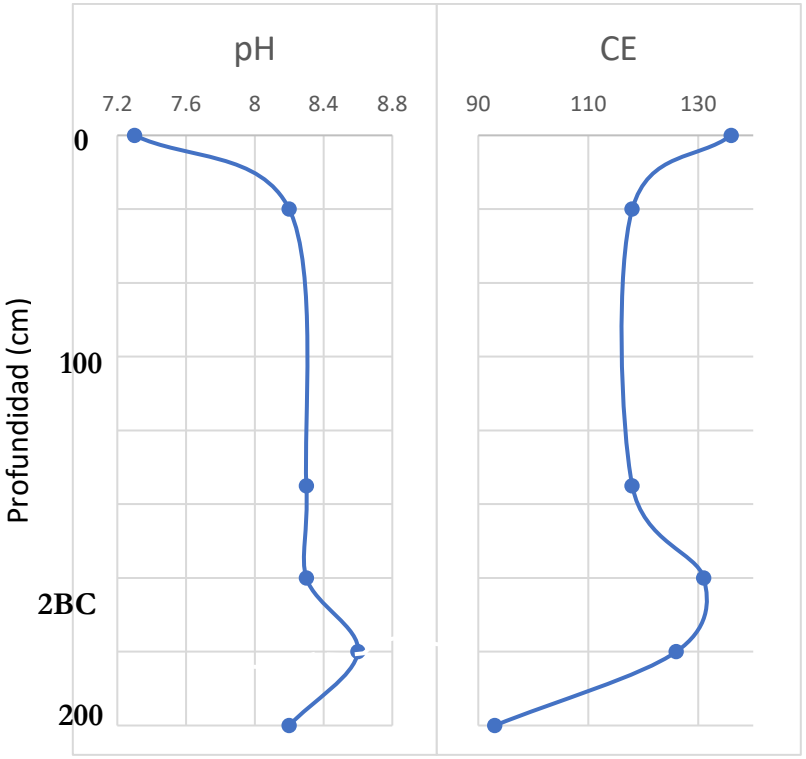


Estructura en cuña y BA



Concreciones de $CaCO_3$

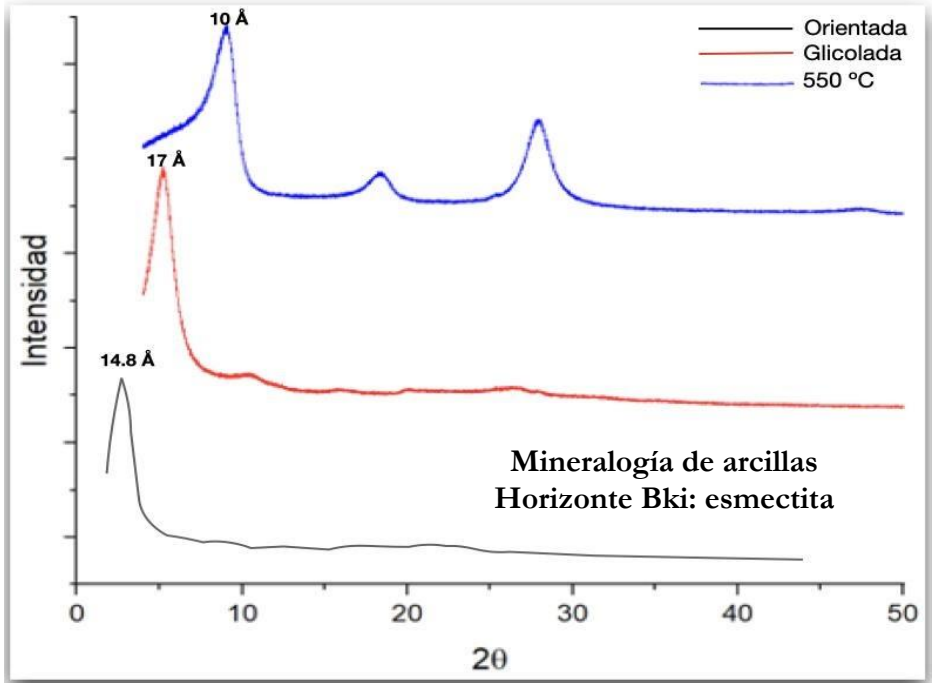
3ER CONCURSO MEXICANO DE EVALUACIÓN DE SUELOS
DATOS ANALÍTICOS



Horizonte	Carbono orgánico total (%)	CIC meq/100 g	Suma de bases meq/100 g	N total mg/kg	P disponible mg/kg
Ap	1.69	65.0	41.60	1.7	22.3
Bki	0.56	71.6	47.73	0.39	9.8
Bk	0.54	54.4	31.50	0.4	6.3
BCk	0.49	53.4	35.80	0.4	5.0
CBk	0.43	50.2	31.70	0.3	6.0
2Bk	0.40	63.0	39.95	0.1	12.0

Sin presencia de horizontes orgánicos
No Aplica (NA)

A los 180 cm hay un suelo enterrado por coluviones, con evidencia de carbonatos secundarios.



Mineralogía de arcillas
Horizonte Bki: esmectita

3ER CONCURSO MEXICANO DE EVALUACIÓN DE SUELOS
UBICACIÓN

Vargas-Rodríguez, D.F. (2021). Procesos pedogenéticos en suelos con propiedades vérticas de la cuencia del río Lerma. Tesis de Maestría. Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México. Agradecimientos a Dra. Elizabeth Solleiro Rebolledo y M.C. Jaime Díaz Ortega (Instituto de Geología, UNAM).

REFERENCIAS

Aguilera S., S. (2000). Importancia de la protección de la materia orgánica en suelos. Simposio Proyecto Ley Protección del Suelo. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo – Comisión Nacional del Medio Ambiente. Obtenido de http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/121065

Blum, W., Schad, P., y Nortcliff, S. (2018). Essentials of soil science. Stuttgart: Borntraeger Science Publishers.

Buness, V., Schad, P., Rau, M. y García-Franco, N. (2020). Flujograma ultimativo de la textura de suelos. Múnich: Universidad Técnica de Múnich.

Cerón-González, A., Barajas-Alcalá, A., Amador-Sierra, J. y Rojas-Pérez, L. (2019). Manual Oficial del 2do Concurso Nacional de Evaluación de Suelos. Secretaría de Acción Juvenil, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, México.

CNA (1989). Manual de clasificación, cartografía e interpretación de suelos, con base en el sistema de clasificación de suelos. Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua.

Elrick, D. A., Reynolds, W. D. (1992). Infiltration from Constant-Head Well Permeameters and Infiltrometers. En Topp, G. C., Reynolds, W. D., & Green, R. E. (Eds.) Advances in measurement of soil physical properties: Bringing theory into practice. Soil Science Society of America SSSA Special Publication 30, 1-24.

FAO (2009). Guía para la descripción de suelos. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Gupta, S., Hengl, T., Lehmann, P., Bonetti, S., & Or, D. (2020). SoilKsatDB: global soil saturated hydraulic conductivity measurements for geoscience applications. Earth System Science Data Discussions, 1-26.

International Soil Judging Contest (2014). Offical Handbook of the Inaugural International Soil Judging Contest. Jeju, Korea.

International Soil Judging Contest (2015). Offical Handbook of the International Year of Soils (IYS) 2015 Course and Soil Judging Contest. Gödöllő, Hungary.

International Soil Judging Contest (2018). Offical Handbook of the 3rd International Soil Judging Contest. Seropédica, Rio de Janeiro, Brazil.

IUSS Working Group (2015). World Reference Base for Soil Resources. World Soil Resources Report 106. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Letey, J., Osborn, J., Pelishek, R.E. (1962). Measurement of liquid–solid contact angles in soil and sand. Soil Sci. 93, 149–153.

Marín-Castro, B. E., Geissert, D., Negrete-Yankelevich, S., & Chávez, A. G. T. (2016). Spatial distribution of hydraulic conductivity in soils of secondary tropical montane cloud forests and shade coffee agroecosystems. Geoderma, 283, 57-67.

Mataix-Solera, J., Arcenegui, V., Zavala, L.M., Pérez-Bejarano, A., Jordán, A., Morugán-Coronado, A., Bárcenas-Moreno, G., Lozano, E., Granged, A. J., Gil-Torres, J. (2014). Small variations of soil properties control fire-induced water repellency. Spanish Journal of Soil Science, 4(1).

Morrás, H. (2014). "Porosidad y microestructura de suelos". En: Loaiza, J.C., Stoops, G., Poch, R. y Casamijtana, M. (Eds.), *Manual de micromorfología de suelos y técnicas complementarias* (pp. 205 - 260). Medellín: Fondo Editorial Pascual Bravo.

Olivares Martínez, L. D., Sánchez Guzmán, P., Gutiérrez Castorena, C. (2018). 1er Concurso de Evaluación Ambiental de Suelos. Manual oficial. En XLII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Texcoco, Estado de México, México.

Robert, M. (2002). Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra (No. 96). Roma: FAO.

Schoeneberger, P. J., Wysocky D. A., Benham, E. C., Soil Survey Staff (2012). Field Book for describing and sampling soils, Version 3.0. Lincoln: National Resources Conservation Service, National Soil Survey Center.

Siebe, C., Jahn, R. y Stahr, K. (2009). Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. 2° Edición (revisada, corregida y aumentada). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Siebe, C., Jahn, R. y Stahr, K. (2016). Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo. 3° Edición (revisada, corregida y aumentada). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Targulian, V. O. & Bronnikova, M. A. (2019). Soil memory: Theoretical basics of the concept, its current state, and prospects for development. Eurasian Soil Science, 52(3), 229–243. ISSN 1064-2293.

Targulian, V. O. & Goryachkin, S. V. (2004). Soil memory: Types of record, carriers, hierarchy and diversity. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 21(1), 1-8. ISSN 1026-8774.

Targulian, V.O. y Krasilnikov, P. (2007). Soil system and pedogenic processes: Self-organization, time scales, and environmental significance. Catena, 71(3), 373-381.

Van't Woudt, B. D. (1959). Particle coatings affecting the wettability of soils. Journal of Geophysical Research, 64(2), 263-267.