

Evaluación de la calidad física de suelos

Victoria Eugenia Vallejo Quintero
Valentina Ardila García
Leidy Paola Plazas Navarro



Evaluación de la calidad física de suelos

Guía *in situ* para la evaluación de la calidad física
de suelos en agroecosistemas del Campo Experimental de
Tecnologías Ambientales (CETA), Cachipay (Cundinamarca)

Victoria Eugenia Vallejo Quintero
Valentina Ardila García
Leidy Paola Plazas Navarro



Rector

Jaime Arias Ramírez

Vicerrector académico

Óscar Leonardo Herrera Sandoval

Vicerrectora administrativa y financiera

Paula Andrea López López

Vicerrector de programas

Jorge Hernán Gómez Cardona

Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas

Programa de Ingeniería Ambiental

Esta cartilla es un recurso de apoyo al aprendizaje creado para los espacios académicos de la Universidad Central.

ISBN (PDF): 978-958-26-0493-6

DOI: <https://doi.org/10.30578/c.suelos.2021>

Primera edición: 2021

© Autoras: Victoria Eugenia Vallejo Quintero, Valentina Ardila García y Leidy Paola Plazas Navarro

© Ediciones Universidad Central

Calle 21 n.º 5-84 (4.º piso). Bogotá, D. C., Colombia

PBX: 323 98 68, ext. 1556

editorial@ucentral.edu.co

Asesoría y coordinación

Centro de Excelencia Profesoral

Directora: Pilar Murcia Méndez

Asesoría pedagógica: Luisa Fernanda Lara Carvajal

Preparación editorial

Coordinación Editorial

Editor: Héctor Sanabria Rivera

Asistente editorial: Nicolás Rojas Sierra

Corrección de textos: Javier Carrillo Zamora

Curaduría y finalización: Nicolás Rojas Sierra

Publicado en Colombia · *Published in Colombia*

Todos los derechos reservados

Contenido

Introducción del curso.....	5
Descripción.....	5
Competencias	7
Resultados de aprendizaje esperados (RAE).....	8
Dispositivos pedagógicos.....	9
Estrategia de evaluación	11
Mapa del curso / Red conceptual.....	12
Unidad 1. Introducción	13
¿Cómo utilizar la guía?	16
Unidad 2. Caracterización rápida de suelos en los agroecosistemas y definición de unidades de muestreo.....	17
Materiales y procedimiento	17
Unidad 3. Determinación de la estructura y consistencia en el suelo.....	20
Estructura	20
Consistencia.....	23
Unidad 4. Porosidad del suelo.....	27
Importancia.....	27
Materiales y procedimiento	28
Unidad 5. Resistencia al rompimiento por horizonte.....	30
Unidad 6. Capas endurecidas	34

Unidad 7. Resistencia a la penetración	38
Unidad 8. Velocidad de infiltración	42
Unidad 9. Color.....	48
Actividad.....	50
Bibliografía.....	51
Anexos.....	56
Anexo 1. Tarjeta de calidad del suelo	56
Anexo 2. Tarjeta de puntuación	58

Introducción del curso

Descripción

El curso se centra en el estudio y la aplicación de técnicas analíticas, protocolos y estándares adecuados para llevar a cabo un muestreo ambiental que permita evaluar, monitorear y diagnosticar diferentes fenómenos de degradación del suelo (p. ej., compactación, salinización, contaminación, pérdida de biodiversidad, desbalance de nutrientes y carbono orgánico), que contribuyen al detrimento de su calidad.

En este curso se brindarán los fundamentos teóricos adecuados para que el estudiante pueda proponer y llevar a cabo un muestreo de suelos a través de técnicas que consideren la heterogeneidad edáfica y las distintas condiciones que influyen en esta, particularmente las relacionadas con su génesis, topografía, tipo de suelo, clase textural, color, condiciones de manejo, tipo de vegetación y cultivo, con el fin de definir y establecer adecuadamente las unidades muestrales. Esta constituye la etapa inicial para la adecuada interpretación de los resultados de los indicadores y las propiedades analizadas en laboratorio y en campo.

Así mismo, el estudiante aprenderá y se apropiará adecuadamente de las herramientas y los equipos requeridos para realizar muestreos y mediciones de suelos en campo, lo cual es fundamental para la formación en ingeniería ambiental. En este curso se brindarán los conocimientos necesarios para diseñar un plan de muestreo y realizar mediciones con casos prácticos, a partir de problemas reales sobre los cuales se deberá intervenir a través de la ejecución de un proyecto de aula enfocado en un área de estudio con gran influencia agropecuaria. A través de este proyecto, los estudiantes abordarán algún fenómeno de degradación edáfica y seleccionarán los indicadores más apropiados (físicos, químicos

y biológicos en campo y laboratorio) para evaluar dicha problemática y aplicarlos.

El curso contará con un componente teórico y uno práctico. En el componente teórico se brindarán los contenidos necesarios que luego serán aplicados en un contexto real. A la mitad del curso, se llevará a cabo una salida de campo, en la cual el estudiante deberá diseñar una estrategia de muestreo de acuerdo a diversas problemáticas de degradación del suelo y medir diferentes parámetros o indicadores físicos *in situ* a través de la guía diagnóstica de calidad edáfica. El desarrollo y la aplicación de estas guías en campo proporcionarán una descripción directa de la condición física del suelo y ayudarán a tomar decisiones rápidas para mejorar la condición física estructural y, por lo tanto, garantizar la gestión sostenible del suelo.

Es importante resaltar que el planteamiento adecuado de un diseño de muestreo y de un programa de monitoreo y seguimiento de los procesos de degradación de suelos a través de indicadores de calidad es fundamental para obtener información de base para la toma de decisiones como respuesta ante la problemática de degradación que enfrentan los suelos en nuestro país.

Competencias

En este curso, el estudiante se concentrará en el estudio teórico-práctico de las propiedades del suelo, afectadas por problemáticas físicas, químicas y biológicas de degradación. Esto implica dominar las herramientas para evaluar la calidad edáfica, y aprender a seleccionar y usar indicadores en campo y laboratorio, para su diagnóstico y monitoreo, así como su interpretación. En últimas, esto le permitirá, como futuro ingeniero ambiental, tomar decisiones pertinentes en cuanto a la gestión sostenible del suelo.

En este sentido, las competencias que el estudiante desarrollará a través este curso son dos:

1. Evaluar, identificar y comprender los diferentes impulsores de degradación del recurso suelo (social, ambiental, técnico, tecnológico o científico), con el fin de aplicar y seleccionar las herramientas más adecuadas para la evaluación de la calidad edáfica.

2. Plantear y ejecutar protocolos y metodologías que permitan recolectar e interpretar datos para extraer atributos e identificar problemáticas de degradación edáfica a través de pruebas y mediciones en campo y laboratorio.

Resultados de aprendizaje esperados (RAE)

1. Identifica problemáticas ambientales relacionadas con la degradación física, química y biológica del suelo.

2. Reconoce las herramientas empleadas para evaluar la calidad del suelo tanto en campo como en laboratorio.

3. Analiza los principios de las metodologías y protocolos para hacer muestreos de suelos con fines de calidad.

4. Selecciona los indicadores de calidad edáfica y los métodos apropiados (en campo y laboratorio) para abordar problemáticas relacionadas con el recurso suelo.

5. Aplica técnicas analíticas y protocolos para evaluar la calidad del suelo en campo y laboratorio.

Dispositivos pedagógicos

A fin de que el estudiante apropie a través de un proceso teórico-práctico todos los contenidos y experiencias abordados, este curso utilizará los siguientes dispositivos pedagógicos:

Clase expositiva

El docente desarrolla la totalidad del tema o problema abordado con algunos intercambios de los asistentes que no asumen plenamente el lugar de oyentes, sino más bien de interlocutores, en cuanto lo que dice el expositor está destinado a facilitar, esclarecer y complementar los trabajos y las lecturas que los estudiantes deben estar realizando en su trabajo independiente durante el curso, enfocado en la ejecución, avance y culminación de su proyecto de aula. Es importante resaltar que en este dispositivo se incorporarán sesiones de exposición oral a cargo de los estudiantes, relacionadas con la discusión de artículos científicos o la ampliación de temas vinculados con la temática central del curso.

Estudio de caso

Es un dispositivo que busca, a través de la revisión y la discusión bibliográfica, evaluar la introducción, los materiales y los métodos para identificar herramientas que puedan ser de utilidad para el proyecto integrado. Los aportes fundamentales de este dispositivo pedagógico son el uso de categorías y la estructuración lógica de datos. Por lo tanto, pone en juego competencias para realizar análisis y síntesis, y vincular lo concreto y lo abstracto, a través de lecturas de artículos científicos extraídos de bases de datos.

Salida de campo

Este dispositivo le permitirá al estudiante acercarse al área de estudio definida previamente por el docente, en donde se desarrollará el proyecto integrado, con el objetivo de aplicar los protocolos de muestreo ambiental revisados en clase en un contexto real, así como las metodologías y

herramientas apropiadas que permitan evaluar la calidad edáfica mediante la guía diagnóstica de calidad física *in situ*.

Laboratorio

Es el espacio empleado para analizar las muestras de suelo tomadas durante la salida de campo, para aplicar con ellas las metodologías correspondientes que le permitan evaluar la calidad del suelo.

Proyecto integrado

Con este proyecto y mediante el espacio formativo de la Práctica de Ingeniería II, se facilitará la articulación de los conceptos teóricos y prácticos a través del abordaje de una problemática ambiental asociada con el recurso suelo. Este proyecto aborda problemas o necesidades ambientales con el propósito de que los estudiantes actúen “como si” fueran profesionales que deben comprender la realidad, problematizarla y dar respuesta a los problemas identificados. En síntesis, los proyectos que se desarrollan en las prácticas propician la necesidad de reconocer la interdisciplinariedad y la interacción con el mundo laboral o el social (Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas, 2016).

Esta asignatura integra y se conecta con las herramientas y componentes abordados en la Práctica de Ingeniería I. Allí se identificaron problemas de investigación asociados con un problema ambiental (componentes de suelo, aire y agua), lo cuál debe emplearse en el desarrollo del proyecto integrado. Una vez el estudiante curse esta asignatura y la apruebe, proseguirá con la Práctica de Ingeniería III, en la cual aprenderá a plantear un problema metodológico que integre los materiales y métodos para la solución de un problema ambiental desde la investigación cuantitativa.

Estrategia de evaluación

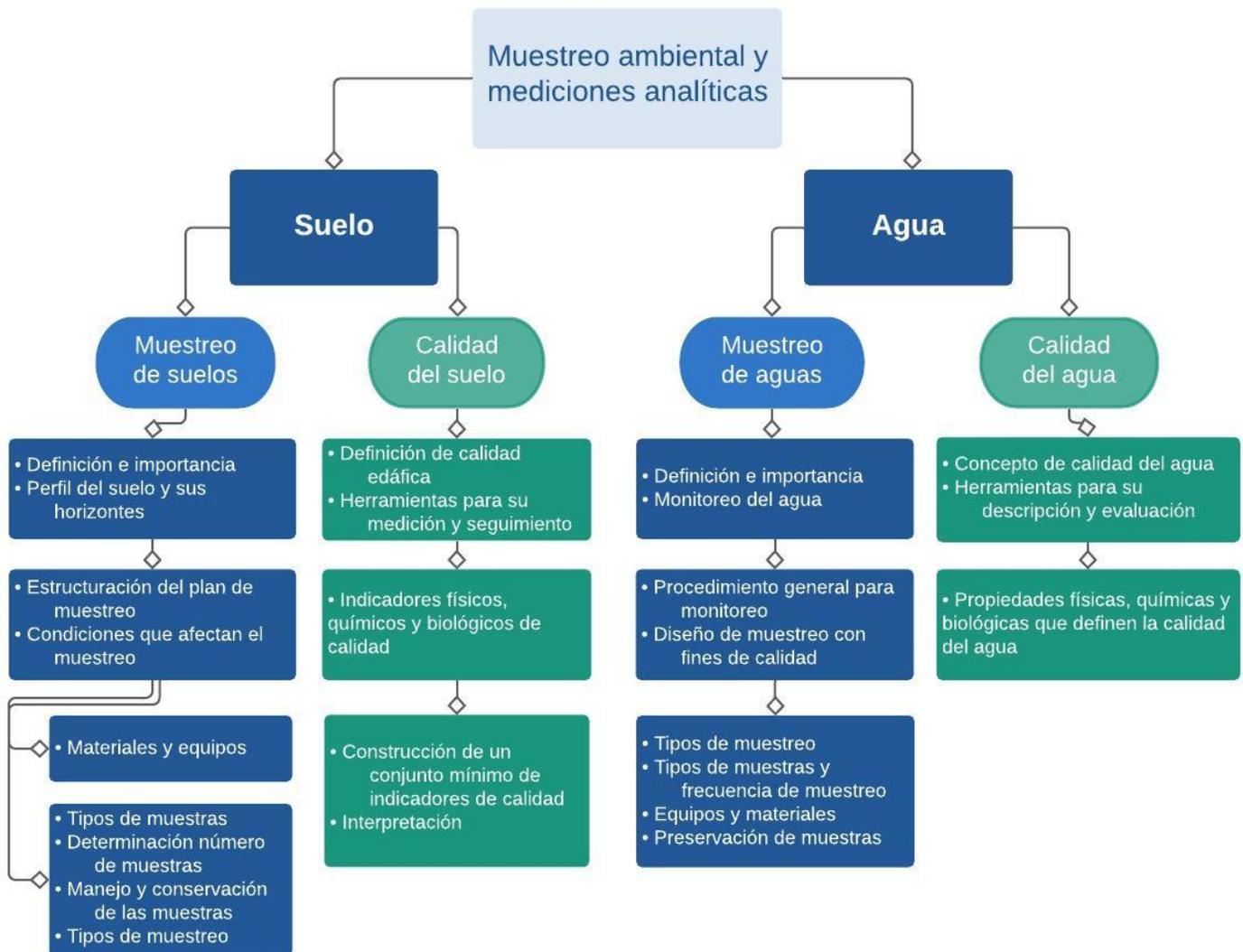
La evaluación del curso contemplará la ejecución de dos parciales para el primer y el segundo corte, en los cuales se identificará el aprendizaje de los componentes fundamentales teóricos, que los estudiantes deberán poner en práctica en la salida de campo, en los laboratorios y en su proyecto de aula.

Así mismo, como actividades de apoyo a la evaluación, se desarrollarán talleres y presentaciones orales en concordancia con los componentes teóricos del curso y las problemáticas ambientales que se abordarán en el proyecto de aula.

Posteriormente, se desarrollará una salida de campo en la que el estudiante deberá implementar el plan de muestreo elaborado para el contexto de la problemática seleccionada en su proyecto de aula, y deberá realizar mediciones de diferentes indicadores físicos en campo con el apoyo de la guía diagnóstica, lo cual será fundamental para la evaluación de la condición actual de los suelos estudiados.

La guía es una herramienta útil para los estudiantes de Ingeniería Ambiental, quienes a partir de las prácticas de ingeniería deben adquirir competencias en el área de muestreo y medición ambiental. La guía facilitará la selección, medición y comprensión de variables y potenciales indicadores que permitirán valorar cualquier condición en el suelo que afecte su calidad. Así mismo, será un insumo requerido para proponer alternativas de mejoramiento y formular planes de manejo sostenible del suelo. El estudiante deberá diligenciar las tarjetas de calidad de suelo y realizar la respectiva puntuación, lo cual propiciará su trabajo autónomo (anexos 1 y 2). Estas tarjetas deberán ser incluidas en el proyecto de aula y serán un apoyo fundamental junto con los análisis de laboratorio.

Mapa del curso / Red conceptual



UNIDAD 1

Introducción

A nivel mundial, muchos países han establecido políticas de conservación y protección de los suelos, dada la importancia que este recurso tiene para el equilibrio ecológico, el cambio climático, la biodiversidad, la prestación de servicios ecosistémicos y, especialmente, para la garantía de la seguridad alimentaria y el fomento de una agricultura sostenible. No obstante, se evidencia que los suelos continúan sufriendo procesos de degradación asociados con su manejo y uso, provenientes de fenómenos como salinización, erosión, desertificación, contaminación y pérdida de biodiversidad (FAO, 2018, García et al., 2012; Montanarella, 2015; Pellegrini et al., 2018).

De acuerdo con el *Estudio de conflictos de uso del territorio colombiano* (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2012), Colombia es un país con tendencia a la vocación de uso forestal, con un 56 % del área nacional, seguida de la vocación agrícola y ganadera, con 19 % y 13 % del área nacional, respectivamente. En Colombia, es bien conocido que algunas prácticas agrícolas como la labranza convencional, el empleo del monocultivo, el uso de insumos químicos externos (fertilizantes y plaguicidas), el sobrepastoreo y la quema de residuos orgánicos son los principales responsables del deterioro de la calidad del suelo (CS). Por esto, resulta necesario contar con herramientas que permitan valorar adecuadamente de una forma práctica y sencilla la calidad edáfica en los agroecosistemas (Afanador-Barajas et al., 2020; Vallejo-Quintero, 2013).



La **calidad del suelo** se refiere a la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites del ecosistema natural, sostener la productividad de plantas y animales, y conservar o mejorar la calidad del aire y el agua, la salud humana y el hábitat (Ferrerías et al., 2009; Igalavithana et al., 2018).

Se trata de un concepto holístico que reconoce el suelo como parte de un sistema de producción diverso y dinámico, con atributos físicos, químicos y biológicos, que se pueden cuantificar en escalas temporales específicas. Reconoce, también, los distintos roles de los suelos en los agroecosistemas y en los sistemas naturales (Sánchez et al., 2003). La CS no se puede medir directamente, pero se puede inferir a través de indicadores.

Los indicadores de calidad edáfica deben cumplir ciertas condiciones o criterios asociados con la facilidad en su medición, comprensibilidad, objetividad y sensibilidad a los cambios generados por las prácticas de manejo, cuyos valores o tendencias reflejan su calidad (Burgos et al., 2019; Juhos et al., 2019). Aunque se han propuesto muchos marcos conceptuales y modelos para evaluar la calidad del suelo, no existe un único método o herramienta de carácter universal para evaluarla bajo cualquier tipo de condición ambiental.

Hay muchos indicadores que, si bien forman parte de listas muy usadas en otras partes del mundo (materia orgánica, carbono total, pH, nitrógeno, densidad aparente, textura, resistencia a la penetración, estabilidad de agregados, índice de estabilidad estructural, velocidad de infiltración) (Do Nascimento et al., 2018; Rajkai et al., 2015; Reidy et al., 2016), no tienen validez local, debido a que no todas las propiedades edáficas tienen igual relevancia ni responden de la misma forma a todas las situaciones (p. ej., tipos de suelos, topografía, condiciones de edafogénesis, prácticas de manejo, tipos de cultivo y condiciones climáticas). Así mismo, hay subjetividad al asignar peso a cada indicador para la elaboración o empleo de índices de calidad propuestos y al establecer rangos para estos indicadores (líneas de base y umbrales críticos) (García et al., 2012; Yu et al., 2018). En virtud de esto, la selección

de los indicadores debe plantearse para las condiciones particulares de cada región.

Existe el conocimiento previo de que la calidad física del suelo determina directa o indirectamente su capacidad de sostenimiento, la facilidad para la penetración de raíces de las plantas, el uso eficiente del agua, el drenaje, la retención de nutrientes, la aireación y la estructura, composición y actividad de la comunidad microbiana, responsable de muchos procesos importantes en el suelo (Do Nascimento et al., 2018). La alteración de las propiedades físicas del suelo requiere tiempo y costos considerables para ser corregida; por lo tanto, resulta necesario contar con herramientas que permitan valorar estas propiedades adecuadamente en los agroecosistemas. Las propiedades físicas son de gran relevancia, ya que influyen sobre las propiedades químicas y biológicas y afectan la productividad agrícola y la calidad edáfica.

Se han identificado, probado y utilizado ampliamente varios indicadores para detectar la degradación física del suelo en el mundo (Bünemann et al., 2018; Zornoza et al., 2015). Las propiedades dinámicas del suelo asociadas con el flujo y almacenamiento de agua (p. ej., almacenamiento de agua, conductividad hidráulica e infiltración), la aireación del suelo (p. ej., porosidad), la compactación (p. ej., densidad aparente y resistencia del suelo a la penetración) y la estructura del suelo (p. ej., agregación) son los indicadores más frecuentes abordados en las evaluaciones de calidad física del suelo (Adalberto et al., 2018; Bünemann et al., 2018).

En los últimos años, se han desarrollado varios métodos de examen del campo visual para proporcionar una descripción directa de la estructura del suelo y ayudar así a los agricultores a tomar decisiones rápidas para mejorar la calidad estructural y, por lo tanto, garantizar la capacidad de producción sostenible del suelo (Murphy et al., 2013). Por ejemplo, Shepherd (2000) realizó una guía de campo para la evaluación visual del suelo (EVS) que constituye una herramienta de diagnóstico efectiva e inmediata para monitorear la calidad del suelo. Esta guía evalúa áreas pequeñas y grandes rápidamente mediante indicadores cualitativos, y resulta fácilmente observable, de bajo costo para valorar y muy informativa para los usuarios de la tierra.

Por este motivo, se ejecutó una guía diagnóstica *in situ* para evaluar la calidad física de suelos en agroecosistemas en el Campo Experimental de Tecnologías Ambientales (CETA), ubicado en Cachipay, Cundinamarca. La guía brinda información sobre los indicadores físicos del suelo, seleccionados con base en una revisión bibliográfica, el conocimiento previo de los agricultores y su experiencia con los recursos naturales locales. Los indicadores incluyen estructura, resistencia al rompimiento por horizonte, capas endurecidas, porosidad del suelo, consistencia, velocidad de infiltración, resistencia a la penetración y color (Alaoui et al., 2020; Bünemann et al., 2018; Pulido et al., 2014). También se explica por qué son importantes y ofrece métodos detallados para evaluarlos.

¿Cómo utilizar la guía?

La guía muestra la importancia, el procedimiento y la interpretación de los indicadores. Estos indicadores cuentan con una puntuación (*menos deseable* = 0, *moderada* = 1, *preferido* = 2) en función de su desempeño. La puntuación es flexible, por lo que si la muestra que está evaluando no se alinea claramente con ninguna de las fotografías, se puede dar una puntuación intermedia, por ejemplo, de 0,5 o 1,5. Por consiguiente, para obtener resultados confiables, es necesario seguir las metodologías aquí descritas.

Los resultados deben consignarse en la tarjeta de calidad del suelo (anexo 1) y evaluarse en la tarjeta de puntuación (anexo 2), calificando cada indicador con el factor de ponderación (1, 2 o 3). Por ejemplo, la estructura del suelo es un indicador más importante (factor de 3) que el de capas endurecidas (factor de 1). El puntaje que le da a cada indicador se multiplica por el factor de ponderación para obtener una clasificación EVS. Los suelos con una suma de puntajes visuales de clasificación menores de 10 presentan una mala calidad del suelo; los suelos con valores entre 10-25 tienen moderada calidad y los valores mayores de 25 tienen buena calidad (Pulido et al., 2014, Shepherd, 2000).

UNIDAD 2

Caracterización rápida de suelos en los agroecosistemas y definición de unidades de muestreo

Observe detenidamente el lote o la finca y divídalo en unidades de acuerdo a las diferencias que allí se encuentren, por ejemplo, tipo de suelo, clase textural, uso actual (si da un uso diferente a cada lote), desarrollo de los cultivos (p. ej., si observa diferencias en el crecimiento o salud de las plantas), tipo de vegetación, tipo de cultivo o sistema productivo, prácticas de manejo, relieve, color superficial, grado de erosión, entre otras (Cock et al., 2010). Posteriormente, en cada área o parcela, separe o aisle por lotes según exista cambio o diferencias en los aspectos previamente mencionados. No obstante, si el lote es uniforme en dichas características, se considera como una unidad para el muestreo un área no mayor de 10 hectáreas. De lo contrario, puede subdividirse en áreas según las diferentes características encontradas, para cada una de las cuales se deberá efectuar el muestreo de forma independiente (IGAC-Guía de muestreo). Una vez definidas las unidades de muestreo según los criterios mencionados, realice el siguiente procedimiento:

Materiales y procedimiento

Materiales

- ♦ Sacabocados

Procedimiento

1. En cada unidad que seleccionó, elabore una cajuela con las especificaciones que se indican a continuación. Sin embargo, si observa que la extensión es muy grande, elabore varias cajuelas.
Nota: evite hacerlas al lado de caminos, en los bordes de los lotes o en partes altas.
2. Se recomienda elaborar cajuelas de 60 cm de largo × 60 cm de ancho × 70 cm de profundidad (figura 1).



Figura 1. Cajuelas elaboradas mediante un sacabocado para un punto A y punto B en un policultivo.

Actividades

1. Relacione en la siguiente tabla las características que identificó para la definición de las unidades de muestreo en las parcelas estudiadas. En cada uno de los aspectos relacionados en las columnas, describa lo que evidenció y visualizó.



Clase textural	Relieve	Tipo de cultivo	Manejo agropecuario*	Tipo de vegetación	Color	Grado de erosión

*Prácticas de manejo agropecuario a definir: mecanización agrícola, quema, riego, agroquímicos, riego, labranza, etc.

2. En cada una de las unidades de muestreo a evaluar, relacione la siguiente información general: identificación del punto de muestreo, departamento, municipio, vereda, sitio, fecha (día, mes, año), nombre del muestreador, condiciones climáticas en el momento del muestreo, georreferenciación y tamaño de la unidad de muestreo. Describa alguna condición de degradación edáfica observada.

UNIDAD 3

Determinación de la estructura y consistencia en el suelo

Estructura

Se entiende como estructura del suelo a la disposición espacial de sólidos y vacíos en diferentes escalas sin considerar la heterogeneidad química de la fase sólida. Los minerales, la materia orgánica y los poros forman los terrones o agregados del suelo; cuando estos se organizan, forman la estructura, la cual está fuertemente afectada por cambios en el clima, la actividad biológica y las prácticas de manejo. La estructura también afecta la retención y la transmisión de agua y aire, así como las propiedades mecánicas del suelo. La observación y descripción de la estructura del suelo en el campo es subjetiva y cualitativa (Cock et al., 2010, Rabot et al., 2017, USDA, 1999).

En este sentido, se dice que la estructura del suelo es la forma en que las partículas sólidas se mantienen juntas. Cuando se tiene una buena estructura de migas (agregados o *peds*, que permiten un libre movimiento de aire, agua, raíces de plantas y organismos), se tiene una buena porosidad. En contraste, cuando la miga es escasa, genera rompimiento fácil del suelo; a este tipo de suelo se le conoce como friable. Aquellos con una estructura deficiente tienen gran extensión, densidad, mucha firmeza y angularidad o terrones de bloque subangulares que encajan, se empaquetan muy juntos y tienen una alta resistencia a la tracción (FAO, 2006, Shepherd, 2000, Willamette Valley, 2009).

Importancia

Una buena estructura del suelo es vital para el crecimiento de los cultivos, ya que permite controlar diferentes procesos como la regulación de la aireación del suelo y las tasas de intercambio gaseoso, el movimiento y almacenamiento de agua, la temperatura del suelo, la penetración y el desarrollo de las raíces, el ciclo de los nutrientes, y la resistencia a la degradación estructural y la erosión. Así mismo, la estructura también constituye el hábitat de una gran cantidad de organismos del suelo, lo que permite impulsar su diversidad y regular su actividad biológica (Rabot et al., 2017, Väderstad, 2016).

Procedimiento

Para ver claramente la estructura del suelo, debe dejar secar al sol la pared de la cajuela hasta que comiencen a aparecer las grietas naturales del suelo. Si el suelo está húmedo y su estructura es muy evidente, compárela con las imágenes de la tabla 1 e identifíquela. Anote su resultado en la Tarjeta de puntuación (anexo 2). Si observa diferentes estructuras, anote la más sobresaliente (Cock et al., 2010).

Tabla 1. Tipos de estructura del suelo

Tipo	Imagen y descripción
Prismática	 <p data-bbox="513 1646 1243 1717">Se observan grietas verticales y usualmente se encuentran en horizontes o capas bajas.</p>

Granular	 <p>Esferoides que tienen superficies curvas o irregulares, poseen forma de pequeños granos redondos y se encuentran en la superficie.</p>
Columnar	 <p>Cubos imperfectos con bordes angulares o redondeados duros que se forman en el suelo en varias columnas. Son difícilmente penetrables por el agua.</p>
Bloque	 <p>Bloques irregulares que suelen ser de 1,5 a 5,0 cm de diámetro y pueden tener bordes redondeados o rectos.</p>



Fuente: elaboración propia.

Interpretación

Para el crecimiento de las plantas, es ideal disponer de una condición física en la que el suelo sea un conjunto óptimamente friable, suelto y poroso de agregados, que permitan libre movimiento de agua y aire, fácil cultivación, y una germinación y crecimiento de raíces no obstruidos. Por lo general, cuanto más alto es el valor del índice estructural, mejor es la capacidad del suelo de transmitir agua y aire y de promover el crecimiento de las raíces (USDA, 1999).

Consistencia

La consistencia del suelo se refiere al grado de cohesión y adhesión o resistencia a la deformación o ruptura del material del suelo, que puede verse afectada por los sistemas de labranza. Las evaluaciones de campo de la consistencia incluyen: resistencia a la ruptura (bloques, *peds* y terrones, o costras y placas superficiales), friabilidad, adhesividad, plasticidad y resistencia a la penetración. Además, depende en gran medida de la cantidad y tipo de arcilla, la materia orgánica y el contenido de humedad del suelo. Cuando el suelo tiene una sola estructura granular, la consistencia es siempre suelta y la textura suele ser arenosa o muy arenosa como la arena arcillosa (Blanco-Canqui & Francis, 2016, FAO, 2006).

Procedimiento

Seleccione dos o tres terrones de suelo de 3-5 cm de diámetro, previamente secados al aire, y colóquelos sobre una superficie plana. La consistencia se determina apretando el suelo entre los dedos pulgar e índice, sintiendo y observando los cambios que se registran. La evaluación se realiza de acuerdo con la descripción de la tabla 2 (FAO, 2018).

Tabla 2. Interpretación de la consistencia del suelo

Tipo de consistencia	Descripción e imagen
<p>Suelto</p>	 <p>Tiene problemas para elegir un solo terrón y la estructura se desmorona antes de manejarlo <i>(poco consistente)</i>.</p>
<p>Firme</p>	 <p>El terrón se rompe cuando se aplica mayor cantidad de presión y se desmorona en los dedos antes de que se rompa <i>(moderadamente consistente)</i>.</p>

<p>Friable</p>	 <p>El terrón se rompe con una pequeña cantidad de presión (<i>muy consistente</i>).</p>
<p>Extremadamente firme</p>	 <p>El terrón no puede ser aplastado con los dedos, ¡necesitas un martillo! (<i>poco consistente</i>).</p>

Fuente: elaboración propia.

Interpretación

Si un suelo presenta valores extremos en la evaluación de su consistencia, esto señala su dificultad para preparar la siembra y para desarrollar las plantas de cultivo. La determinación de la consistencia del suelo, en conjunto con otras propiedades físicas y químicas, informa sobre la naturaleza y el grado de deterioro de la estructura del suelo (USDA, 1999) (tabla 3).

Tabla 3. Identificación de estructura y consistencia

Puntuación del indicador		
Menos deseable = 0	Moderada = 1	Preferido = 2
		
<p>Sin estructura (suelta o masiva) o cualquier tipo de estructura. De los terrones encontrados, se tiene una estructura granular muy pobre y poco consistente. Por lo tanto, el suelo es dominado por terrones extremadamente gruesos, muy firmes y con muy pocos agregados finos (Cock et al., 2010, Mueller et al., 2007).</p>	<p>Estructura prismática, granular, columnar, bloque y laminar. Presenta pocos terrones encontrados, estructura granular irregular y moderadamente consistente. El suelo contiene proporciones significativas de terrones gruesos (firmes, subangulares o angulares y pocos o ningún poro) y de agregados finos y friables (Cock et al., 2010, Mueller et al., 2007).</p>	<p>Estructura prismática, granular, columnar, bloque y laminar. Los agregados o <i>peds</i> están bien formados y son muy evidentes <i>in situ</i>. Los agregados son generalmente subredondeados (nuez), a menudo bastante porosos y muy consistentes (Cock et al., 2010).</p>

Fuente: elaboración propia.

UNIDAD 4

Porosidad del suelo

La porosidad del suelo, en particular la macroporosidad (el número de poros grandes), influye en el movimiento del aire y el agua en el suelo. Por esta razón, es importante evaluar la porosidad del suelo y la distribución del tamaño de los agregados. Los suelos con buena estructura tienen una alta porosidad entre y dentro de los agregados, pero los suelos con grandes unidades estructurales pueden no tener macroporos ni microporos gruesos dentro de los grandes terrones y, por lo tanto, pueden no ser adecuadamente aireados (Väderstad, 2016).

Importancia

Según Shepherd (2000), una mala aireación conduce a la acumulación de dióxido de carbono, metano y gases sulfurosos, y reduce la capacidad de las plantas para absorber agua y nutrientes, en particular nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S). Las plantas solo pueden utilizar S y N en las formas de sulfato oxigenado (SO_4^{2-}), nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+). Por ello, las plantas requieren suelos aireados para la absorción y utilización eficiente de S y N. El número, actividad y biodiversidad de microorganismos y lombrices de tierra también son mayores en suelos bien aireados y estos son capaces de descomponer y reciclar la materia orgánica y los nutrientes de manera eficiente.

Además, la presencia de poros en el suelo permite el desarrollo y la proliferación de las raíces superficiales (o alimentadoras) en todo el suelo. Las raíces son incapaces de penetrar y crecer a través de suelos firmes, apretados y compactados; es decir, una alta resistencia a la penetración no solo limita la absorción de agua y nutrientes por parte de la planta, sino también reduce considerablemente la eficiencia de los fertilizantes y

aumenta la susceptibilidad de la planta a las enfermedades de las raíces. Cuanto mayor sea la porosidad, mejor será el drenaje y, por lo tanto, menor probabilidad habrá de que los poros del suelo se llenen de agua hasta los niveles críticos necesarios para acelerar la producción de gases de efecto invernadero (Väderstad, 2016).

Materiales y procedimiento

Materiales

- ♦ Pala

Procedimiento

1. Retire una porción de tierra con ayuda de una pala de aproximadamente 10 cm de ancho, 15 cm de largo y 20 cm de profundidad (tomar muestra al lado del agujero generado para ensayo de estructura del suelo) o tomar una serie de terrones del suelo.
2. Rompa por la mitad la porción de suelo.
3. Examine la cara expuesta (figura 2) que está fresca para determinar la porosidad del suelo comparándola con la tabla 4.



Figura 2. Punto A de un policultivo con cara expuesta para medir la porosidad del suelo.

Fuente: elaboración propia.

4. Identifique y examine en la muestra los espacios, agujeros, grietas y fisuras que se presentan entre y dentro de los agregados del suelo y terrones.
5. Proporcione información adicional importante sobre la porosidad de los terrones individuales (porosidad intraagregados) (Shepherd, 2000, Väderstad, 2016).

Tabla 4. Identificación de porosidad del suelo

Puntuación del indicador		
Menos deseable = 0	Moderada = 1	Preferido = 2
		
No cuenta con macroporos ni microporos y se visualiza un terrón o muestra de suelo con una superficie lisa y pocas o ninguna grieta o agujero (Shepherd, 2000).	Se evidencia que los macroporos y microporos gruesos del suelo han disminuido significativamente, pero están presentes partes estrechas del suelo. Esto demuestra una cantidad moderada de consolidación (Shepherd, 2000).	Se presentan varios macroporos y microporos gruesos entre y dentro de los agregados, asociados con una buena estructura del suelo (Shepherd, 2000).

Fuente: elaboración propia.

UNIDAD 5

Resistencia al rompimiento por horizonte

La resistencia al rompimiento se refiere a la fuerza necesaria para romper un terrón de suelo, que puede variar según los diversos contenidos de humedad, la textura, el contenido de materia orgánica y la estructura del suelo (Cock et al., 2010, USDA, 2017). Esta característica es sensible a la microestructura por la función que cumplen las microfisuras en la resistencia del suelo y permite cuantificar la friabilidad. Adicionalmente, es un método con un enfoque más objetivo que el de los métodos visuales descriptivos (Ávila, 2017).

Importancia

La friabilidad es una propiedad física esencial para determinar la respuesta del suelo a las operaciones de labranza y un factor clave en la obtención de una capa arable con el tamaño de agregados adecuado para el crecimiento de las raíces. En estado friable, los suelos requieren una labranza mínima para producir una adecuada cama de siembra. Por el contrario, los suelos no friables pueden requerir alta demanda de energía en la labranza y el resultado final es un lecho de siembra inadecuado para la germinación, emergencia y establecimiento de plantas (Ávila, 2017).

Determinación

Uno de los métodos más confiables para determinar la friabilidad de los suelos es medir su resistencia al rompimiento. Este método ofrece la posibilidad de establecer la friabilidad del suelo mediante pruebas de compresión en terrones o agregados de diferente tamaño, en condición de suelo seco o ante diferentes contenidos de agua (Ávila Pedraza, 2017).

Materiales y procedimiento

Materiales

- ◆ Botella de agua

Procedimiento

Debe realizar el siguiente procedimiento para cada una de las capas u horizontes que encontró.

1. Determine la humedad del suelo. Coja un terrón, agregue una gota de agua y siga las instrucciones de la tabla 5.

Tabla 5. Identificación de color del suelo humedecido

Condición	Cambio de color
Si el suelo cambia de color, entonces está seco .	
Si el suelo no cambia de color y no moja la mano al cogerlo, entonces está húmedo .	
Si al coger el terrón sin realizar el procedimiento anterior este moja su mano , entonces este es mojado . De ser así, entonces deje secando el suelo hasta que esté húmedo o seco y continúe.	

Fuente: adaptada de Cock et al. (2010).



Figura 3. Determinación de la resistencia al rompimiento por horizonte.

Fuente: elaboración propia.

2. Determine la resistencia del suelo a romperse (tablas 6 y 7).

Tabla 6. Determinación de la resistencia del suelo a romperse

Tipo de suelo	Resistencia al rompimiento		
<p style="text-align: center;">Seco</p>	<p>Al romper el terrón, quedan fragmentos grandes que al apretarlos no se pueden volver a unir.</p>		
	Blando	Duro	Extremadamente duro
	<p>El suelo es suelto y no forma terrones. Se deshace en polvo o granos sueltos con muy poca fuerza entre el pulgar y el índice.</p> 	<p>El suelo se desmorona tan solo con muchísima fuerza entre el pulgar e índice o se deben utilizar ambas manos.</p> 	<p>El suelo no se aplasta ni se quiebra con los dedos ni con ambas manos, pero sí con el pie, una piedra o un martillo.</p> 
<p style="text-align: center;">Suelo húmedo</p>	<p>Al romper el terrón, las partículas vuelven a unirse al apretarlas.</p>		
	Friable	Firme	Extremadamente firme
	<p>El suelo es suelto o se desmenuza fácilmente con poca fuerza entre el pulgar y el índice.</p> 	<p>El suelo se desmorona entre el pulgar y el índice con una fuerza moderada. Se nota una clara resistencia.</p> 	<p>El suelo se desmenuza solamente bajo presiones muy fuertes y se debe romper pedazo a pedazo.</p> 

Plástico (muy húmedo)	Al ejercer fuerza sobre el terrón, este no se parte, sino que se deforma.	
	Plástico	Muy plástico
	Se requiere una fuerza moderada para deformar la masa del suelo. 	Se requiere mucha fuerza para deformar la masa del suelo. 

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Identificación de resistencia al rompimiento por horizonte

Puntuación del indicador		
Menos deseable = 0	Moderada = 1	Preferido = 2
Se requiere de mucha fuerza para deformar el terrón y es difícil de trabajar (USDA, 2017).	Algo difícil de trabajar y el terrón se rompe con algo de presión (Cock et al., 2010).	Desmenuzable, fácil de trabajar y se rompe fácilmente (USDA, 2017).

Fuente: elaboración propia.

Interpretación

El suelo en estado friable presenta menor riesgo a la degradación estructural. Lo que se desea con el estado friable del suelo es que los agregados más grandes, al romperse por efecto de un esfuerzo aplicado —como con los implementos de labranza—, se fragmenten en un conjunto homogéneo de agregados más pequeños resistentes a la degradación y su tamaño ofrezca un medio óptimo para el desarrollo del sistema radical de las plantas (Ávila, 2017).

UNIDAD 6

Capas endurecidas

Las capas endurecidas son capas duras e impermeables que pueden impedir el crecimiento de las raíces, el movimiento del agua y la respiración del suelo (Cock et al., 2010). La compactación ocurre cuando la maquinaria agrícola pasa repetidamente sobre la misma área de suelo. El peso del equipo, el número de viajes a través del campo y el tipo de suelo determinan el grado de compactación (Nezperce, 2004, Willamette Valley, 2009).

Importancia

La compactación del suelo es una amenaza potencial para la productividad agrícola. Afecta negativamente los aspectos principales de la calidad del suelo, restringe el crecimiento de las raíces y disminuye el tamaño de poro, lo que limita la actividad microbiana y la capacidad de las lombrices y otros organismos para vivir en el suelo, ya que aminora la tasa de descomposición de la materia orgánica del suelo y la posterior liberación de nutrientes. Así mismo, la compactación del suelo disminuye en gran medida la infiltración y, por lo tanto, aumenta la escorrentía y el peligro de erosión hídrica (Mueller et al., 2007, Willamette Valley, 2009).

Materiales y procedimiento

Materiales

- ♦ Navaja o cuchillo
- ♦ Metro

Procedimiento

1. Ubique el metro en una de las caras de la cajuela (figura 4).



Figura 4. Cajuela realizada en el punto A.
Fuente: elaboración propia.

2. Con golpes fuertes y secos, introduzca la navaja o cuchillo en diferentes puntos a lo largo del perfil (figura 5).



Figura 5. Cuchillo introducido en la cajuela a diferente profundidad.
Fuente: elaboración propia.

3. Marque con el dedo la distancia que se introdujo en el suelo y sáquelo (figura 6).



Figura 6. Marcación de la distancia con la que fue introducido el cuchillo.
Fuente: elaboración propia.

4. Mida cuántos centímetros se introdujo el cuchillo. Si se introduce menos de 3 cm, tiene una capa compactada. Anote su profundidad y grosor (figura 7).



Figura 7. Medición de hasta dónde se introduce el cuchillo.
Fuente: elaboración propia.

5. Si encontró varias capas endurecidas, anote su profundidad y grosor (figura 8, tabla 7).



Figura 8. Cuchillo introducido en la capa observada. Fuente: elaboración propia.

Tabla 7. Puntuación de indicador de capas endurecidas

Puntuación del indicador		
Menos deseable = 0	Moderada = 1	Preferido = 2
Se encuentran varias capas endurecidas.	Se encuentran pocas capas endurecidas.	No se encuentran capas compactadas.

Fuente: adaptada de Tuckombil Landcare Inc. (2002).

Interpretación

Si se encuentran varias capas endurecidas, hay un suelo compactado. Esto puede deberse a una labranza intensiva o a que la maquinaria tiene cargas por eje de más de 10 toneladas —lo que causa compactación por debajo de 12 pulgadas—. La compactación se puede prevenir o reducir al no trabajar los suelos cuando están saturados. A menudo, los suelos compactados se encuentran justo debajo de la zona de labranza. El aumento de la materia orgánica en los suelos mediante la adición de cultivos de cobertura y residuos orgánicos contribuirá a la actividad biológica y la estabilidad de los agregados. Esto mejorará en gran medida la capacidad del suelo para resistir la compactación (Nezperce, 2004, Willamette Valley, 2009).

UNIDAD 7

Resistencia a la penetración

La resistencia a la penetración es una propiedad física utilizada para evaluar la compactación del suelo; por lo tanto, es una medida de la facilidad con la que un objeto puede introducirse al suelo. La resistencia a la penetración depende marcadamente del contenido de agua del suelo: cuanto más seco está el suelo, mayor es su resistencia a la penetración, por lo que esta propiedad depende de la humedad del suelo. La humedad debe anotarse al tomar una medida. La resistencia de penetración se determina mejor cuando el suelo está a capacidad de campo (Blanco-Canqui & Francis, 2016, USDA, 1999).

Importancia

La compactación produce una severa restricción del crecimiento de las raíces, que es causada primordialmente por el pisoteo de los animales, el uso de equipos para granja y laboreo, y el tráfico vehicular. El tipo de sistema radicular es otro factor que condiciona el grado de penetración de las raíces y muestra la típica ubicación de zonas de compactación en suelos cultivados. Es decir, señala el impedimento de las raíces para penetrar las capas del suelo y puede usarse para comparar tipos de suelo o fincas y determinar zonas de compactación o capas de suelo muy denso. La resistencia a la penetración ofrece información acerca de capas impedantes para raíces y puede usarse para comparar resistencias relativas entre tipos similares de suelo. También puede emplearse para determinar duripanes, zonas de compactación u horizontes densos (USDA, 1999).

Determinación

Para la determinación se utiliza un penetrómetro de bolsillo (Soil-Test Modelo CL-700) con un diámetro de varilla de 6,4 mm (área 20,10 mm²) y una distancia de inserción de 6,4 mm (línea de nota sobre varilla). Se debe utilizar un promedio de cinco o más mediciones para obtener un valor de resistencia a la penetración (Medina et al., 2012).

Materiales y procedimiento

Materiales

- ◆ Penetrómetro de bolsillo Concrete Pocket Penetrometer 178 × 19 mm (figura 9)
- ◆ Tabla para anotar

Procedimiento

Opción A. Mediante un penetrómetro de bolsillo

1. Utilice un penetrómetro de bolsillo y presiónelo contra el suelo tan profundo como pueda con un esfuerzo modesto.
2. Registre la profundidad de penetración en la tarjeta de puntuación (anexo 2); la escala observada se da en MPa. Si usted golpea una roca o una raíz de árbol, elija otro lugar. Cuanto más fácil sea penetrar en el suelo, mejor será el desarrollo radicular profundo y la infiltración de agua (Tuckombil Landcare Inc., 2002).
3. Realice un promedio de cinco mediciones en diferentes puntos del área estudiada.



Figura 9. Resistencia a la penetración con un penetrómetro Concrete Pocket.

Fuente: elaboración propia.

Opción B. Usando una varilla metálica

Un penetrómetro es un dispositivo para probar la compactación del suelo. En lugar de comprar sofisticados penetrómetros que resultan muy costosos, usted puede elaborar su propia versión a bajo precio.

1. Tome 50 cm de alambre de alta resistencia de 3,15 mm/10 de calibre y use 12 cm para hacer un mango.
2. En los 25 cm restantes, haga marcas de clasificación cada 2,5 cm desde el extremo (Tuckombil Landcare Inc., 2002).
3. Use la varilla metálica para chequear una de las paredes laterales, desde la superficie hasta el fondo. Determine cambios o diferencias en resistencia a la penetración mientras revisa la pared.
4. Fíjese si hay capas compactadas que puedan restringir el crecimiento radicular o el movimiento del agua.

Tabla 8. Puntuación de indicador de resistencia a la penetración

Puntuación del indicador		
Menos deseable = 0	Moderada = 1	Preferido = 2
La sonda de alambre no penetra.	La sonda de alambre penetra con dificultad a menos de 20 cm.	La sonda de alambre penetra fácilmente hasta 20 cm.

Fuente: Tuckombil Landcare Inc. (2002).

Interpretación

La compactación, que produce una severa restricción del crecimiento de las raíces, es causada primordialmente por el pisoteo de los animales, el uso de equipos para granja y laboreo, y el tráfico vehicular. El tipo de sistema radicular es otro factor que condiciona el grado de penetración de las raíces (USDA, 1999).

UNIDAD 8

Velocidad de infiltración

La infiltración es el proceso de penetración del agua en el suelo. La velocidad a la cual el agua entra en el suelo se conoce como velocidad de infiltración y depende del tipo de suelo, la estructura o grado de agregación y el contenido de agua en el suelo (USDA, 1999). El contenido inicial de agua en el suelo al momento de la medición afecta su capacidad de absorber agua adicional. Por esto, la velocidad de infiltración es mayor cuando el suelo está seco que cuando está húmedo. Este factor es importante al comparar mediciones de infiltración de suelos diferentes. Los suelos deberían tener un contenido de humedad similar cuando se realizan las mediciones.

Según Willamette Valley (2009), “un factor importante en la infiltración del agua es la porosidad del suelo. El número, las longitudes y los diámetros de los poros determinan el movimiento y la retención del agua”. Los poros grandes (mayores de 1/4” de diámetro) son responsables de la mayor parte del agua que fluye a través del suelo. La infiltración de agua también se ve afectada por factores como la textura y la pendiente. Los suelos arenosos generalmente tienen tasas de infiltración más altas que los suelos limosos o arcillosos. El agua tiende a drenar más rápidamente desde un terreno más alto.

Los agregados inestables del suelo se desintegran cuando están húmedos y liberan pequeñas partículas de arcilla que obstruyen los poros. Los suelos compactados restringen el movimiento del agua a capas más profundas del subsuelo donde se almacena el agua para uso de las plantas (Nezperce, 2004).

Importancia

Un suelo con buena infiltración tiene poca escorrentía superficial y es resistente a la erosión. Una buena infiltración de agua significa que el suelo se seca y se calienta rápidamente después de fuertes lluvias. Cuando hay una buena infiltración de agua en el suelo debido a un manejo adecuado, este puede capturar tanto como lo permita su tipología. Esto, a su vez, aumentará la capacidad de retención de agua del suelo, lo que permite una humedad adecuada para el uso de las plantas durante más tiempo en y durante la temporada de crecimiento. Además, el agua que penetra demasiado lento puede provocar anegamiento en terrenos planos o erosión por escurrimiento en campos de pendientes (Nezperce, 2004, USDA, 1999).

Materiales y procedimiento

Materiales

- ◆ Cilindro metálico abierto de 6” de diámetro y 6” de largo que sea lo suficientemente resistente como para ser introducido en el suelo
- ◆ Envoltura plástica
- ◆ Botella plástica o cilindro graduado de 500 mL
- ◆ Mazo o trozo de madera
- ◆ Agua destilada
- ◆ Nivel
- ◆ Metro
- ◆ Cronómetro y tabla para anotar



Nota: si el suelo está saturado, no se produce infiltración. Espere uno o dos días para permitir que se seque un poco. Asimismo, cuando no se realiza el ensayo de respiración, asegúrese antes de insertar el anillo, de que el área de muestreo esté libre de residuos y malezas o que la vegetación esté cortada hasta la superficie del suelo (USDA, 1999).

Procedimiento

1. Afirme el suelo. Con ayuda de un mazo empuje el cilindro en el suelo de modo que unas 3” se extiendan por encima de la parte superior del suelo para permitir que el agua se "estaque" allí. Utilice un nivel para verificar que el cilindro al ser enterrado en el suelo quede nivelado.
2. Cubra con una lámina de plástico el anillo y la superficie del suelo dentro del anillo, tal como se muestra en la figura 10. Este procedimiento evita disturbar la superficie del suelo al agregar agua.



Figura 10. Anillo cubierto con una bolsa de plástico.
Fuente: elaboración propia.

3. Agregue agua. Llene la botella plástica con agua y viértala en el anillo recubierto con una envoltura de plástico, tal como se indica en la figura 11.



Figura 11. Vertimiento de agua sobre el plástico.
Fuente: elaboración propia.

4. Remueva la envoltura y registre el tiempo. Saque la cobertura de plástico tirando con cuidado hacia fuera y dejando el agua dentro del anillo. En cuanto el agua empiece a tener contacto con el suelo, registre el tiempo (en minutos) que requiere 1" (2,54 cm) de agua para penetrar en el suelo. Pare el reloj justo cuando la superficie se ponga brillante (figuras 12 y 13), anote este tiempo (en minutos) y compare con la tabla 9.



Figura 12. Finalización de tiempo en que se demora el suelo en absorber el agua.

Fuente: elaboración propia.

5. Repita el ensayo de infiltración. En el mismo anillo, efectúe los pasos 2, 3 y 4 con una segunda pulgada de agua. En la tarjeta de puntuación (anexo 2), registre el número de minutos transcurridos para la segunda medida de infiltración. Si la humedad del suelo está a o cerca de la capacidad de campo, el segundo ensayo no es necesario.



Figura 13. Descenso del agua en el suelo.

Fuente: elaboración propia.



Nota: el contenido de humedad del suelo va a afectar la velocidad de infiltración; por esto, esencialmente se efectúan dos ensayos de infiltración (sí el suelo está seco). La primera pulgada moja el suelo, y la segunda pulgada da una mejor estimación de la velocidad de infiltración del suelo.

Tabla 9. Puntuación para la determinación de velocidad de infiltración.

Puntuación del indicador		
Menos deseable = 0	Moderada = 1	Preferida = 2
Más de 7 minutos. Hay excesiva escorrentía, estanqueidad o muy baja capacidad de retención de agua (USDA, 2014).	De 3 a 7 minutos. Existe alguna escorrentía o poca capacidad de retención de agua (USDA, 2014).	Menos de 3 minutos. Existe muy poca escorrentía y buena retención de agua (USDA, 2014).

Fuente: USDA (2014).

Interpretación

El régimen de infiltración es sensible a condiciones cercanas a la superficie y está sometido a un cambio significativo debido al uso del suelo, el manejo y el tiempo. Está afectada por el desarrollo de las raíces de las plantas, las excavaciones de lombrices, la agregación del suelo y un incremento general de la materia orgánica estable. La infiltración es rápida hacia grandes poros continuos en la superficie. Por el contrario, decrece cuando el tamaño o cantidad de poros son aminorados por condiciones tales como destrucción de la estructura, taponamiento de poros por partículas o movimientos más lentos de aguas más profundas cuando llegan a subsuelos más densos. La textura o porcentaje de arena, limo y arcilla afecta el régimen de infiltración. Usualmente, los suelos arenosos presentan regímenes de infiltración veloces (USDA, 1999).

UNIDAD 9

Color

El color es un indicador de fertilidad, contenido de humedad, material parental y condiciones de drenaje del suelo. Así, por ejemplo, colores negros u oscuros significan buen contenido de materia orgánica; colores rojos, presencia de hierro; colores blanquecinos, presencia de carbonatos de calcio; colores olivos, verdes o grises, mal drenaje, entre otros (Cock et al., 2010). Un cambio de color puede dar una indicación general de un cambio en la materia orgánica bajo un uso o manejo particular de la tierra. La materia orgánica del suelo tiene un papel importante en la regulación de la mayoría de los procesos biológicos, químicos y físicos en el suelo, que colectivamente determinan la calidad del suelo (Mueller et al., 2013).

Importancia

Promueve la infiltración y la retención de agua, ayuda a desarrollar y estabilizar la estructura del suelo, amortigua el impacto del tráfico de las maquinarias y el pisoteo de los cultivadores, reduce el potencial de erosión por el viento y el agua, e indica si el suelo funciona como un "sumidero" de carbono o como una fuente de gases de efecto invernadero. La materia orgánica también proporciona un recurso alimenticio importante para los organismos del suelo y un importante reservorio de nutrientes para las plantas. Su disminución reduce la fertilidad y el potencial de suministro de nutrientes del suelo. Los requerimientos de N, P, K y S de los cultivos aumentan notablemente y otros elementos mayores y menores se lixivian más fácilmente. El resultado es una mayor dependencia del aporte de fertilizantes para mantener el estado de los nutrientes (Shepherd, 2000; Väderstad, 2016).

Procedimiento

Opción A. Mediante tabla de color Munsell

Tome una pequeña porción del suelo, compare con la tabla Munsell escogiendo el color y anote el matiz, el brillo y la intensidad. Por ejemplo, el color especificado como 10YR2/1 es el negro (figura 14).

El *HUE* es el color del espectro dominante y se relaciona con la longitud de onda correspondiente a dicho color. Se vincula al color del material originario sin procesos.

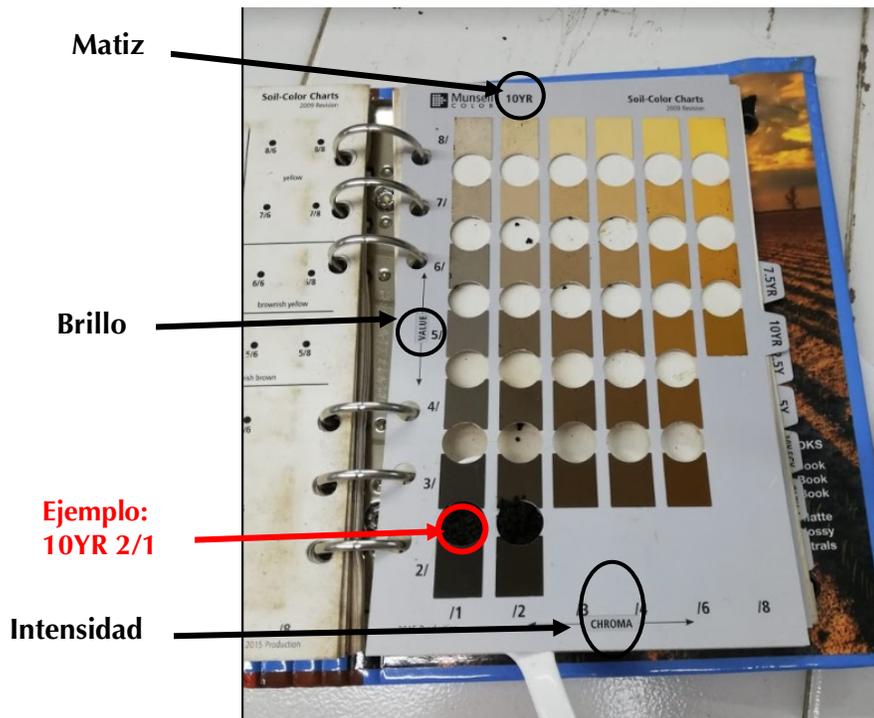


Figura 14. Determinación del color del suelo mediante la tabla Munsell.

Fuente: elaboración propia.

El *value* indica la relativa intervención del eje de la neutralidad (*value* bajo: negro a gris muy oscuro, *value* alto: gris claro hacia blanco). Se reconoce como la luminosidad o brillo y expresa la proporción de luz reflejada.



La Universitat Politècnica de València tiene un video sobre [cómo usar la tabla Munsell para determinar el color del suelo.](#)

El *chroma* expresa la pureza relativa del color del matiz específico. La pureza 0 correspondería al color gris, de modo que si la pureza se anula, el matiz carece de importancia porque no existe. En este caso, se utiliza la letra N de neutro sin asignar valor de pureza.

Opción B. Cuando no se dispone de una tabla Munsell

Tome un terrón del suelo y compare el cambio del color usando las tres fotografías de la tabla 10.

Tabla 10. Puntuación del indicador de color

Menos deseable = 0	Moderada = 1	Preferido = 2
		
<p>El color es significativamente más pálido, como blanco, gris claro y rojo.</p>	<p>El color es más pálido, como gris oscuro y marrón claro.</p>	<p>Colores oscuros como café oscuro y negro.</p>

Fuente: adaptada de Shepherd (2000).

Actividad



Con la tabla Munsell, relacione los colores identificados en las unidades de muestreo seleccionadas, considerando matiz, brillo e intensidad. El color se representa por el indicativo de su matiz seguido de los valores de la intensidad y la pureza separados por una barra, por ejemplo: 10YR 3/6, que corresponde a un color naranja de intensidad 3 y pureza 6.

Bibliografía

- Afanador-Barajas, L., Coca-Peña, D., Vargas-Giraldo, A., Bautista-Murcia, M., Mendoza-Hernández, A. & Vallejo-Quintero, V. (2020). Evaluación de la calidad de suelos en agroecosistemas de Colombia a través de la selección de un conjunto mínimo de datos. *Colombia Forestal*, 23(1), 54-77. <https://doi.org/10.14483/2256201X.14856>
- Alaoui, A., Barão, L., Ferreira, C. S., Schwilch, G., Basch, G., Garcia-Orenes, F., Morugan, A., Mataix-Solera, J., Kosmas, C., Glavan, M., Szabó, B., Hermann, T., Vizitiu, O., Lipiec, J., Frac, M., Reintam, E., Xu, M., Di, J., Fan, H., Sukkel, W., Lemesle, J., ... Fleskens, L. (2020). Visual assessment of the impact of agricultural management practices on soil quality. *Agronomy Journal*, 112(4), 1-16. <https://doi.org/10.1002/agj2.20216>
- Ávila, E. A. (2017). Friabilidad del suelo: métodos de estimación con énfasis en la determinación cuantitativa de la resistencia al rompimiento. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1), 81-94. <https://doi.org/10.22490/21456453.1840>
- Blanco-Canqui, H. & Francis, C. A. (2016). Building resilient soils through agroecosystem redesign under fluctuating climatic regimes. *Journal of Soil and Water Conservation*, 71(6), 127-133. <https://doi.org/10.2489/jswc.71.6.127A>
- Bünemann, E. K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R. E., De Deyn, G., De Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T., Mäder, P., Pulleman, M., Sukkel, W., van Groenigen, J. & Brussaard, L. (2018). Soil quality-A critical review. *Soil Biology and Biochemistry Journal*, 120, 105-125. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2018.01.030>
- Burgos, T. D., Slater, B. K., Tirado, R. & Shaffer, J. M. (2019). Assessment of long-term tillage practices on physical properties of two Ohio soils.

ScienceDirect, 186, 270-279.

<https://doi.org/10.1016/j.still.2018.11.004>

Castioni, G., Cherubin, M., Menandro, L., Sanches, G., Bordonal, R., Barbosa, L., Franco, H. & Carvalho, J. (2018). Soil physical quality response to sugarcane straw removal in Brazil: A multi-approach assessment. *Soil and Tillage Research*, 184, 301-309.

<https://doi.org/10.1016/j.still.2018.08.007>

Cock, J., Álvarez, D. M. & Estrada, M. (2010). *Rapid soil and terrain assessment. Guía práctica para la caracterización del suelo y del terreno*. Centro Internacional de Agricultura Tropical.

Do Nascimento, D., Cavalieri-Polizeli, K., Da Silva, A., Favaretto, N. & Parron, L. M. (2018). Soil physical quality under long-term integrated agricultural production systems. *ScienceDirect*, 186, 292-299.

<https://doi.org/10.1016/j.still.2018.08.016>

Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas. (2016). *Proyecto Académico de Programa - Ingeniería Ambiental*.

FAO. (2006). *Guidelines for soil description*. <http://www.fao.org/3/a-a0541e.pdf>

FAO. (2018). *Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales*. <https://bit.ly/3gVFX2M>

Ferreras, L., Toresani, S., Bonel, B., Fernández, E., Bacigaluppo, S., Faggioli, V. & Beltrán, C. (2009). Parámetros químicos y biológicos como indicadores de calidad del suelo en diferentes manejos. *Ciencia del Suelo*, 27(1), 103-114.

García, Y., Ramírez, W. & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138.

<http://scielo.sld.cu/pdf/pyf/v35n2/pyf01212.pdf>

Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2012). *Estudio de los conflictos de uso del territorio colombiano a escala 1:100.000*.

Igalavithana, A. D., Farooq, M., Kim, K. H., Lee, Y. H., Qayyum, M. F., Al-Wabel, M. I., Lee, S. & Ok, Y. S. (2018). Correction to: Determining

- soil quality in urban agricultural regions by soil enzyme-based index. *Environmental Geochemistry and Health*, 40(1), 559.
<https://doi.org/10.1007/s10653-017-0043-2>
- Juhos, K., Czigány, S., Madarász, B. & Ladányi, M. (2019). Interpretation of soil quality indicators for land suitability assessment – A multivariate approach for Central European arable soils. *Ecological Indicators*, 99, 261-272.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.11.063>
- Medina, C., Camacho-Tamayo, J. & Cortés, C. (2012). Soil penetration resistance analysis by multivariate and geostatistical methods. *Engenharia Agrícola*, 32(1), 91-101.
- Montanarella, L. (2015). Govern our soils. *Nature*, 528(7580), 32-33.
<https://doi.org/10.1038/528032a>
- Mueller, L., Schindler, U., Behrendt, A., Eulenstein, F., Dannowski, R., Smolentseva, E., & Rogasik, J. (2007). *The Muencheberg Soil Quality Rating (SQR). Field manual for detecting and assessing properties and limitations of soils for cropping and grazing.*
<https://bit.ly/37nMcJF>
- Mueller, L., Shepherd, G., Schindler, U., Ball, B. C., Munkholm, L. J., Hennings, V., Smolentseva, E., Rukhovic, O., Lukin, S. & Hu, C. (2013). Evaluation of soil structure in the framework of an overall soil quality rating. *Soil and Tillage Research*, 127, 74-84.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2012.03.002>
- Murphy, B. W., Crawford, M. H., Duncan, D. A., McKenzie, D. C. & Koen, T. B. (2013). The use of visual soil assessment schemes to evaluate surface structure in a soil monitoring program. *Soil and Tillage Research*, 127, 3-12. <https://doi.org/10.1016/j.still.2012.06.003>
- Nezperce. (2004). *Palouse and Nezperce Prairies soil quality card guide. Accompanies the Palouse and Nezperce Prairies Soil quality indicator card.* http://pnwsteep.wsu.edu/onfarmtesting/sq_guide.pdf
- Pellegrini, S., Agnelli, A. E., Andrenelli, M. C., Barbetti, R., Lo Papa, G., Priori, S. & Costantini, E. A. (2018). Using present and past climosequences to estimate soil organic carbon and related

- physical quality indicators under future climatic conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 266, 17-30.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.015>
- Pulido, M., Gabriels, D., Lobo, D., Rey, J. C., & Cornelis, W. M. (2014). Visual field assessment of soil structural quality in tropical soils. *Soil and Tillage Research*, 139, 8-18.
<https://doi.org/10.1016/j.still.2014.01.002>
- Rabot, E., Wiesmeier, M., Schlüter, S. & Vogel, H.-J. (2017). Soil structure as an indicator of soil functions: a review. *Geoderma*, 314, 122-137.
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.009>
- Rajkai, K., Tóth, B., Barna, G., Hernádi, H., Kocsis, M. & Makó, A. (2015). Particle-size and organic matter effects on structure and water retention of soils. *Biología*, 70(11), 1456-1461.
<https://doi.org/10.1515/biolog-2015-0176>
- Reidy, B., Simo, I., Sills, P. & Creamer, R. E. (2016). Pedotransfer functions for Irish soils - estimation of bulk density (ρ_b) per horizon type. *SOIL*, 2(1), 25-39. <https://doi.org/10.5194/soil-2-25-2016>
- Sánchez, P. A., Palm, C. A. & Buol, S. W. (2003). Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics. *Geoderma*, 114, 157-185. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00040-5](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00040-5)
- Shepherd, G. (2000). *Visual soil assessment. Field guide for cropping and pastoral grazing on flat to rolling country.*
http://orgprints.org/30582/1/VSA_Volume1_smaller.pdf
- Tuckombil Landcare Inc. (2002). *Northern rivers soil health card.*
<http://attra.ncat.org>
- USDA. (1999). *Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo.*
<https://bit.ly/3oZd8Fr>
- USDA. (2014). *Soil health card for Georgia's producers.*
- USDA. (2017). *Soil survey manual.*
www.iec.cat/mapasols/DocuInteres/PDF/Llibre50.pdf
- Väderstad. (2016). *Your guide to visual soil assessment.* <https://bit.ly/3r4vmaw>

- Vallejo-Quintero, V. E. (2013). Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles. *Colombia Forestal*, 16(1), 83-99. <http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v16n1/v16n1a06.pdf>
- Willamette Valley. (2009). *Soil quality card guide*.
- Yu, P., Han, D., Liu, S., Wen, X., Huang, Y. & Jia, H. (2018). Soil quality assessment under different land uses in an alpine grassland. *Catena*, 171, 280-287. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.07.021>
- Zornoza, R., Acosta, J. A., Bastida, F., Domínguez, S. G., Toledo, D. M. & Faz, A. (2015). Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. *SOIL*, 1, 173-185. <https://doi.org/10.5194/soil-1-173-2015>

Anexos



Anexo 1. Tarjeta de calidad del suelo

Realizado por: _____ Ubicación: _____ Fecha: _____ Cultivo: _____

Indicador	Menos deseable –Preferido					Observaciones	Valor del indicador		
	0	0,5	1	1,5	2		0	1	2
Estructura y consistencia						Sin estructura (suelta o masiva) o cualquier tipo de estructura. De los terrones encontrados, se tiene una estructura granular muy pobre y poco consistente. Por lo tanto, el suelo es dominado por terrones extremadamente gruesos, muy firmes y con muy pocos agregados finos.	Estructura prismática, granular, columnar, bloque y laminar que presenta pocos terrones encontrados, estructura granular irregular y moderadamente consistentes. El suelo contiene proporciones significativas de terrones gruesos (firmes, subangulares o angulares y con pocos o ningún poro) y agregados finos y friables.	Estructura prismática, granular, columnar, bloque y laminar. Los agregados o <i>peds</i> están bien formados y son muy evidentes <i>in situ</i> . Los agregados son generalmente subrondeados (nuez) y a menudo bastante porosos y muy consistentes.	

Porosidad del suelo						No cuenta con macroporos ni microporos y se visualiza un terrón o muestra de suelo con una superficie lisa donde se encuentran pocas o ninguna grieta o agujero.	Los macroporos y microporos gruesos del suelo han disminuido significativamente, pero están presentes partes estrechas del suelo, lo que demuestra una cantidad moderada de consolidación.	Se presentan varios macroporos y microporos gruesos entre y dentro de los agregados, lo que se asocia con una buena estructura del suelo.
Resistencia al rompimiento por horizonte						Se requiere de mucha fuerza para deformar el terrón y es difícil de trabajar.	Algo difícil de trabajar, el terrón se rompe con algo de presión.	Desmenuzable, fácil de trabajar y se rompe fácilmente.
Capas endurecidas						Se encuentran varias capas endurecidas.	Se encuentran pocas capas endurecidas.	No se encuentran capas compactadas.
Velocidad de infiltración						Más de 7 minutos. Hay excesiva escorrentía, estanqueidad o muy baja capacidad de retención de agua.	De 3 a 7 minutos. Existe alguna escorrentía o poca capacidad de retención de agua.	Menos de 3 minutos. Se presenta muy poca escorrentía y buena retención de agua.
Resistencia a la penetración						La sonda de alambre no penetra.	La sonda de alambre penetra con dificultad a menos de 20 cm.	La sonda de alambre penetra fácilmente hasta 20 cm.
Color						El color es significativamente más pálido, como blanco, gris claro y rojo.	El color es más pálido, como gris oscuro y marrón claro.	Colores oscuros como café oscuro y negro.



Anexo 2. Tarjeta de puntuación

Fecha	Nombre del cultivo analizado	Ubicación	Edad

Tipo de estructura: _____ Color (tabla Munsell): _____

Capas endurecidas		Profundidad del penetrómetro (MPa)	Tiempo de infiltración (min)
Profundidad	Grosor		

Indicadores visuales de calidad del suelo	Puntuación visual 0= menos deseable 1= moderada 2= preferido	Ponderación de los indicadores	Clasificación EVS
Estructura y consistencia (Tabla 3)		x3	
Porosidad (Tabla 4)		x3	
Resistencia al rompimiento (Tabla 5)		x2	
Capas endurecidas (Tabla 7)		x1	
Resistencia a la penetración (Tabla 8)		x2	
Velocidad de infiltración (Tabla 9)		x3	
Color (Tabla 10)		x2	
Puntuación de la clasificación EVS (suma de las clasificaciones EVS)			

Puntuación de la calidad visual del suelo	Puntaje de clasificación EVS
Mala calidad	<10
Moderada calidad	10-25
Buena calidad	>25

Observaciones:
