

# Guía para la evaluación visual de la calidad del suelo



**Elke Noellemeyer**

Lucila Álvarez, Emmanuel Leizica, Florencia Gómez

Cátedra de Edafología y Manejo de Suelos  
Facultad de Agronomía  
Universidad Nacional de La Pampa

**Alberto Quiroga**

Romina Fernández, Ileana Frasier, Cristian Álvarez

**INTA Anguil, La Pampa**  
2021

Adaptado de: Shepherd, T. G., Stagnari, F., Pisante, M. and Benites, J. 2008.  
*Visual Soil Assessment – Field guide for annual crops*. FAO, Rome, Italy.



# Introducción

---

El mantenimiento de la buena calidad del suelo es vital para la sustentabilidad ambiental y económica de los sistemas de producción agropecuarios. Las pérdidas en la calidad del mismo tienen un impacto marcado en el rendimiento y la calidad de los cultivos, aumentan los costos de producción e incrementan el riesgo de erosión. La degradación de las propiedades físicas del suelo tiene un impacto importante sobre el ambiente y los servicios ecosistémicos y su restauración requiere un tiempo y un costo considerable. Salvaguardar los recursos del suelo para las generaciones futuras y minimizar la huella ecológica de los cultivos anuales son tareas importantes para los que toman las decisiones sobre el uso de la tierra y el manejo de los cultivos.

A menudo, no se presta suficiente atención a:

- el rol fundamental de la calidad del suelo en una producción eficiente y sostenida;
- el efecto de la condición del suelo sobre la productividad y el beneficio económico;
- la planificación a largo plazo, necesaria para mantener una buena calidad del suelo;
- el efecto de las decisiones de manejo de la tierra y de los cultivos sobre la calidad del suelo.

El tipo de suelo y el efecto del manejo sobre la condición de este son determinantes importantes de la productividad de las tierras. Los profesionales agrónomos necesitan herramientas que sean confiables, rápidas y fáciles de usar para evaluar la condición de sus suelos y su idoneidad para distintos sistemas de producción y tipos de cultivos. Estas herramientas son imprescindibles para decisiones sobre estrategias de manejo informadas que conducirán a una gestión sustentable de la producción agropecuaria. La **Evaluación Visual del Suelo (EVS)** proporciona un método rápido y simple para evaluar la condición del recurso e identificar limitantes para el rendimiento de los cultivos. También se puede utilizar para evaluar la idoneidad y las limitaciones de un suelo para cultivos anuales. Los suelos con buenos puntajes generalmente darán la mejor producción con los menores costos de insumos externos.

# El método EVS

---

La evaluación visual del suelo se basa en la observación y valoración del estado de variables clave del suelo y del rendimiento de los cultivos a través de indicadores de la calidad del mismo, las cuales se presentan en un cuadro sinóptico. Con la excepción de la textura del suelo, los indicadores son dinámicos, es decir, capaces de cambiar bajo diferentes manejos y usos de suelo, y reflejan las presiones por el uso de la tierra. Al ser sensibles a las presiones de distintas prácticas de manejo, son indicadores de alerta temprana de cambios en la condición del suelo y, como tal, proporcionan una herramienta de seguimiento y monitoreo eficaz.

## Puntuación visual

A cada indicador se le asigna una puntuación visual de 0 (pobre), 1 (moderado) o 2 (bueno), según la calidad del suelo observada al comparar una muestra del mismo con tres fotografías de los distintos estados del parámetro observado, presentadas en la guía de campo. La puntuación es flexible, por lo que, si la muestra que se está evaluando no se alinea claramente con ninguna de las fotografías, pero se encuentra entre dos, se puede dar una puntuación intermedia, es decir, 0,5 o 1,5.

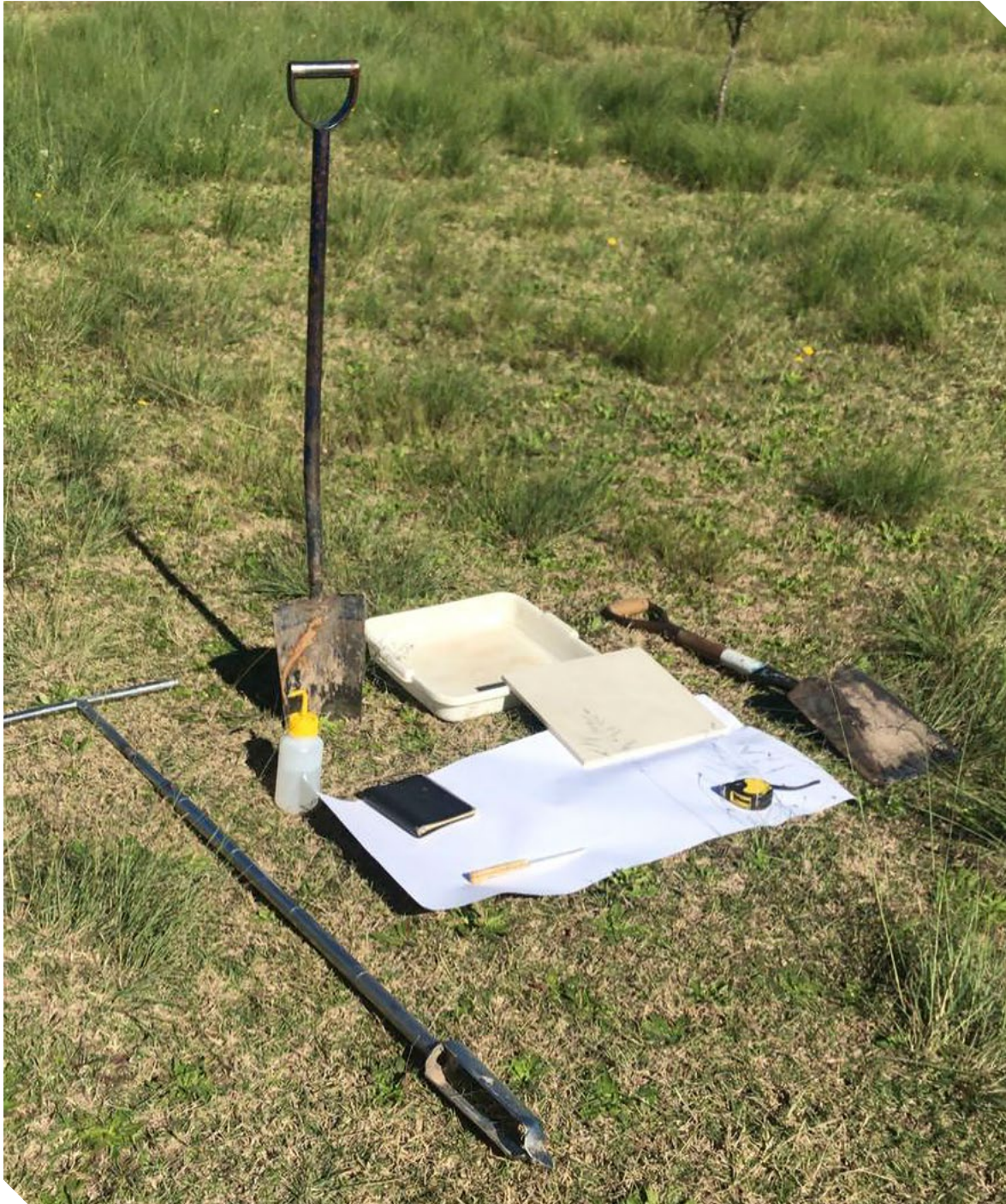
Debido a que algunos indicadores del suelo son relativamente más importantes en la evaluación de la calidad del mismo que otros, la EVS proporciona distintos factores de ponderación (1, 2 y 3). La suma de las clasificaciones da el total del puntaje del índice de calidad del suelo para la muestra que se está evaluando. Comparando esto con la escala de calificación en la parte inferior de la ficha de puntuación, se determina si el suelo está en buenas, moderadas o malas condiciones.

# El kit de herramientas EVS

---

El juego de herramientas EVS (Figura 1) comprende:

- **un barreno tubular o de pala** – para la toma de muestras para el análisis químico y para explorar la profundidad del perfil del suelo, detectar un fragipan o duripan, o el nivel freático;
- **una pala de punta y otra ancha** – para cavar una pequeña calicata y tomar un cubo de tierra de 20 cm de cada lado para la prueba de estructura del suelo;
- **una bandeja de plástico** (de unos 45 cm de largo × 35 cm de ancho × 25 cm de profundidad) – para contener el suelo durante la prueba de rotura por caída;
- **una tabla cuadrada dura** (aproximadamente 26 × 26 × 2 cm) – para encajar en la parte inferior del recipiente de plástico sobre el que se coloca el cubo de tierra para la prueba de rotura;
- **una lona o bolsa de plástico resistente** (aproximadamente 75 × 50 cm) – sobre la que se va a extender el suelo, después de la prueba de rotura de caída;
- **un cuchillo** (preferiblemente 20 cm de largo) – para explorar el perfil del suelo y la profundidad potencial y efectiva de enraizamiento;
- **una botella de agua** – para evaluar la clase de textura del suelo en el campo;
- **una piceta de ácido clorhídrico al 10%** – para evaluar la presencia de carbonato de calcio;
- **una cinta métrica** – para medir la profundidad potencial y efectiva de enraizamiento;
- **una guía de campo de EVS** – para hacer las comparaciones fotográficas;
- **un bloque de fichas de puntuación** – para registrar el valor para cada indicador;
- cualquier **instrumento que permita georeferenciar** el sitio de evaluación, con la finalidad de poder realizar un seguimiento en el tiempo.



▲ **Figura 1.** *Kit de herramientas para realizar la evaluación visual de la calidad del suelo: pala ancha y de punta, barreno, bandeja de plástico, placa dura, lona, cinta métrica, cuchillo, piceta con agua y otra con ácido clorhídrico al 10% para suelos calcáreos.*



# El procedimiento

---

## Cuándo debe realizarse

El muestreo debe realizarse cuando los suelos están húmedos en condiciones para ser sembrados. Si usted no está seguro, aplique la “prueba de chorizo”. Haga un chorizo de suelo en la palma de una mano hasta que tenga 5 cm de largo y 4 mm de grosor. Si el suelo se agrieta antes de que se forme el chorizo, o si no puede formar un chorizo (por ejemplo, si el suelo es arenoso), el suelo es adecuado para la prueba. Si puede hacer el chorizo, el suelo está demasiado húmedo.

## Configurar el muestreo

El muestreo llevará aproximadamente 25 minutos por sitio. Para una evaluación representativa de la calidad del suelo, se deben muestrear 4 o 5 sitios para cada ambiente representativo del establecimiento. Los sitios deben estar a una distancia mínima de 100 m entre sí. Para establecer las áreas correspondientes a cada ambiente, el campo debe estar zonificado (ambientado) de acuerdo con criterios científicamente fundados, que tengan un comprobado efecto sobre la calidad y productividad de las tierras. Los mapas de suelos son herramientas útiles para determinar distintos ambientes y esta información, combinada con otros criterios o capas de información, debe ser la base de la zonificación o ambientación.

## Muestra de referencia

Tome una pequeña muestra de suelo (aproximadamente 10 × 5 cm de superficie y 10 cm de profundidad) en un área protegida sin disturbar del mismo ambiente (si existe, cercano al lote en cuestión). Si no, se puede tomar una muestra en un lote que ha mostrado alta productividad o en otro lugar que haya sufrido pocos disturbios por el uso agrícola, siempre correspondientes al mismo ambiente. Esto proporciona una muestra del estado deseado del suelo y es necesaria para asignar la puntuación correcta para el indicador de color del suelo. Además, la muestra facilita un punto de referencia para comparar la estructura y la porosidad del suelo.

## Sitios

Seleccione sitios que sean representativos del campo y del ambiente, y evite las áreas que puedan haber tenido más tráfico que el resto del campo y tome las muestras entre carriles de tráfico de maquinaria, aléjese de los alambrados actuales y antiguos, aguadas, cierres de melga. Registre siempre la posición de los sitios con GPS para un seguimiento futuro y determine el punto de muestreo del suelo para determinaciones de sus propiedades químicas, físicas y biológicas.

## Información del sitio

Complete la sección de información del sitio en la parte superior del cuadro de evaluación y anote cualquier observación especial en la parte inferior del cuadro.

## Como se realiza la evaluación

### Observación inicial

Excave una pequeña abertura del perfil del suelo de 20 × 20 cm de superficie por 20 cm de profundidad con una pala y observe la capa superior del suelo (y el subsuelo superior si está presente) en términos de su uniformidad, incluyendo si el suelo es blando y friable (moldeable) o duro y firme. Un cuchillo es útil para ayudarlo a evaluar esto.



▲ **Figura 2.** Marcación para la toma de la muestra.

## Toma de la muestra para la prueba

Si la capa superior del suelo parece uniforme, marque y retire un cubo de 20 cm de cada lado con la pala. Puede tomar muestras de la profundidad de suelo que desee, pero asegúrese de tomar la muestra equivalente a un cubo de 20 cm. Si, por ejemplo, los 10 cm superiores del suelo están compactados y desea evaluar su estado, extraiga dos muestras de 20×20×10 cm con una pala. Si la profundidad de 10–20 cm está dominada por un piso de arado y desea evaluar su estado, retire el estrato superficial de 10 cm de suelo y excave dos muestras de 20×20×10 cm. La muestra debajo de la capa superior del suelo también puede brindar información valiosa sobre la condición del subsuelo y sus implicaciones para el crecimiento de las plantas y las prácticas de manejo agrícola, por ejemplo la presencia de compactaciones subsuperficiales, capas freáticas, planchas de tosca, horizontes Bt muy fuertes, etc.

## La prueba de caída

Deje caer la muestra de prueba un máximo de tres veces desde una altura de 1 m sobre el cuadrado de madera en la palangana de plástico. El número de veces que se deja caer la muestra y la altura desde la que se deja caer depende de la textura del suelo y el grado en que se rompe, como se describe en la sección de estructura del suelo.

Es necesario trabajar sistemáticamente a través del cuadro de evaluación, asignando un valor a cada indicador comparándolo con las fotografías (o tabla) y la descripción reportada en la guía de campo.

La ficha de puntuación del suelo se muestra en la Figura 3 y contiene los indicadores claves del “estado” del suelo requeridos para evaluar su calidad. Cada indicador se describe en las páginas siguientes, con una sección sobre cómo evaluar cada uno de ellos y una explicación de su importancia y lo que revela sobre el estado del suelo.



▼ **Figura 3.** Ficha de evaluación de suelos, y cálculo de los indicadores de evaluación visual y del índice de calidad del suelo.

Ficha para la Evaluación de Suelos – Indicadores visuales para evaluar la calidad de suelos agrícolas			
Propietario: _____	Uso del suelo: _____		
Ubicación del sitio – potrero: _____	Coordenadas: _____		
Ambiente: _____	Fecha: _____		
Profundidad de la muestra: _____	Clasificación taxonómica: _____		
Posición en el relieve: _____	Clasificación de uso: _____		
Clase textural en superficie	Franco <input type="checkbox"/>	Arenoso <input type="checkbox"/>	Limoso <input type="checkbox"/>
	Arcilloso <input type="checkbox"/>	Otra <input style="width: 50px;" type="text"/>	
Humedad	Seco <input type="checkbox"/>	Poco Húmedo <input type="checkbox"/>	Húmedo <input type="checkbox"/>
	Muy Húmedo <input type="checkbox"/>	Mojado <input type="checkbox"/>	
INDICADORES VISUALES DE CALIDAD DE SUELOS	Evaluación visual (EV) 0= condición pobre 1= condición moderada 2= condición buena	Ponderación	EV
Textura <span style="float: right;">Pág. 10</span>		×3	
Estructura <span style="float: right;">Pág. 13</span>		×3	
Porosidad <span style="float: right;">Pág. 16</span>		×3	
Color <span style="float: right;">Pág. 18</span>		×2	
Moteados <span style="float: right;">Pág. 21</span>		×2	
Lombrices/Mesofauna <span style="float: right;">Pág. 23</span>		×3	
Profundidad de raíces <span style="float: right;">Pág. 27</span>		×3	
Compactación <span style="float: right;">Pág. 31</span>		×3	
Encharcamiento <span style="float: right;">Pág. 33</span>		×1	
Costras/cobertura <span style="float: right;">Pág. 35</span>		×2	
Erosión eólica/hídrica <span style="float: right;">Pág. 37</span>		×2	
Salinidad/alcalinidad <span style="float: right;">Pág. 40</span>		×3	
<b>ÍNDICE DE CALIDAD DE SUELO</b> (suma de puntajes EV)			
Evaluación de la calidad del suelo	Índice de Calidad		
Pobre	0-30	<input type="checkbox"/>	
Moderado	30-45	<input type="checkbox"/>	
Bueno	45-60	<input type="checkbox"/>	

# Evaluación de la **textura**

---

- 1 ▪ Tome una pequeña muestra de suelo de la capa superior y una muestra (o muestras) que sea (o sean) representativa/s del subsuelo.
- 2 ▪ Humedezca el suelo con agua, amase en la palma de la mano con su pulgar e índice hasta el punto de máxima adherencia.
- 3 ▪ Evalúe la textura del suelo de acuerdo con los criterios especificados en la Figura 4.

Con experiencia, una persona puede evaluar la textura directamente estimando los porcentajes de arena, limo y arcilla por tacto, y la clase de textura obtenida por referencia al triángulo textural (Figura 5). Asigne la calificación de acuerdo a los criterios de Tabla 1.

## Importancia

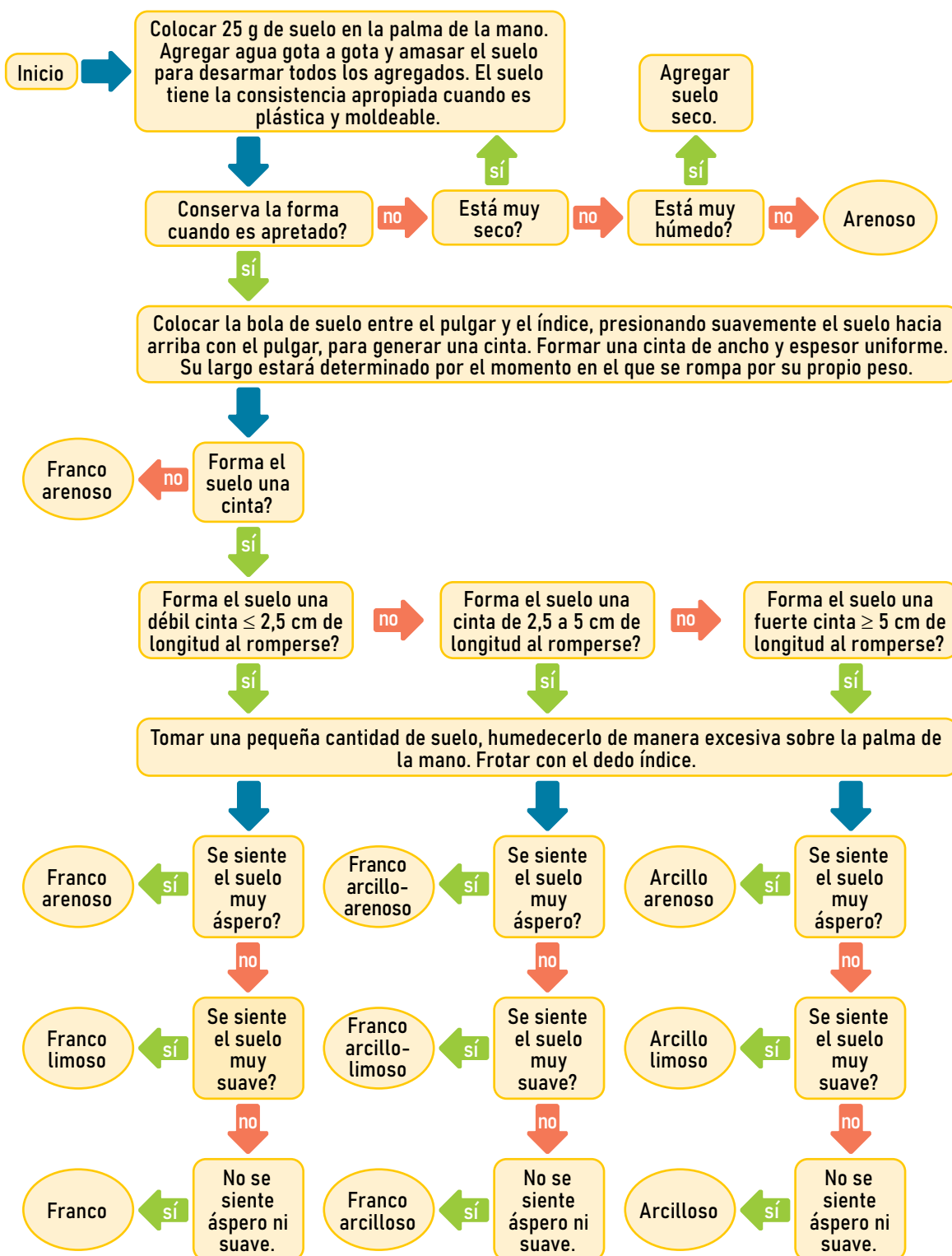
La **textura del suelo** define la distribución del tamaño de las partículas minerales. Específicamente, se refiere a la proporción relativa de los distintos tamaños de partículas minerales en el suelo, es decir, arena, limo y arcilla. La fracción arena tiene un tamaño de partícula  $> 0,05$  mm; el limo varía entre 0,05 y 0,002 mm; y el tamaño de partícula de arcilla es  $< 0,002$  mm. La textura influye en el comportamiento del suelo de varias formas, especialmente a través de su efecto sobre:

- retención y disponibilidad de agua;
- estructura del suelo;
- aireación;
- drenaje;
- trabajabilidad y transitabilidad del suelo;
- vida del suelo;
- suministro y retención de nutrientes.

El conocimiento tanto de la clase textural como de las profundidades de enraizamiento efectiva y potencial, permite una aproximación a la capacidad total de retención de agua del suelo (CRA, mm), uno de los principales factores que favorece o limita la producción agrícola. Es decir, la profundidad alcanzada por las raíces definen el espesor de suelo utilizado por el cultivo, de donde el mismo extraerá agua y nutrientes. Es importante tener en cuenta que esta profundidad puede variar entre cultivos,

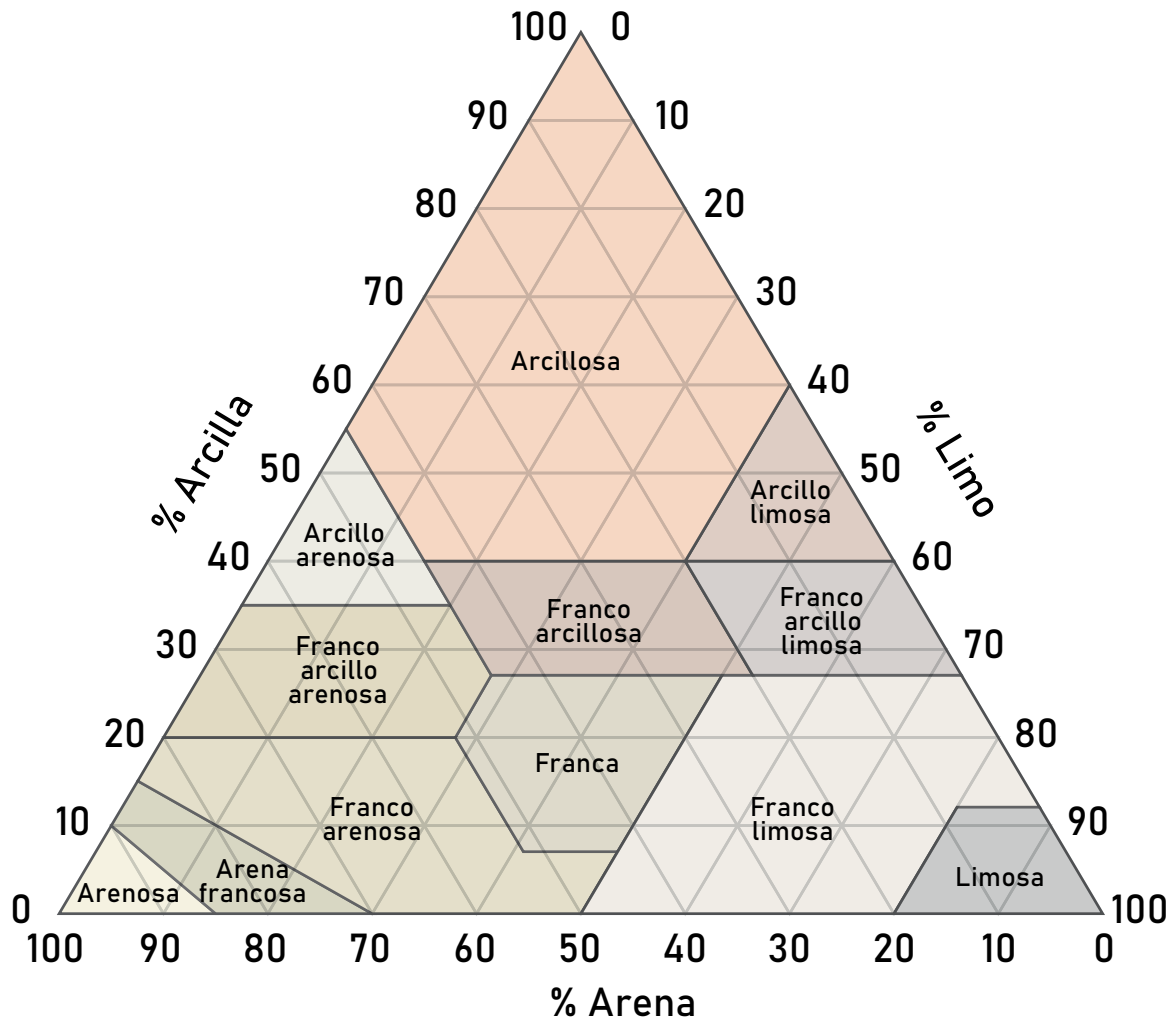
cultivares de una misma especie, fechas de siembra y momento en que se realiza la observación. De esta manera en algunos casos observaremos que la profundidad potencial de enraizamiento puede condicionar el desarrollo de las raíces, mientras que en otros casos la escasa profundidad efectiva de las raíces condiciona o limita el uso de los recursos disponibles en parte del perfil.

▼ **Figura 4.** Determinación manual de la textura del suelo en el campo





▼ **Figura 5.** Triángulo textural y clases texturales.



▼ **Tabla 1.** Evaluación de la textura del suelo

Evaluación visual - puntaje	Clase textural
2 - buena	Franco
1,5 - moderadamente buena	Franco arcilloso; Fr. arcillo arenoso; Fr. arenoso
1 - moderada	Franco limoso; Fr. arcillo limoso; Arenoso franco
0,5 - moderadamente pobre	Arcillo limoso; Arcilloso; Arcillo arenoso
0 - pobre	Arenoso

# Evaluación de la estructura

---

- 1** ▪ Retire un cubo de tierra de 20 cm cada lado con una pala de la pequeña calicata.
  
- 2** ▪ Deje caer la muestra de suelo un máximo de tres veces desde una altura de 1 m sobre una base firme en la bandeja de plástico. Si los terrones grandes se desprenden después del primer o segundo golpe, déjelos caer individualmente de nuevo una o dos veces. Si un terrón se rompe en pequeñas unidades (estructuras primarias) después del primero o segundo golpe, no es necesario volver a colocarla. No debe repetir más de tres veces. Para suelos con una textura franco arenosa (Tabla 1), deje caer el cubo de tierra una sola vez desde una altura de 0,5 m.
  
- 3** ▪ Transfiera la tierra a la bolsa plástica grande.
  
- 4** ▪ Para suelos con una textura de franco arenosa o arenosa, deje caer el cubo de tierra una vez desde una altura de solo 0,5 m directamente sobre la bolsa de plástico.
  
- 5** ▪ Aplicando sólo una presión muy suave, intente separar cada terrón con la mano a lo largo de las grietas o fisuras. Si el terrón no se separa fácilmente, no aplique más presión (porque las grietas y fisuras probablemente no son continuas y, por lo tanto, no pueden conducir oxígeno, aire y agua fácilmente).
  
- 6** ▪ Mueva las fracciones más gruesas a un extremo y las más finas al otro. Organice la distribución de agregados en la bolsa de plástico para que la altura del suelo sea aproximadamente la misma en toda la superficie de la bolsa. De este modo, se proporciona una medida de la distribución del tamaño de los agregados. Luego compare la distribución resultante de agregados con las tres fotografías de la Figura 6 y los criterios dados.

El método es válido para una amplia gama de condiciones de humedad, pero se lleva a cabo mejor cuando el suelo es húmedo a levemente húmedo; evite las condiciones secas y muy húmedas.

## Importancia

La **estructura del suelo** es extremadamente importante para los cultivos. Regula:

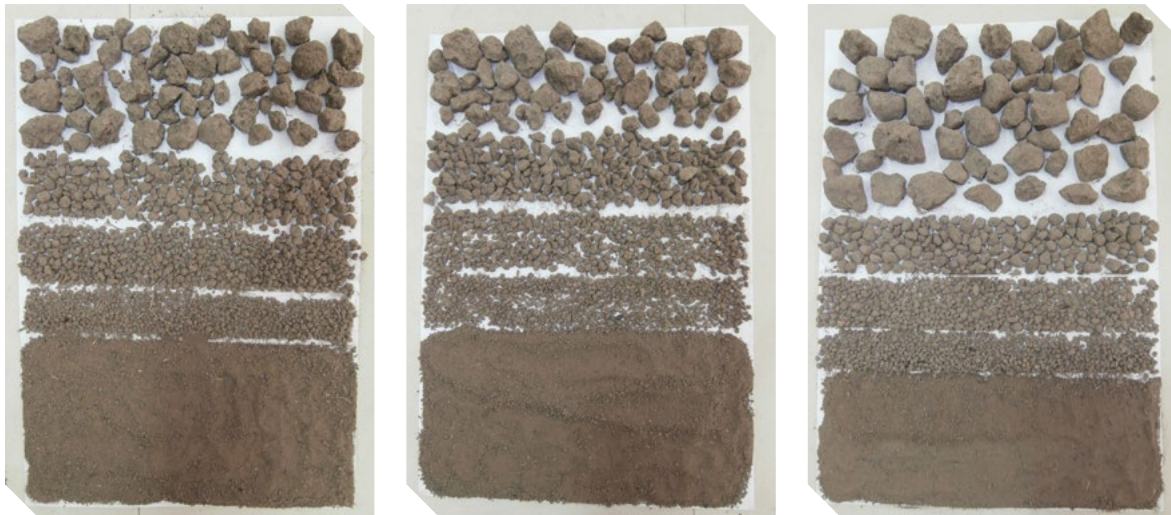
- aireación del suelo y tipos de cambio gaseosos;
- temperatura del suelo;
- infiltración y erosión del suelo;
- movimiento y almacenamiento de agua;
- suministro de nutrientes;
- penetración y desarrollo de la raíz;
- trabajabilidad del suelo;
- transitabilidad del suelo;
- la resistencia de los suelos a la degradación estructural.

Una buena estructura del suelo reduce la susceptibilidad a la compactación por el tráfico de maquinaria y el pisoteo de los animales, aumenta la ventana de oportunidad para las labranzas, la siembra directa y para cosecha. La estructura del suelo se clasifica según el tamaño, la forma, la firmeza, la porosidad y la abundancia relativa de agregados de distintos tamaños. Los suelos con buena estructura son friables, finos, porosos. Además, tienen agregados migajosos, granulares o subangulares, mientras que aquellos con estructura pobre tienen agregados grandes, densos, muy firmes, y angulares o laminares, que encajan y empaquetan muy juntos y tienen muy alta resistencia (penetrómetro), además de la escasa presencia de raíces en el interior de los agregados.



▲ **Figura 6.** Estructura granular (izquierda) y bloques angulares (derecha).





▲ **Figura 7.** Distribución de los tamaños de agregados en condición buena, moderada y pobre, de izquierda a derecha.

▼ **Tabla 2.** Valoración de la estructura del suelo.

Condición buena	Condición moderada	Condición pobre
Buena proporción de macro y meso agregados, forma redondeada, porosos.	Menor proporción de macroagregados, mayor porcentaje de microagregados. Forma más angular, menor porosidad.	Alta proporción de macroagregados, angulares, compactos, ídem meso agregados.
puntaje 2	puntaje 1	puntaje 0

# Evaluación de la porosidad del suelo

---

- 1 ▪ Retire una rodaja de suelo (de unos 10 cm de ancho, 15 cm de largo y 20 cm de profundidad) del costado de la calicata y rompa la porción por la mitad.
- 2 ▪ Examine la cara fresca expuesta de la muestra para ver la porosidad del suelo, comparándola con las tres fotografías en la Figura 8. Busque los espacios, huecos, agujeros, grietas y fisuras entre y dentro de los agregados del suelo.
- 3 ▪ Examine también la porosidad de varios agregados grandes de la prueba de estructura del suelo. Esta proporciona información adicional importante en cuanto a la porosidad de los terrones individuales (la porosidad intra-agregado).

## Importancia

Es importante evaluar la **porosidad del suelo** en conjunto con la estructura del mismo. La porosidad, y particularmente la macroporosidad (o poros grandes), influye en el movimiento del aire y el agua en el suelo. Los suelos con buena estructura tienen una alta porosidad entre y dentro de los agregados, pero los suelos con estructura pobre pueden no tener macroporos dentro de los terrones grandes, lo cual restringe su capacidad de drenaje y aireación. A su vez, una aireación deficiente conduce a la acumulación de dióxido de carbono, metano y gases sulfurosos, y reduce la capacidad de las plantas para absorber agua y nutrientes, particularmente nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S). Las plantas solo pueden utilizar S y N en forma de sulfato oxigenado ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). Por lo tanto, las plantas requieren suelos aireados para una eficiente absorción y utilización de S y N. Es decir que una escasa macroporosidad que condiciona el uso del agua y nutrientes pone ciertas restricciones a la información obtenida de los análisis químicos de suelo que normalmente se realizan al momento de elaborar estrategias de fertilización.

El número, la actividad y la biodiversidad de los microorganismos y las lombrices de tierra, también son mayores en suelos con buena porosidad y estos organismos pueden descomponer y reciclar la materia orgánica y los nutrientes más eficientemente con buen intercambio gaseoso cuando existen suficientes macroporos para este proceso.

La presencia de poros en el suelo permite el desarrollo y proliferación de las raíces superficiales y en todo el perfil del suelo. Las raíces no pueden penetrar y crecer a través de suelos apretados y compactados, lo que restringe severamente la capacidad de la planta para utilizar el agua y los nutrientes en el suelo. Una alta resistencia a la penetración no solo limita la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas, sino que también reduce considerablemente la eficiencia de uso de los fertilizantes y aumenta la susceptibilidad de la planta a enfermedades de las raíces. El costo energético (combustible) y la potencia requerida para labrar el suelo también es mayor.

Los suelos con buena porosidad también generalmente producen menores cantidades de gases de efecto invernadero. Cuanto mayor es la porosidad, mejor es el drenaje y, por lo tanto, es menos probable que los poros del suelo se llenen de agua hasta los niveles críticos necesarios para acelerar la producción de gases de efecto invernadero, como por ejemplo óxido nitroso ( $N_2O$ ).



▲ **Figura 8.** Condición buena, moderada y pobre de porosidad, de izquierda a derecha.

▼ **Tabla 3.** Valoración de la porosidad del suelo

Condición buena	Condición moderada	Condición pobre
Presencia de muchos macro y mesoporos.	Macro y meso poros son visibles pero están en menor proporción que en la condición buena.	Agregados sin macroporos visibles, masivos y compactados. Formas más angulares de los bordes.
puntaje 2	puntaje 1	puntaje 0



# Evaluación del color del suelo

---

- 1 ▪ Compare el color de un puñado de suelo del sitio de campo con la muestra de suelo tomada debajo del alambre más cercano o un área protegida similar.
- 2 ▪ Utilizando las tres fotografías y los criterios dados (Figura 9), compare el cambio relativo del color que ha ocurrido en el suelo.
- 3 ▪ Como alternativa utilice la tabla de colores Munsell y determine el color del suelo en húmedo utilizando como referencia la imagen de los colores de suelos 10YR (Figura 10).

Como el color de la capa superficial del suelo puede variar notablemente entre los tipos de suelo, las fotografías ilustran el grado de cambio de color en lugar del color absoluto del suelo.

## Importancia

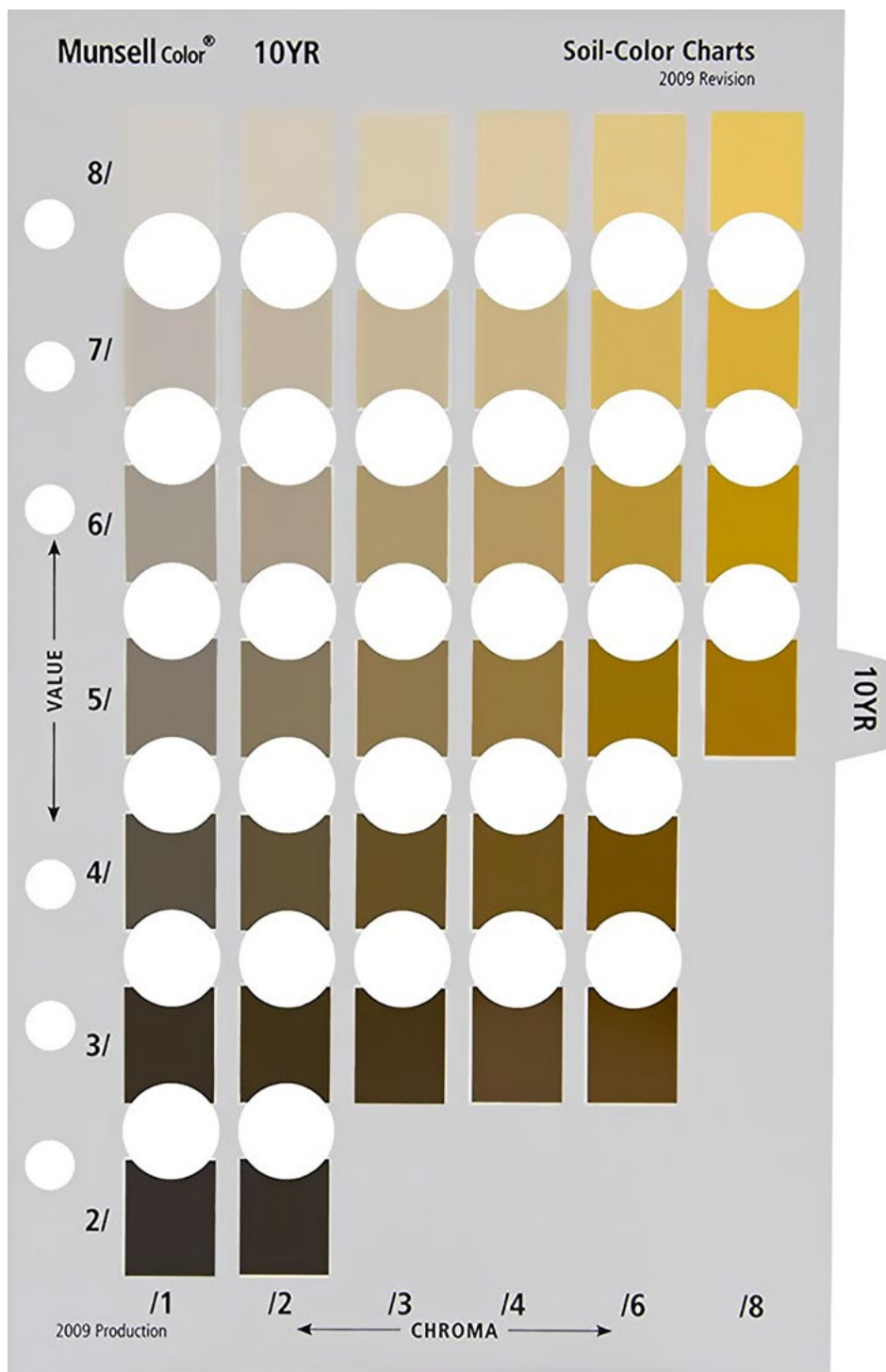
El **color del suelo** es un indicador muy útil de su calidad porque puede proporcionar una medida de otras propiedades que no se evalúan tan fácilmente. En general, cuanto más oscuro es el color, mayor es el contenido de materia orgánica del suelo (MOS). Un cambio de color puede estar indicando cambios en el nivel de la materia orgánica bajo un uso o manejo particular del suelo. La MOS juega un papel importante en la regulación de la mayoría de los procesos biológicos, químicos y físicos en el suelo, que en su conjunto determinan la salud de este. Al mismo tiempo, promueve la infiltración y retención de agua, ayuda a desarrollar y estabilizar la estructura del suelo, amortigua el impacto del tráfico y de las labranzas, reduce el potencial de erosión eólica e hídrica, e indica si el suelo está funcionando como “sumidero” de carbono o como fuente de gases de efecto invernadero. Por otra parte, la materia orgánica del suelo proporciona un importante recurso de sustratos para los organismos del suelo, y es una fuente significativa y el principal reservorio de nutrientes vegetales. Su disminución reduce la fertilidad potencial del suelo, el aporte de nutrientes y frecuentemente la eficiencia de uso del agua aportada por las precipitaciones. El resultado es una mayor dependencia en la aplicación de fertilizantes para mantener el estado de los nutrientes.

El color del suelo también puede ser un indicador útil del drenaje y del grado de aireación de este. Además de la materia orgánica, el color del suelo está influenciado notablemente por la forma química (o estado de oxidación) de hierro (Fe) y manganeso

(Mn). Colores marrón, marrón amarillento, marrón rojizo y los suelos rojos sin moteados indican condiciones bien aireadas y con buen drenaje donde Fe y Mn se presentan en forma oxidada de óxidos férrico ( $\text{Fe}^{3+}$ ) y manganésico ( $\text{Mn}^{3+}$ ). Los colores azul grisáceo pueden indicar que el suelo está mal drenado o anegado y mal aireado durante mucho tiempo, condiciones que reducen el Fe y el Mn a óxidos ferrosos ( $\text{Fe}^{2+}$ ) y manganesos ( $\text{Mn}^{2+}$ ). La mala aireación y el anegamiento prolongado dan lugar a una nueva serie de reacciones químicas y reacciones de reducción bioquímica que producen toxinas, como sulfuro de hidrógeno, dióxido de carbono, metano, etanol, acetaldehído y etileno, que dañan el sistema radicular. Esto reduce la capacidad de las plantas para absorber agua y nutrientes, provocando un vigor deficiente. La pudrición y muerte regresiva de las raíces también pueden ocurrir como resultado de plagas y enfermedades, incluyendo la podredumbre de la raíz por *Rhizoctonia*, *Pythium* y *Fusarium* en suelos propensos al anegamiento.



▲ **Figura 9.** Ejemplos de condición de color bueno, moderado y pobre.



▲ **Figura 10.** Tabla de colores Munsell 10YR.

▼ **Tabla 4.** Valoración del color del suelo.

Condición buena	Condición moderada	Condición pobre
Color marrón oscuro, similar al de la muestra de un sitio de referencia. Color Munsell 10YR 2/1, 2/2, 3/1-5	Color marrón más claro que la condición de referencia. Color Munsell 10YR 4/1-5	Color marrón muy claro, grisáceo. Color Munsell más claro que 10YR 5/1
puntaje 2	puntaje 1	puntaje 0

# Evaluación del número y color de los moteados

---

**1** ▪ Tome una muestra de suelo (aproximadamente 10 cm de ancho × 15 cm de largo × 20 cm de profundidad) del costado de la calicata y compárelo con las tres fotografías (Figura 10) y la tabla de porcentaje para determinar cantidad de suelo ocupado por moteados.

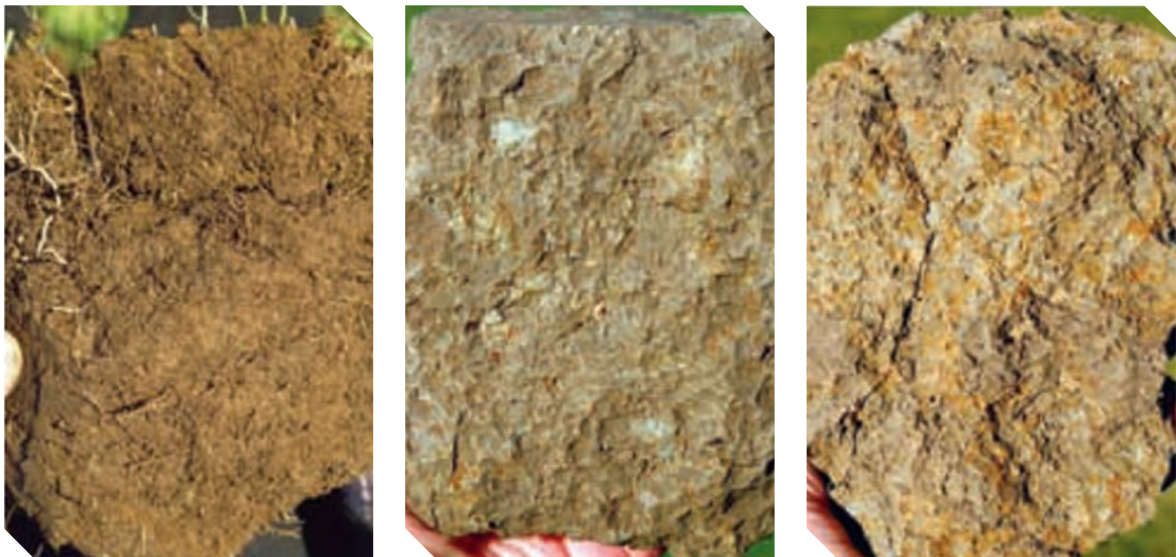
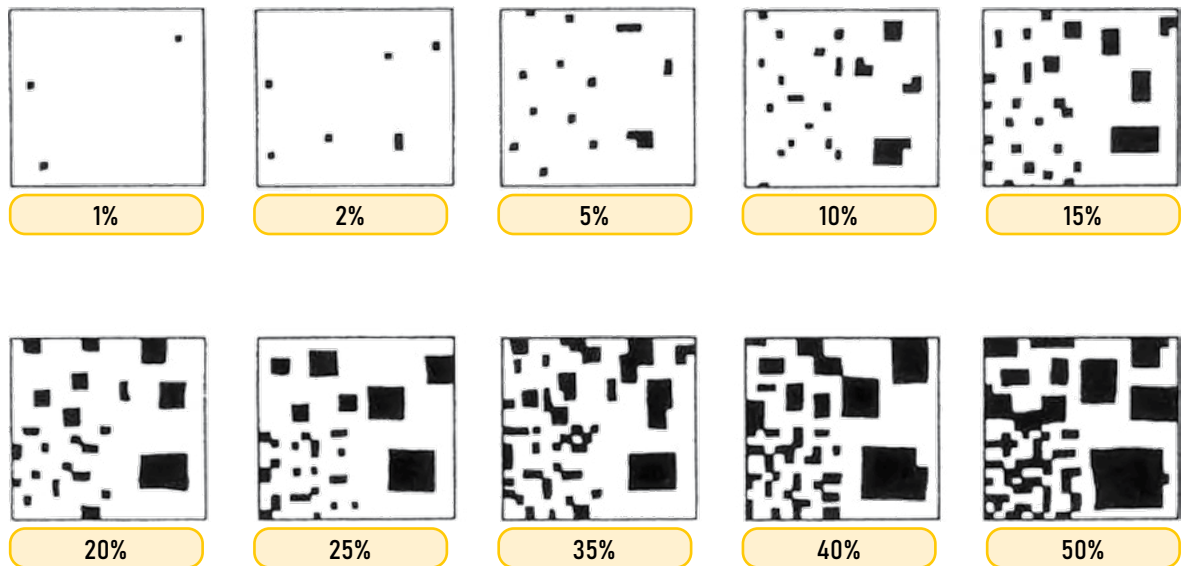
Los moteados son manchas de diferente color intercaladas con el color dominante del suelo.

## Importancia

El **número y color de los moteados** proporcionan una buena indicación del drenaje y la aireación del suelo. También son una advertencia temprana de una disminución en la estructura del suelo causada por la compactación. La pérdida de la estructura del suelo reduce el número de canales y poros que conducen el agua y el aire y, como consecuencia, puede resultar en anegamiento y en una deficiencia de oxígeno durante un período prolongado. El desarrollo de condiciones anaeróbicas (desoxigenadas) reduce el Fe y el Mn de su forma férrica oxidada ( $\text{Fe}^{3+}$ ) y mangánica ( $\text{Mn}^{3+}$ ) a ferrosa ( $\text{Fe}^{2+}$ ) y óxidos manganosos ( $\text{Mn}^{2+}$ ). Los moteados se desarrollan en varios tonos de naranja y gris debido a diversos grados de oxidación y reducción de Fe y Mn. Una abundancia de moteados grises indica que el suelo está mal drenado y aireado durante una parte significativa del año. La presencia de moteados comunes sólo de color naranja y gris (10-25 por ciento) indica que el suelo se drena imperfectamente, con solo anegamientos periódicos. Suelo con solo unos pocos moteados anaranjados indica que el suelo está moderadamente bien drenado, mientras que la ausencia de moteados indica buen drenaje.

La mala aireación reduce la absorción de agua por las plantas y puede inducir el marchitamiento. También puede reducir la absorción de nutrientes vegetales, particularmente N, P, K, S y Cu. Además, una mala aireación retarda la descomposición de los residuos orgánicos y puede causar reacciones químicas y bioquímicas de reducción que producen gases sulfurosos, metano, etanol, acetaldehído y etileno, que son tóxicos para las raíces de las plantas. Además, puede producirse pudrición y muerte regresiva de las raíces como resultado de enfermedades fúngicas como Rhizoctonia, Pythium y pudrición de la raíz por Fusarium, pudrición del pie y pudrición de la corona, en suelos fuertemente moteados y mal aireados. Las enfermedades fúngicas y la reducción de la absorción de nutrientes y del agua, dan lugar a un vigor deficiente de la planta y bajos rendimientos. Si la puntuación visual de los moteados es  $\leq 1$ , es necesario airear el suelo.





▲ **Figura 10.** Distribución porcentual de moteados y ejemplos de condición buena, moderada y pobre de moteados.

▼ **Tabla 4.** Valoración de moteados.

Condición buena	Condición moderada	Condición pobre
Color uniforme del suelo sin presencia de moteados.	Presencia de algunos (10-15%) moteados finos y medianos anaranjados y pocos moteados grises.	El suelo tiene muy abundantes (>50%) moteados grises y de color naranja.
puntaje 2	puntaje 1	puntaje 0

# Evaluación de lombrices y mesofauna del suelo

1 • Cuente las lombrices que encuentra dentro de la muestra de suelo utilizada para evaluar la estructura (Figura 12) y compárelos con los límites de clase en la Tabla 5. Las lombrices varían en tamaño y número dependiendo de la especie y la temporada. Por lo tanto, para las comparaciones de un año a otro, los recuentos deben realizarse en la misma época del año cuando los niveles de humedad y temperatura del suelo son buenos.

El número de lombrices se informa como el número por volumen de suelo excavado ( $20 \times 20 \times 20 \text{ cm} = 8000 \text{ cm}^3$ ). El número de lombrices normalmente se informa sobre una base de metros cuadrados. La muestra es equivalente a  $0.04 \text{ m}^2$ , por lo que el número de lombrices debe multiplicarse por  $1/0.04 = 25$  para convertir a números por metro cuadrado.

## Importancia

Las **lombrices del suelo** proporcionan un buen indicador de la salud biológica y el estado del suelo porque tanto el tipo de especies como su densidad poblacional se ven afectadas por las propiedades del suelo y las prácticas de manejo. A través de su excavación, alimentación, digestión y excreciones, las lombrices tienen un efecto importante sobre las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo. Desmenuzan y descomponen los residuos vegetales, convirtiéndolos en materia orgánica, y así liberando nutrientes minerales. En comparación con el suelo no ingerido, los montículos de las lombrices pueden contener cinco veces más N disponible para la planta, tres a siete veces más P, 11 veces más K y tres veces más Mg. También pueden presentar una proporción más alta de materia orgánica y un mayor contenido de agua. Además, las lombrices, junto a otros organismos de la mesofauna del suelo actúan como “ingenieros del sistema suelo”, mejorando su:

- porosidad;
- aireación;
- estructura y estabilidad de los agregados;
- retención de agua;
- infiltración de agua;
- drenaje.

Además, promueven el crecimiento de las plantas, secretando hormonas de crecimiento y aumentando la densidad de las raíces y el rápido desarrollo y crecimiento de

las mismas por los canales enriquecidos con nutrientes. Mientras que las lombrices pueden depositar alrededor de 25-30 toneladas de suelo / ha / año en la superficie, el 70 por ciento de sus montículos son depositados debajo de la superficie del suelo.

Las lombrices también aumentan la población, la actividad y la diversidad de los microorganismos del suelo. Los actinomicetos (que dan el olor característico de suelo sano) aumentan de seis a siete veces durante el paso del suelo a través del tracto digestivo de las lombrices. Los microbios del suelo, como los hongos micorrícicos, juegan un papel más importante en el suministro de nutrientes, adquiriendo y desbloqueando nutrientes, como fósforo, que son fijados por el suelo. Los microbios también retienen cantidades significativas de nutrientes en su biomasa, liberándose cuando mueren. Además, producen hormonas para el crecimiento de las plantas y compuestos que estimulan el crecimiento de las raíces y promueven la estructura, aireación, infiltración y capacidad de retención de agua del suelo. Los microorganismos fomentan una menor incidencia de plagas y enfermedades y los beneficios colectivos de los microbios pueden aumentar notablemente la producción de cultivos mientras que al mismo tiempo reducen los requerimientos de fertilizantes.

El número (y la biomasa) de lombrices se rige por la cantidad de alimento disponible como materia orgánica y microbios del suelo, según lo determinado por los cultivos utilizados, la cantidad y calidad de los residuos superficiales (Lámina 6a), el uso de rotaciones con pasturas perennes o con cultivos de cobertura y el método de labranza. Las poblaciones de lombrices pueden ser hasta tres veces mayores bajo siembra directa que en labranza convencional. El número de lombrices también se rige por la humedad, temperatura, textura y aireación del suelo, su pH, y la concentración de nutrientes (incluidos los niveles de Ca), y el tipo y la cantidad de fertilizantes utilizados. El uso excesivo de fertilizantes acidificantes a base de sales, amoníaco anhidro y amoníaco y algunos insecticidas y fungicidas pueden reducir el número de lombrices.

Los suelos deben tener una buena diversidad de especies de lombrices con una combinación de:

- (ii) especies de superficie que viven en estratos superiores del perfil para descomponer los residuos vegetales y el estiércol;
- (iii) especies que habitan en la capa superficial del suelo para excavar, ingerir y mezclar los 200–300 mm superiores de suelo;
- (iv) especies que prefieren los horizontes más profundos, que llevan hacia abajo y mezclan los residuos vegetales y la materia orgánica con el suelo mineral en profundidad.





▲ **Figura 11.** Evidencia de macro y mesofauna en el suelo.





▲ **Figura 12.** Muestra para la evaluación visual de lombrices y valoración.

▼ **Tabla 5.** Valoración del número de lombrices.

Valoración	Número de lombrices en la muestra
2 - bueno	>30
1,5 - moderadamente bueno	25-30
1 - moderado	20-25
0,5 - moderadamente pobre	10-20
0 - pobre	< 10

# Evaluación de la profundidad potencial y efectiva de enraizamiento

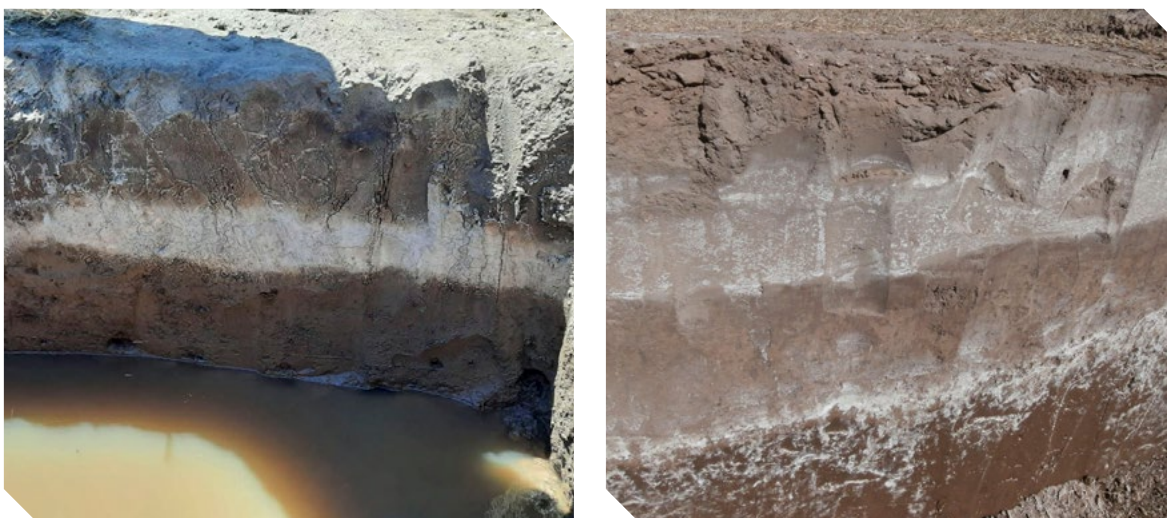
- 1 - Utilice el barreno, pala o una varilla para detectar la presencia de una capa limitante para el desarrollo de las raíces, y compare con los límites de clase en la Tabla 6.
- 2 - A medida que se profundice la muestra tomada con barreno o pala, observe la presencia de raíces y viejos canales de raíces, canales de gusanos, grietas y fisuras por donde pueden extenderse las raíces.
- 3 - Tenga en cuenta también si hay un engrosamiento excesivo o un desvío en el crecimiento de las raíces (como resultado de una alta resistencia a la penetración), y si estas se ven obligadas a crecer horizontalmente, también conocido como síndrome del ángulo recto (Figura 13).



▲ **Figura 13.** Suelo compactado, estructura laminar y desvío de raíces.



**4** - Además, tenga en cuenta el color del suelo, como por ejemplo un color gris y con abundantes moteados se debe al encharcamiento prolongado, por la presencia de un nivel freático cercano (Figura 14).



▲ **Figura 14.** Nivel freático cercano, suelo color grisáceo con moteados, sales (carbonatos) presentes en el perfil.

**5** - También observe si hay un estrato duro presente, como un piso de arado inducido por humanos, o una capa endurecida natural, como un horizonte cementado de hierro, silíceo o calcáreo (Figura 15).



▲ **Figura 15.** Perfiles de suelos someros por presencia de tosca.

**6** - Una transición abrupta de una textura arenosa o franca a arcillosa (horizonte Bt, Btn, Bss) también limitará el desarrollo de las raíces.

**7** - Una estimación aproximada de la profundidad de enraizamiento potencial de ese suelo se puede determinar observando las propiedades anteriores en un corte de suelo en un camino cercano o en un desagüe abierto.

## Importancia

La **profundidad potencial de enraizamiento** es la profundidad del suelo que las raíces de las plantas pueden explorar antes de alcanzar una barrera para el crecimiento, e indica la capacidad del suelo para proporcionar un medio de enraizamiento adecuado para las plantas. Cuanto mayor es la profundidad de enraizamiento, mayor es la capacidad de retención de agua disponible del suelo. En períodos de sequía, las raíces profundas pueden acceder a mayores reservas de agua, aliviando así el estrés hídrico y promoviendo la supervivencia de cultivos de secano.

La exploración de un gran volumen de suelo mediante raíces profundas significa que también pueden acceder a más macronutrientes y micronutrientes, lo cual mejora el rendimiento y la calidad del cultivo. Por el contrario, los suelos con una restringida profundidad de enraizamiento causada, por ejemplo, por una capa con una alta resistencia a la penetración como una capa compactada o una capa dura, reducen el crecimiento y desarrollo de las raíces verticales, causando el crecimiento lateral de las raíces. Esto limita la absorción de agua y nutrientes por parte de la planta, reduce la eficiencia del uso de fertilizantes, aumenta la lixiviación y disminuye el rendimiento. Una alta resistencia a la penetración de las raíces también puede aumentar el estrés de la planta y su susceptibilidad a enfermedades de raíces. Sumado a esto, las capas duras impiden el movimiento de aire, oxígeno y agua a través del perfil del suelo, aumentando así la susceptibilidad al anegamiento y la erosión hídrica.

La profundidad potencial de enraizamiento se puede restringir aún más mediante:

- un cambio abrupto de textura;
- pH;
- toxicidad por aluminio (Al);
- deficiencias de nutrientes;
- salinidad;
- sodicidad;
- un nivel freático alto o fluctuante;
- niveles bajos de oxígeno.

Las condiciones anaerobias (anóxicas) causadas por la desoxigenación y el anegamiento prolongado restringen la profundidad de enraizamiento como resultado de la acumulación de niveles tóxicos de sulfuro de hidrógeno, sulfuro ferroso, dióxido de carbono, metano, etanol, acetaldehído y etileno, subproductos de reacciones de reducción química y bioquímica.

Los cultivos con un sistema de raíces profundo y vigoroso ayudan a elevar los niveles de materia orgánica del suelo y favorecen la vida del mismo en profundidad. La acción física de las raíces y la fauna del suelo y los residuos que producen, promueven la estructuración del suelo, la porosidad, el almacenamiento de agua, la aireación del



suelo y el drenaje en profundidad. Un sistema de raíces profundas y densas ofrece el potencial para aumentar la producción y, al mismo tiempo, tiene importantes beneficios ambientales. Los cultivos dependen menos de las altas y frecuentes dosis de aplicación de fertilizante para asegurar su crecimiento, y es más probable que se absorban los nutrientes disponibles, por lo que se reducen las pérdidas por lixiviación al medio ambiente.



▲ **Figura 16.** Perfiles de suelo con buena (izquierda) y escasa (derecha) presencia y distribución de raíces.

▼ **Tabla 6.** Valoración de la evaluación de la profundidad de enraizamiento.

Valoración	Profundidad potencial de enraizamiento (m)
2 - bueno	>1,5
1,5 - moderadamente bueno	0,8 - 1,5
1 - moderado	0,6- 0,8
0,5 - moderadamente pobre	0,4 - 0,6
0 - pobre	< 0,4

# Evaluación de presencia de capas compactadas o duras

---

Para detectar la presencia de capas endurecidas por la compactación del suelo es necesario diferenciar éstas de las capas duras genéticas de los suelos, que son los duripanes y fragipanes. La diferencia entre un duripán y un fragipán es que este último pierde su dureza y resistencia a la penetración cuando el suelo está húmedo, mientras que un duripán es cementado más comúnmente por carbonato de calcio, o por hierro, y no pierde su resistencia cuando se humedece. Los duripanes son condiciones genéticas del suelo, como por ejemplo el horizonte petrocálcico (tosca cementada) y no cambian con el manejo, mientras que los fragipanes pueden ser el resultado de la acción del hombre (compactaciones, piso de arado).

- 1** ▪ Examine la presencia de una capa dura pinchando rápidamente el costado del perfil del suelo con un cuchillo, o pruebe con el barreno o con un penetrómetro. Note cuán fácil o difícil es clavar el cuchillo en el suelo a medida que avanza rápidamente por el perfil. Un duripán fuertemente desarrollado es muy duro y extremadamente firme, y no se puede penetrar con cuchillo o barreno, mientras que un fragipán es duro y ofrece mucha resistencia, pero puede ser perforado con cuchillo o barreno.
- 2** ▪ Preste especial atención a la capa superficial del suelo inferior y al subsuelo superior donde los pisos de arado ocurren comúnmente si están presentes (Figura 17).
- 3** ▪ Habiendo identificado la posible presencia de un fragipán por un aumento significativo de la resistencia a la penetración de la punta de un cuchillo o del barreno registre el espesor del mismo.
- 4** ▪ Tome una muestra del tamaño de una mano y evalúe su estructura, porosidad y el número y color de moteados del suelo, y también busque la presencia de raíces. Compare con fotografías y criterios dados en la tabla 7.



▲ **Figura 17.** Valoración de la presencia de compactación - fragipanes.

▼ **Tabla 7.** Valoración de la compactación.

Condición buena	Condición moderada	Condición pobre
Color uniforme del suelo sin presencia de compactación. Buena estructura y porosidad.	El suelo presenta una capa compactada de moderada dureza. La porosidad es escasa y se observan pocas raíces en esta profundidad.	El suelo presenta una capa muy fuertemente compactada con estructura masiva, muy escasa porosidad y muy dura. Es común observar moteados en esta capa.
puntaje 2	puntaje 1	puntaje 0

# Evaluación del encharcamiento superficial

---

1 ▪ Evalúe el grado de encharcamiento de la superficie (Figura 18) basándose en su observación o recuerdo del tiempo que tardó el agua estancada en desaparecer después de un período muy llovisoso, y compárelos con los límites de clase en la Tabla 8.

## Importancia

El **encharcamiento superficial** y el tiempo que el agua permanece en la superficie, pueden indicar la tasa de infiltración en y a través del suelo. El anegamiento prolongado agota el oxígeno en el suelo causando condiciones anaeróbicas (anóxicas) que inducen estrés radicular y restringen la respiración y crecimiento de las raíces. En el momento en que las raíces y los brotes están creciendo activamente, las tasas de respiración y transpiración aumentan notablemente, siendo más vulnerables a las condiciones de anegamiento y de suelo saturado, debido al incremento en las demandas de oxígeno. Además, el anegamiento provoca la muerte de las raíces finas, responsables de la absorción de nutrientes y de agua, resultando en pérdidas de plantas. La reducción de la absorción de agua mientras el cultivo está transpirando activamente provoca que las hojas se sequen generando la marchitez de la planta. Por otra parte, el anegamiento prolongado también aumenta la probabilidad de plagas y enfermedades, como Rhizoctonia, Pythium y Fusarium, y reduce la capacidad de las raíces para superar los efectos nocivos de los patógenos residentes en la capa superficial del suelo. Dichas condiciones en el suelo pueden hacer que los cultivos sean menos resistentes al ataque de plagas de insectos.

Aunado a esto, el anegamiento y la desoxigenación también dan como resultado una serie de sustancias químicas y reacciones de reducción bioquímica, cuyos subproductos son tóxicos para las raíces. El nitrato-nitrógeno ( $\text{NO}_3^-$ ) se reduce por desnitrificación a nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), un potente gas de efecto invernadero, y el sulfato-azufre ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) es reducido a sulfuro, incluido sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), sulfuro ferroso ( $\text{FeS}$ ) y sulfuro de zinc ( $\text{ZnS}$ ). El hierro se reduce a iones ferrosos solubles ( $\text{Fe}^{2+}$ ) y el Mn a iones manganosos ( $\text{Mn}^{2+}$ ). Aparte de los productos tóxicos producidos, el resultado es una reducción en la cantidad de N y S disponibles para las plantas. La respiración anaeróbica de microorganismos produce dióxido de carbono y metano (también gases de efecto invernadero), gas hidrógeno, etanol, acetaldehído y etileno, todos los cuales inhiben el crecimiento de las raíces cuando se acumulan en el suelo. La tolerancia de las raíces al encharcamiento superficial y al anegamiento depende de varios factores, incluida la época del año y el tipo de cultivo. En cuanto al anegamiento



depende de la temperatura del suelo y del aire, el tipo de suelo, la condición del suelo, la presencia de fluctuantes niveles freáticos, y la tasa de aparición y gravedad de la anaerobiosis (o anoxia), que está determinado por el contenido inicial de oxígeno del suelo y la tasa de consumo de oxígeno.

Por último, el encharcamiento prolongado de la superficie hace que el suelo sea más susceptible a los daños causados por el tránsito de maquinaria y vehículos. La humedad crítica del suelo correspondiente a la mayor susceptibilidad a la compactación se encuentra en valores próximos a capacidad de campo. Como consecuencia, este factor condiciona y puede retrasar la preparación del suelo, la cosecha y las fechas de siembra de los cultivos, significativamente. *Figura 18. Suelos encharcados.*



▲ **Figura 18.** Suelos encharcados.

▼ **Tabla 8.** Valoración del encharcamiento superficial.

Condición buena	Condición moderada	Condición pobre
El suelo no se encharca después de las fuertes lluvias, o el agua no permanece más de un día en la superficie.	Se forman algunos charcos en la superficie del suelo que no permanecen por más de 2 a 4 días.	Se forman extensos charcos que persisten en la superficie del suelo por más de 5 días.
puntaje 2	puntaje 1	puntaje 0

# Evaluación del encostramiento superficial

---

1 ▪ Observe el grado de formación de costras en la superficie del suelo y la cobertura vegetal y evalúe estas condiciones de acuerdo a las imágenes y los criterios dados en la Figura 19 y la Tabla 9. La formación de costras en la superficie se evalúa mejor después de períodos húmedos seguidos de un período seco y antes de la emergencia del cultivo.

## Importancia

El **encostramiento superficial** reduce la infiltración del agua y el almacenamiento de agua en el suelo, aumentando la escorrentía. La formación de costras en la superficie también reduce la aireación, lo que provoca condiciones anaeróbicas, y prolonga la retención de agua cerca de la superficie, lo que puede dificultar el acceso de la maquinaria por tiempos prolongados. La formación de costras es más pronunciada en suelos de textura fina y limosa y con pobre estabilidad de agregados y mineralogía de arcilla dispersiva.

La **cobertura vegetal** después de la cosecha y antes de que el siguiente cultivo cierre el surco ayuda a prevenir la formación de costras minimizando la dispersión de las partículas en la superficie del suelo por lluvia o riego. La cobertura también ayuda a reducir la formación de costras al interceptar las gotas de lluvia grandes antes de que puedan golpear y compactar la superficie del suelo y dispersar las partículas finas en la lámina de agua superficial. A su vez, la cobertura vegetal y su sistema radicular devuelven materia orgánica al suelo y promueven la vida del suelo, incluyendo el número y la actividad de las lombrices. La acción física de las raíces y de la fauna edáfica favorecen el desarrollo de la estructura, la aireación y el drenaje del suelo y ayudan a romper las costras superficiales. Como resultado, las tasas de infiltración y del movimiento del agua a través del suelo aumentan, disminuyendo la escorrentía, la erosión del suelo y el riesgo de inundaciones. Por último, el material vegetal en superficie, como se menciona más arriba, intercepta el impacto de las gotas de lluvia protegiendo así la integridad de los agregados y reduciendo las pérdidas de suelo por erosión. Al mismo tiempo, actúa como una esponja, reteniendo el agua de lluvia el tiempo suficiente para que se infiltre en el suelo. Además, el sistema de raíces estabilizan la superficie del suelo, manteniendo el mismo en su lugar durante eventos de fuertes lluvias. Como resultado, la calidad del agua aguas abajo es mejor con una menor carga de sedimentos. La adopción de la labranza conservacionista con altos niveles de cobertura puede reducir la erosión eólica o hídrica hasta en un 90 por ciento y la escorrentía de agua



hasta un 40 por ciento. La superficie debe tener al menos un 60-70 por ciento de cobertura para proporcionar una buena protección, mientras que una cobertura de  $\leq 30$  por ciento resulta deficiente.



▲ **Figura 19.** *Suelos con costras y distintos niveles de cobertura vegetal.*

▼ **Tabla 9.** *Valoración del encostramiento y de la cobertura vegetal.*

Condición buena	Condición moderada	Condición pobre
No se observa encostramiento en superficie y la cobertura del suelo es $\geq 70$ %.	Se observan costras de 2-3 mm de espesor con muchas grietas. La cobertura del suelo es $> 30$ %.	Se observan costras de más de 5 mm de espesor y sin grietas. La cobertura del suelo es $\leq 30$ %.
puntaje 2	puntaje 1	puntaje 0



# Evaluación de la erosión del suelo

---

1 ▪ Evalúe el grado de erosión del suelo basándose en la evidencia visual actual y en su conocimiento de cómo se veía el sitio en el pasado, en relación con las figuras 20 a 22 y la Tabla 10.

## Importancia

La **erosión del suelo** reduce el potencial productivo de estos a través de pérdidas de nutrientes, pérdida de materia orgánica, menor profundidad potencial de enraizamiento y menor capacidad de retención de agua disponible.

De este modo, la erosión del suelo también puede tener efectos importantes fuera del sitio, incluida la reducción de la calidad del agua a través del aumento de la carga de sedimentos, nutrientes y coliformes en arroyos y ríos, y la obstrucción de vías navegables o embalses.

El excesivo uso de labranzas y el monocultivo sin rotaciones con pasturas o cultivos de cobertura puede causar una degradación considerable del suelo asociada con la pérdida de materia orgánica y estructura del mismo. Esto conlleva a la formación de costras en la superficie, compactaciones y piso de arado y disminuye la infiltración y la permeabilidad del agua a través del perfil del suelo (causando un aumento de escorrentía superficial). Si la superficie del suelo se deja desprotegida en un terreno inclinado, gran cantidad del suelo puede ser transportada por el agua a través de la erosión en láminas, surcos y/o cárcavas. El costo de la restauración, que a menudo requiere maquinaria pesada, puede resultar prohibitivamente caro. La erosionabilidad hídrica del suelo en terrenos con pendiente se rige por una serie de factores que incluyen:

- el porcentaje de cobertura vegetal en la superficie del suelo;
- la cantidad e intensidad de la lluvia;
- la tasa de infiltración del suelo y la permeabilidad del agua a través del suelo;
- la pendiente y la naturaleza de los estratos subyacentes del subsuelo y del lecho rocoso.

La pérdida de materia orgánica y de la estructura del suelo como resultado del uso inapropiado también puede dar lugar a una pérdida significativa de este por erosión eólica.



▲ **Figura 20.** *Diferentes grados de erosión hídrica según su gravedad: en lámina, surcos y cárcavas.*

▲ **Figura 21.** *Erosión eólica. Movimiento de partículas que se entrampan en alambrados y en plantas. Mucha emisión de polvillo en superficie, especialmente durante los trabajos de labranza.*





▲ **Figura 22.** *Incipiente erosión hídrica en láminas.*

▼ **Tabla 10.** *Valoración de la erosión.*

Condición buena	Condición moderada	Condición pobre
<p>Ninguna evidencia de erosión hídrica. El suelo emite poco polvillo, y solamente en días muy ventosos en los momentos de las labranzas.</p>	<p>Presencia de erosión laminar y en surcos no profundos. Se observan evidencias de erosión eólica en la superficie del suelo. Hay nubes de polvillo en días ventosos, sin que pase algún tipo de maquinaria.</p>	<p>Se observan surcos profundos y largos, en las pendientes más fuertes hay cárcavas. El suelo emite mucho polvillo sin que pase ningún tipo de maquinaria. Se observan acumulaciones de sedimentos en alambrados o plantas.</p>
puntaje 2	puntaje 1	puntaje 0



# Evaluación de salinidad y alcalinidad del suelo

---

- 1 ▪ Evalúe la presencia de sales y sodio en el suelo basándose en la evidencia visual comparándola con las figuras 23 a 27.

## Importancia

La **salinidad del suelo** es un problema severo y grave para la producción de alimentos y afecta un área cada vez más extensa de la región pampeana. Los suelos salinos se ubican generalmente en las partes más bajas del relieve y el aporte de las sales es desde los niveles freáticos cercanos a la superficie a través del ascenso capilar del agua del suelo a la superficie y evaporación del mismo, dejando las sales en superficie. La salinidad del suelo produce la “sequía fisiológica” para los cultivos ya que con crecientes concentraciones de solutos incrementa el potencial osmótico del agua del suelo dificultando su absorción por las raíces. La salinización se expresa a través del aumento en la conductividad eléctrica del suelo, la cual se utiliza para detectar problemas de sales. A niveles de conductividad eléctrica mayores a  $4 \text{ dS m}^{-1}$  el crecimiento de la mayoría de las plantas disminuye y el rendimiento de los cultivos es afectado. Debido a las condiciones muy adversas para el crecimiento de la vegetación, los suelos salinos contienen poca materia orgánica y por ende generalmente tienen un color muy claro.

Las sales más solubles como los sulfatos y cloruros de sodio o magnesio son las que mayor efecto de salinización causan, debido a su alta solubilidad aumentan el potencial osmótico de la solución y su conductividad eléctrica. En cambio, las sales poco solubles como los carbonatos de calcio, magnesio y sodio salinizan muy poco la solución del suelo y no aumentan mucho su conductividad. Sin embargo, son éstas las sales que se depositan en el perfil del suelo y forman capas endurecidas y poco permeables (fragipanes) tal como se ha mencionado en la sección de evaluación de las capas duras.

Los **suelos sódicos o alcalinos** comparten los mismos ambientes que los suelos salinos, la diferencia es que en suelos alcalinos la sal predominante es una sal soluble sódica, ya sea sulfato o cloruro de sodio. El sodio disociado produce el aumento en el pH y generalmente estos suelos tienen valores de pH de 9 o más. Se clasifica el suelo como sódico cuando el porcentaje de sodio intercambiable es mayor al 15%. El sodio como catión intercambiable produce la dispersión de los coloides del suelo, arcillas y materia orgánica se encuentran disociadas y por este motivo son fácilmente transportados por la solución del suelo. De este modo, los suelos sódicos se caracterizan por un color oscuro y manchas oscuras en el perfil. Por otra parte, el efecto dispersivo resulta en estructuras masivas o columnares en horizontes subsuperficiales, según la textura

del suelo. El estado disperso de los coloides no permite el desarrollo de agregados y poros estables, por lo cual estos suelos tienen muy baja infiltración y percolación del agua, con tendencia a encharcarse o tener capas saturadas con agua y por ende anóxicas. Al tener poca capacidad de formar estructura, los suelos sódicos son muy susceptibles a la compactación y a la erosión.

El efecto sobre la vegetación es más que nada por la falta de un buen sistema poroso, limitando el desarrollo de las raíces y en combinación con anoxia, hasta la muerte de las plantas no adaptadas a estas condiciones. Estas condiciones se agravan cuando se utilizan para cultivos anuales y se producen excesos hídricos y ascenso de los niveles freáticos. En cambio, cuando estos suelos se encuentran bajo pastizales naturales adaptados a las condiciones de anoxia pueden producir abundante biomasa y los suelos llegan a tener muy buenos niveles de materia orgánica. Por el efecto de pH muy alto, es muy común que en los suelos sódicos - alcalinos se observan deficiencias de micronutrientes como el hierro o zinc (Figura 23).



▲ **Figura 23.** Clorosis de las hojas de maíz por deficiencia de Fe en un bajo alcalino.



▲ **Figura 24.** Vista de un área de suelos salinos y salinos-sódicos, con escasa vegetación y sales solubles en superficie.



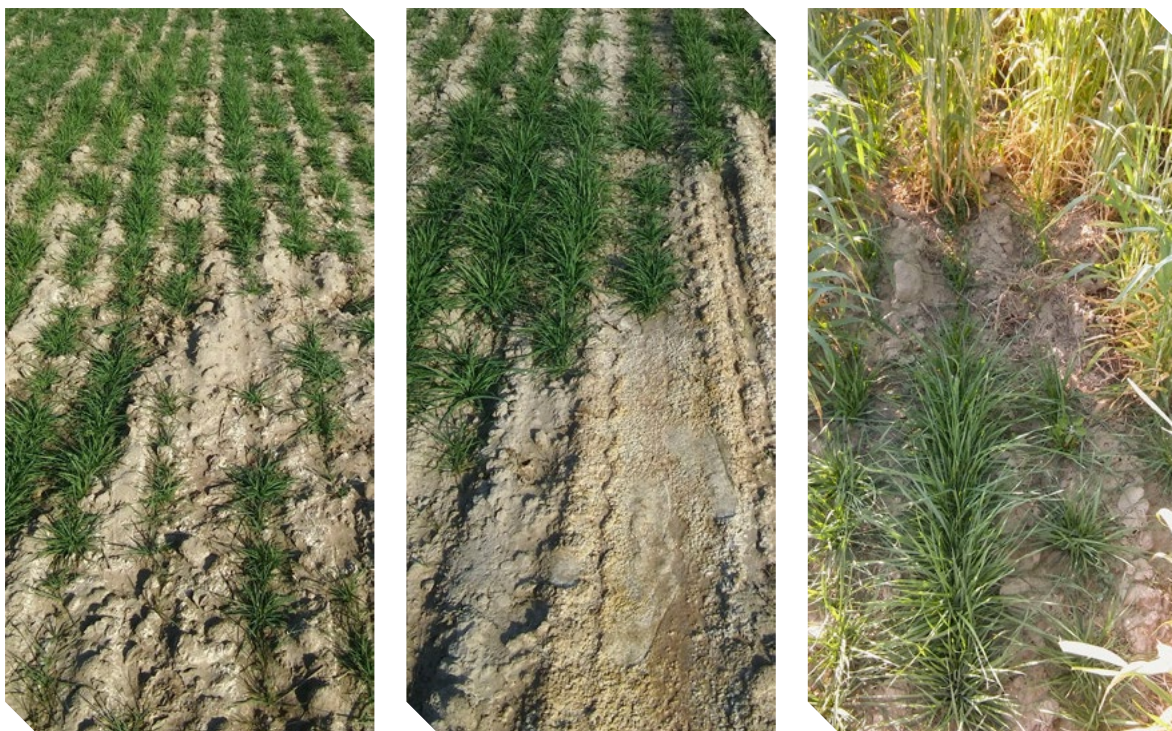


▲ **Figura 25.** Características de los suelos sódicos. Estructura columnar de un horizonte Bt.



▲ **Figura 26.** Deposición de sales poco solubles (carbonatos) en el frente de ascenso capilar.





▲ **Figura 27.** *Suelos salinos.*

▼ **Tabla 11.** *Valoración de suelos salinos y/o sódicos.*

Condición buena	Condición moderada	Condición pobre
Sin presencia de sales o sodio en el horizonte A. No se observan estructuras columnares. No hay nivel freático salino/sódico cercano.	Esporádica presencia de sales. Nivel freático salino/sódico a más de 1,20 m de profundidad.	Sales en superficie del suelo, presencia de especies vegetales indicadoras de salinidad. Estructura columnar en el horizonte B. Suelo masivo sin estructura.
puntaje 2	puntaje 1	puntaje 0

