

# Los suelos y su fertilidad

4ª edición

L. M. Thompson  
F. R. Troeh

EDITORIAL REVERTÉ



# **Los suelos y su fertilidad**

4<sup>a</sup> edición

L. M. Thompson

F. R. Troeh







# Los suelos y su fertilidad

4ª edición

**L. M. Thompson**

*Associate Dean of Agriculture  
Professor of Agronomy  
Iowa State University*

**F. R. Troeh**

*Professor of Agronomy  
Iowa State University*



EDITORIAL  
REVERTÉ

Barcelona · Bogotá · Buenos Aires · México

*Título de la obra original*

**Soils and Fertility (fourth edition)**

*Edición original en lengua inglesa publicada por*

McGraw- Book Company, New York

Copyright © McGraw - Hill, Inc.

*Edición en español:*

© Editorial Reverté, S. A., 1982

*Versión española por*

**D. Juan Puigdefábregas Tomás**

Centro Pirenaico de Biología experimental de Jaca

Consejo Superior de Investigaciones Científicas

Edición en papel:

ISBN 978-84-291-1041-8

Edición e-book (PDF):

ISBN 978-84-291-9001-4

**Propiedad de**

**EDITORIAL REVERTÉ, S. A.**

Loreto, 13-15. Local B

08029 Barcelona. ESPAÑA

Tel: (34) 93 419 33 36

reverte@reverte.com

www.reverte.com

Reservados todos los derechos. Ninguna parte del material cubierto por este título de propiedad literaria puede ser reproducida, almacenada en un sistema de informática o transmitida de cualquier forma o por cualquier medio electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros métodos sin el previo y expreso permiso por escrito del editor.

# Índice analítico

	Prólogo		
Capítulo	1. El suelo	1	
	2. La formación del suelo	19	
	3. Propiedades físicas del suelo	33	
	4. El agua del suelo	99	
	5. Materia orgánica del suelo	135	
	6. Mineralogía del suelo	171	
	7. Química del suelo	199	
	8. Las enmiendas en el suelo	229	
	9. Fertilizantes	265	
	10. Nitrógeno	299	
	11. Fósforo	331	
	12. Potasio	361	
	13. Calcio, magnesio y azufre	389	
	14. Los micronutrientes	407	
	15. Variaciones en la composición de las plantas	437	
	16. Clasificación y prospección de suelos	461	
	17. Uso del territorio y gestión del suelo	505	
	18. Gestión del agua	535	
	19. La erosión del suelo y su control	567	
	20. Polución del suelo	609	
	Apéndice: Unidades de medida	635	
	Índice	639	



## Prólogo

Los suelos y su fertilidad se concibió como texto de un curso introductorio de suelos, destinado a alumnos de ciencias agrícolas y de disciplinas relacionadas con la agricultura. Comenzó en Tejas A. & M. en 1937 como suplemento multi-copiado, preparado por el primer autor, para ser utilizado junto con los libros de texto disponibles. Las dos primeras versiones del libro fueron impresas por William C. Brown de Dubuque, Iowa. Desde entonces, se han publicado dos ediciones del primer autor por McGraw-Hill Book Co. Las ediciones tercera y cuarta han sido revisadas por el segundo autor, consultando con el primero, capítulo por capítulo.

Los comentarios de los alumnos y las críticas, realizadas por colegas competentes, han proporcionado orientaciones valiosas en las revisiones.

Esta cuarta edición representa una revisión extensa, que introduce cambios importantes en cada capítulo. Nuevos materiales apropiados han sido integrados en el texto, complementando a los ya acreditados, de anteriores ediciones. La intención ha sido proporcionar un texto puesto al día, de lectura fácil, que sea fuente de información fidedigna. El resultado representa la experiencia del primer autor, más de 30 años dedicado a la enseñanza tanto en Tejas A. & M. como en la Universidad del Estado de Iowa, y la del segundo, 15 años en las Universidades de los Estados de Idaho e Iowa. Las adiciones efectuadas por este último autor provienen también de más de 10 años de experiencia de campo en prospecciones de suelos realizadas en Idaho, California, New York y Uruguay.

*La mayoría de los alumnos en las escuelas de agricultura, reciben sólo un curso de suelos. Este libro abarca la suficiente extensión para servir a este tipo de alumnos. Su amplitud hace que el libro constituya también una buena base para cursos de suelos más avanzados. Y es lo suficientemente completo como para servir de referencia en cursos de fertilidad de suelos y otros de tipo avanzado, o para usarlo como curso de reciclaje por quienes necesiten revisar el tema de la ciencia del suelo.*

*Una preparación ideal para el estudio de suelos incluiría cursos de química orgánica e inorgánica, geología y biología. Sin embargo, pocos alumnos comienzan el estudio del suelo con una formación tan general y, en consecuencia, los autores han realizado un esfuerzo especial para proporcionar los aspectos esenciales de esas ciencias complementarias. Siempre que ha sido posible, se han escogido términos ampliamente conocidos, de modo que personas procedentes de distintos campos de interés puedan acceder y comprender el contenido de este libro. Los términos técnicos necesarios, se han explicado en el lugar donde aparecen por primera vez. A pesar de todo, la experiencia ha demostrado que un curso de química es muy útil en el estudio de suelos y debería ser un requisito previo para el presente curso*

*En la tercera y cuarta ediciones se ha realizado un esfuerzo especial para ampliar el libro adaptándolo a las diversas formaciones e intereses de los alumnos de hoy. Por ejemplo, el antiguo capítulo sobre Rotaciones de cultivos y Fertilidad de suelos, se ha sustituido por un capítulo, Utilización del territorio y Manejo de suelos, que comprende tanto los usos rurales como urbanos. De modo similar, el capítulo sobre Principios y práctica del encalado, se ha sustituido por, Enmiendas en el suelo, que incluye no sólo el encalado sino también la acidificación de los suelos alcalinos y la confección de suelos artificiales para invernaderos y otros usos. En la tercera edición se incluyó un capítulo nuevo titulado Gestión del Agua, tratando del clima, de la irrigación y del drenaje. En esta cuarta edición se añade otro capítulo nuevo, Polución del suelo, que es un campo actual a la vez que pertinente.*

*En todo el libro se ha intentado presentar el material de manera comprensible y precisa. Para ello se ha expuesto cada tema como si el lector se enfrentara con él por primera vez. Los conceptos se desarrollan de modo gradual y los términos nuevos se definen o explican según van siendo introducidos en el texto. Los capítulos han sido cuidadosamente ordenados, de manera que cada uno se afirme sobre las bases establecidas por los anteriores. En consecuencia, el alumno obtendrá más provecho leyendo el libro desde el principio, que estudiándolo a saltos, de manera desordenada, en busca de los temas que le interesen. El capítulo 1, por ejemplo, se titula «El Suelo» porque contiene un punto de vista general, incluyendo el desarrollo de numerosos conceptos básicos que son luego necesarios para comprender los capítulos siguientes. Los capítulos 6, Mineralogía del Suelo,*

9, Fertilizantes y 16, Clasificación y prospección de suelos, contienen también el material básico para los capítulos posteriores.

De acuerdo con el uso corriente en los Estados Unidos, las anteriores ediciones utilizaban tanto el sistema de medida métrico como el inglés. La cuarta edición emplea siempre el sistema métrico, con sólo algunas referencias a las unidades inglesas y siempre que ha sido necesario el sistema métrico para expresar el material de manera uniforme se han escrito de nuevo secciones enteras, se han vuelto a calcular los datos y se han realizado los ajustes precisos. Se ha añadido un apéndice que incluye los factores de conversión entre ambos sistemas.

La bibliografía sobre los suelos ha proliferado mucho en los últimos años. Los autores han tenido acceso a excelentes bibliotecas y otras fuentes de información. Las referencias citadas en el texto y otras fuentes particularmente importantes, se incluyen al final de cada capítulo, aunque esa lista representa sólo una fracción de las obras consultadas.

Muchas personas han contribuido al desarrollo de este libro. Debemos un especial reconocimiento a John Schafer por haber leído y aportado importantes contribuciones a cada capítulo. Otros colegas que, de modo significativo, han contribuido al actual contenido del libro son Minoru Amemiya, C. A. Black, L. R. Frederick, J. R. George, D. A. Gier, Don Kirkham, Murray Milford, Larry Miller, W. C. Moldenhauer, John Pesek, W. H. Pierre, Don Post, F. F. Riecken, W. H. Scholtes, A. D. Scott, C. H. Sherwood, J. A. Stritzel, Steve Thien, J. R. Webb y L. V. Withee. Queremos expresar nuestro agradecimiento especial a Margaret Thompson, por haber mecanografiado los manuscritos de las ediciones primera y segunda y a Miriam Troeh por haberlo hecho para la tercera y cuarta.

Louis M. THOMPSON  
Frederick R. TROEH



# **Los suelos y su fertilidad**



# Capítulo 1

## El suelo

Una delgada capa de suelo cubre la mayor parte de la superficie terrestre. Esta capa, cuyo espesor varía entre unos pocos centímetros y dos o tres metros, puede parecer insignificante comparada con la masa de nuestro planeta. Sin embargo, en esos pocos centímetros, los reinos vegetal y animal se encuentran con el mundo mineral y establecen con él una relación dinámica. Los vegetales obtienen del suelo el agua y los nutrientes esenciales y de aquéllos depende la vida de los animales. Los residuos vegetales y animales retornan al suelo, donde son descompuestos por la numerosa población microbiana que allí vive. La vida es esencial para el suelo y el suelo esencial para la vida.

El contacto del hombre con el suelo es tan universal que cada persona tiene su propio concepto de su naturaleza. Para un ingeniero, puede ser un material de construcción o de fundación donde edificar. Para el agricultor es un medio de cultivo. El niño lo utiliza para hacer muñecos de barro, y para su madre es la suciedad en las manos y vestidos que debe lavarse. Para todos nosotros, el suelo es la fuente de donde proviene nuestro alimento, vestido y abrigo.

Los primeros químicos, como Liebig, consideraban el suelo como un almacén de nutrientes para los vegetales. Los primeros geólogos pronto concluyeron que el suelo es la roca meteorizada. Estos conceptos, sin ser erróneos, son incompletos. El origen de la palabra *suelo* ilustra otro aspecto de su carácter. Proviene del latín *solum*, que significa *base* o *fondo*. La voz *sol* en francés y *suelo* en español, se usan todavía indistintamente para designar ambos conceptos.

Cualquier definición asignada a un material tan complejo como el suelo, depende necesariamente del punto de vista de la persona que la formule. El edafólogo, considerando el suelo como medio de cultivo, lo definiría como *una mezcla de materiales minerales y orgánicos capaz de soportar la vida vegetal*. Para el pedólogo, que estudia el suelo como una entidad distinta, sería *el producto natural formado a partir de la roca meteorizada por la acción del clima y de los organismos vivos*. El concepto de vida es esencial en ambas definiciones, en la

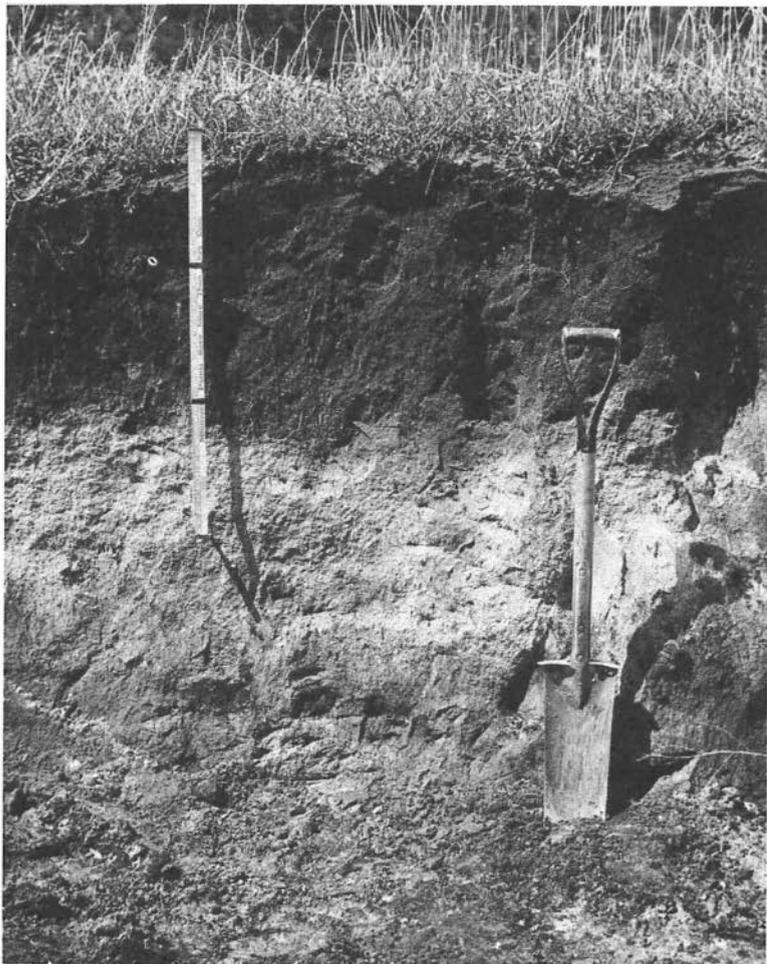
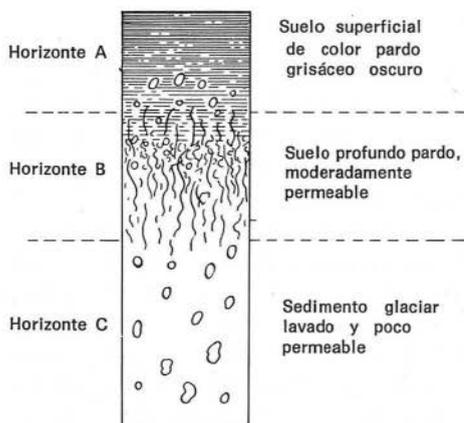


Figura 1-1. Una característica común a casi todos los suelos es el oscurecimiento de la parte superior por acumulación de materia orgánica en la superficie y cerca de ella. (Fotografía del Soil Conservation Service, USDA.)



**Figura 1-2.** Esquema de un perfil típico de suelo formado sobre sedimentos glaciares con vegetación herbácea.

primera, el suelo soporta la vida, en la segunda, la vida interviene en la formación del suelo. Los dos puntos de vista son correctos, el suelo soporta a los organismos vivos y sus características se hallan parcialmente determinadas por la acción de dichos organismos.

Debajo del suelo, y sobre la roca basal, suele encontrarse una masa mineral desmenuzada y apenas influida por los organismos vivos. Este material constituye propiamente la *roca meteorizada* y a veces recibe el nombre de *roca madre del suelo* o *material de origen*, aunque no es el suelo propiamente dicho. La palabra *regolito* se utiliza para designar el conjunto de materiales sueltos dispuestos sobre la roca basal.

## EL PERFIL DEL SUELO

Los suelos desarrollan capas distintas a diversas profundidades bajo la superficie (fig. 1-1). Una sección vertical del suelo para exponer la disposición de sus capas recibe el nombre de *perfil*. La capa superior suele ser más rica en materia orgánica y de color más oscuro que las inferiores, es el *horizonte A* o suelo superficial.

La parte media del perfil suele ser más rica en arcilla y de color más claro que la superior, es el *horizonte B* o suelo profundo. El verdadero suelo, conjunto de los horizontes A y B se designa, a veces, con la voz original *solum*.

El *horizonte C* constituye en general la *roca madre del suelo*, se dispone debajo del *solum* y se extiende hasta la roca basal. Puede ser muy espeso, delgado o incluso puede no existir. El perfil del suelo incluye los horizontes A y B y por lo menos la parte superior del C cuando éste existe (fig. 1-2).

## Cómo se desarrolla el perfil del suelo

Los cambios que tienen lugar con el transcurso del tiempo en los horizontes A y B constituyen el *desarrollo del suelo*. Los horizontes A y B de un suelo maduro han sufrido muchos cambios que los hacen diferentes de la roca madre. Sus materiales fueron en un principio similares a los actualmente presentes en el horizonte C (suponiendo que el material original fuera uniforme).

La capa superior dio lugar al horizonte A, al acumular materia orgánica de las raíces que en ella crecían y de los residuos vegetales que se depositaban en su superficie. Otros cambios resultaron de fuerzas causantes de la desintegración física y de la descomposición química. El horizonte A es la parte del suelo más expuesta a las acciones meteorizantes del Sol, la lluvia, el viento, el hielo y también de los seres vivos. Los materiales que se descomponen con mayor facilidad tienden a emigrar, dejando concentrados en el horizonte A los minerales más resistentes y la materia orgánica. Cuanto más maduro es el suelo, es decir, cuanto más tiempo han durado los procesos de meteorización, mayor es la concentración de materiales resistentes en la capa superior. Este hecho tiene mucha importancia para el crecimiento de las plantas. Los minerales resistentes que quedan en los suelos muy meteorizados, se descomponen demasiado lentamente para ser una fuente adecuada de nutrientes para las plantas. Los suelos más fértiles han sufrido menos meteorización y contienen todavía minerales que se descomponen rápidamente, liberando cada año nutrientes en abundancia.

Los procesos de meteorización rompen las partículas minerales del suelo y disminuyen su tamaño. Parte de la arena se reduce a limo y parte del limo se transforma en arcilla. Algunos constituyentes se vuelven solubles y emigran del suelo por la acción percolante del agua. El horizonte A es la parte más lavada del suelo.

Sería razonable suponer que la concentración de arcilla en el horizonte A aumenta gradualmente, conforme las acciones meteorizantes reducen el tamaño de las partículas minerales. Existen, sin embargo, procesos opuestos. Parte de la arcilla puede descomponerse en materiales solubles que se lavan. Otro proceso, generalmente más importante, es el transporte hacia capas inferiores de partículas sólidas de arcilla en el agua de percolación. El resultado neto es que el porcentaje de arcilla en el horizonte A tiende a permanecer constante durante miles de años. No obstante, la emigración de la arcilla prosigue, incluso cuando su formación casi ha cesado; muchos suelos antiguos han perdido la mayor parte de la arcilla de sus capas superficiales.

El contenido de arcilla del horizonte B aumenta con el tiempo en la mayoría de los suelos. Ese aumento se debe en parte a la arcilla originada en el horizonte A y depositada en el B, y en parte proviene de la meteorización de los limos y arenas en el propio horizonte B. Este último puede alcanzar concentraciones de arcilla muy superiores a los horizontes A o C del mismo suelo. Calificamos de

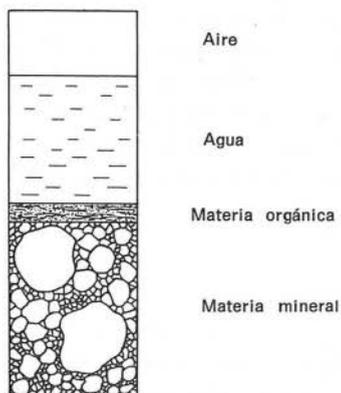
*fuertemente diferenciados* a los suelos con grandes diferencias en el contenido argílico de sus horizontes A y B.

En resumen, dos de las más extendidas características del suelo, son la acumulación de materia orgánica en el horizonte A y de arcilla en el B. Ambas pueden considerarse como reglas, excepto cuando existe algún factor especial dominante.

## LA COMPOSICIÓN DEL SUELO

El suelo hereda los minerales de su roca madre y la materia orgánica de los organismos vivos. Estos materiales constituyen la parte sólida del suelo y forman su esqueleto. Entre las partículas sólidas existen espacios vacíos o *poros*. Éstos suelen representar la mitad del volumen del horizonte A y algo menos en el B y C. El agua y el aire comparten el espacio de los poros en proporciones variables. Los poros más pequeños suelen contener agua y los mayores, aire. La forma y continuidad de los poros de mayor tamaño determinan en gran parte las condiciones de aireación del suelo.

Es deseable que el agua, al penetrar en el suelo, siga moviéndose hacia abajo, a través del perfil, hasta que los poros contengan dos terceras partes de agua y una de aire. Los suelos ricos en arcilla, especialmente cuando el contenido en materia orgánica es bajo, pueden almacenar tanta agua que presentan dificultades de aireación. Los suelos arenosos dejan pasar el agua con demasiada rapidez y no retienen la suficiente para asegurar el crecimiento de las plantas durante los períodos secos. Las proporciones deseables de aire, agua y materias sólidas aparecen ilustradas en la figura 1-3.



**Figura 1-3.** Volúmenes relativos de los componentes del suelo en un horizonte A típico con el contenido de agua máximo deseable.

## Componentes minerales del suelo

El tamaño de las partículas minerales en el suelo oscila entre el nivel submicroscópico de las arcillas al de las piedras de varios centímetros de diámetro. Las piezas mayores de 76 mm de diámetro se consideran *piedras*, si son menores, pero mayores de 2 mm reciben el nombre de *gravas*. Piedras y gravas son inertes en cuanto a su capacidad de soportar crecimiento vegetal, pero pueden afectar a las propiedades físicas del suelo como la permeabilidad, susceptibilidad a la erosión y pueden constituir factores limitantes para las operaciones de cultivo.

Las partículas minerales con diámetro menor de 2 mm se dividen en arena, limo y arcilla. Según las normas del Departamento de Agricultura USA (USDA), se consideran *arenas*, las partículas entre 0,05 y 2 mm y pueden distinguirse a simple vista. La arena proporciona al suelo un tacto especial rasposo. *El limo* incluye partículas con diámetro comprendido entre 0,002 y 0,05 mm, de las cuales únicamente las más gruesas son perceptibles a simple vista. Cuando se aprieta entre los dedos un material limoso puede apreciarse un tacto semejante al polvo de harina o de talco. Las partículas menores de 0,002 mm se consideran *arcilla*. Ésta presenta un tacto rasposo y duro si está seca, pero es plástica y pegajosa cuando está húmeda. Algunos tipos de arcilla se hinchan de modo considerable al absorber agua, y luego se contraen al secarse provocando grietas y cuarteamientos en el suelo. La arcilla es mucho más activa químicamente que el limo o la arena. Los nutrientes utilizables por los vegetales se encuentran almacenados en la arcilla y en la materia orgánica del suelo. En la composición elemental de la materia mineral predomina el oxígeno, el cual suele sobrepasar el cincuenta por ciento en peso. De hecho, los iones oxígeno e hidroxilo son prácticamente los únicos aniones (iones cargados negativamente) de importancia cuantitativa en los minerales del suelo más abundantes. Los principales cationes (iones cargados positivamente) en orden usual de abundancia son: silicio, aluminio, hierro, potasio, calcio, magnesio y sodio. Todos los demás elementos que se encuentran en la porción mineral no suelen sobrepasar el 5 por ciento de su peso. Los minerales más abundantes reciben el nombre de *silicatos* o *aluminosilicatos* a causa del predominio de oxígeno, silicio y aluminio en su composición. Otro grupo importante es el de los *óxidos*, dominado por los óxidos de hierro, aluminio y silicio. La mayor abundancia de óxidos se encuentra en los materiales muy meteorizados de las regiones tropicales. Una discusión más completa de los minerales puede encontrarse en el capítulo 6.

## Componentes orgánicos del suelo

En la mayoría de los suelos terrestres, la materia orgánica representa entre el 1 y el 6 por ciento en peso del horizonte superficial. Los contenidos inferiores al 1 por ciento suelen hallarse limitados a las regiones desérticas. En el otro

extremo, los suelos de áreas muy húmedas o encharcadas pueden sobrepasar el 90 por ciento de materia orgánica en el horizonte A. Cuando el porcentaje de materia orgánica supera el 20 o el 30 por ciento, se habla de *suelos orgánicos* (véase capítulo 5 para más detalles).

La materia orgánica del suelo consta de partes vivas y partes muertas. Las raíces vivas de las plantas suelen excluirse de esta consideración que, en general, comprende tanto los residuos frescos y parcialmente descompuestos de plantas y animales, como los tejidos vivos y muertos de los microorganismos.

Resulta obvio que la materia orgánica del suelo debe contener algo de cada uno de los elementos esenciales para el crecimiento de las plantas. Éstos son liberados y puestos a disposición de los vegetales cuando la materia orgánica se descompone, sin embargo no sucede al mismo tiempo ni a la misma velocidad con todos los elementos. Casi todo el nitrógeno utilizado por las plantas proviene de la materia orgánica (a menos que haya sido proporcionado por el hombre) ya que los minerales primarios contienen sólo trazas de este elemento. La materia orgánica en descomposición es también una fuente importante de fósforo y azufre. Por otra parte, el mismo proceso de descomposición produce ácidos y otras sustancias, que liberan nutrientes atacando a las partículas minerales.

El suministro de nutrientes a las plantas es una de las funciones importantes de la materia orgánica del suelo. Otra consiste en unir las partículas minerales, formando agregados que facilitan una estructura abierta, con un volumen de poros adecuado para una buena aireación. Esta función es muy importante en suelos de contenido moderado o fuertemente arcilloso.

## LA GRAN VARIEDAD DE SUELOS

La roca madre, el clima, los organismos vivos, la topografía y el tiempo se consideran *factores en la formación del suelo*. Cada suelo resulta de la acción integrada de estos cinco factores. Existen miles de suelos distintos porque los diferentes tipos e intensidades de aquellos factores, pueden combinarse también en miles de formas diversas. Cada combinación produce un suelo distinto, con sus propiedades peculiares y únicas. Afortunadamente muchas de esas propiedades pueden predecirse a partir del estudio de los cinco factores que han intervenido en la formación de cada suelo concreto.

### La roca madre

Los suelos heredan cientos de minerales diferentes de su roca madre. Esos minerales presentan una gran variedad, tanto en lo referente a su composición química como a su velocidad de meteorización. Las partículas individuales difieren mucho en forma y tamaño. Su ordenación y la magnitud de consolidación

o mutua unión, varía también de modo considerable. Así pues, un suelo en particular, puede originarse de una roca madre que es distinta, al menos en algún aspecto, de todas las demás.

### **El clima**

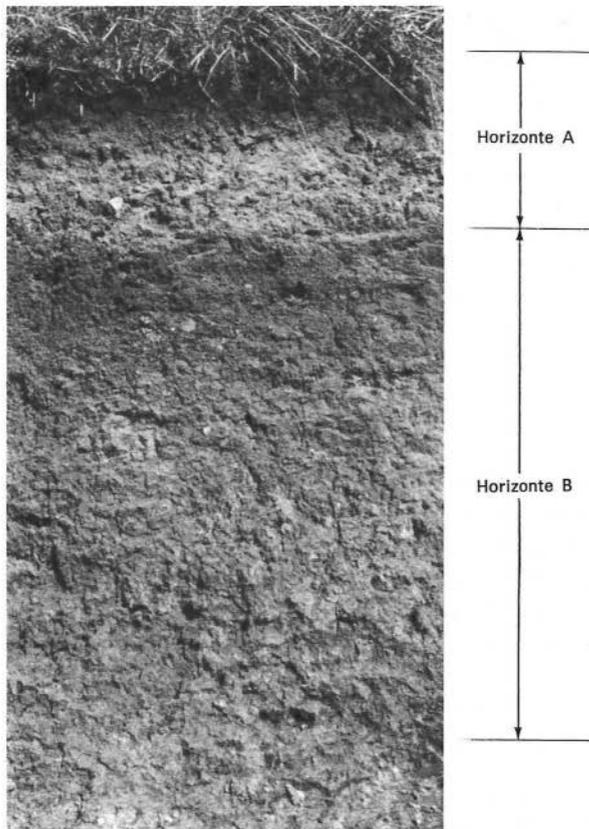
Los agentes de meteorización que atacan a la roca madre son tan variados como los mismos materiales que la componen. La complejidad del clima se ha exagerado raras veces. Es cierto que la precipitación y la temperatura son sus componentes básicos, pero éstos no pueden describirse de manera adecuada utilizando valores promedios. Máximos, mínimos y ritmos estacionales, tanto de la temperatura como de la precipitación, son características de vital importancia. El tipo y la intensidad de la segunda son también rasgos fundamentales. Debe considerarse además la coordinación de las pautas de la temperatura y precipitación. ¿Llega el suelo a secarse en toda su profundidad en alguna época del año? Si es así, diferirá de otros suelos que permanecen húmedos. ¿Llega a helarse? ¿Es la precipitación lo bastante intensa para causar escorrentía y erosión? ¿Existe suficiente agua en cualquier época para percolar a través del suelo, hacia el horizonte C y las capas rocosas subyacentes? La respuesta a este último interrogante es una de las más importantes características del clima. Incluso un exceso temporal de agua, sobre la que el suelo puede absorber, es capaz de lavar y extraer materiales del mismo.

### **Los organismos vivos**

Los organismos vivos también modifican la roca madre y contribuyen a la formación del suelo. Este factor incluye la vida animal y vegetal en sus formas macro y microscópicas. En general la variable más sobresaliente es la vegetación. La distribución de la materia orgánica en el perfil, constituye una diferencia fácilmente perceptible entre los suelos de pastizal y los forestales. En los primeros, la concentración de materia orgánica es máxima cerca de la superficie, declinando gradualmente con la profundidad. Esta pauta sigue de cerca la distribución de las raíces de la hierba, ya que gran parte de la materia orgánica proviene de las raíces que mueren y se regeneran cada año.

Los primeros centímetros superficiales de los suelos forestales suelen presentar un color oscuro y contienen tanta materia orgánica como sus correspondientes en pastizales, sin embargo, la parte inferior del horizonte A es generalmente de color claro y pobre en materia orgánica (fig. 1-4). Las raíces de los árboles poseen una vida larga y, por tanto, aportan al suelo poca materia orgánica cada año.

Los árboles depositan una capa de hojas y ramitas en la superficie del suelo. Este material se descompone gradualmente durante unos años. Parte de él se



**Figura 1-4.** Suelo formado bajo vegetación forestal mostrando la parte inferior del horizonte A de color más claro que la región superior del mismo horizonte y que el horizonte B. Este suelo puede compararse con el formado bajo pradera ilustrado en la figura 1-1. (Cortesía de Wells Andrews.)

mezcla con los centímetros superiores del suelo y produce la delgada capa oscura en el horizonte A. El proceso de descomposición origina ácidos orgánicos que lavan el perfil y tienden a hacer los suelos forestales más ácidos que los de los pastizales. La intensa acción percolante de aquellos ácidos ocasiona a menudo mayores concentraciones de arcilla en el horizonte B de los suelos forestales que en el de suelos de pradera.

Existen, naturalmente, muchas especies distintas de árboles y de hierbas. Cada una tiene su propia y característica influencia en la formación del suelo. Los árboles de hoja perenne, por ejemplo, suelen producir percolados más ácidos que

los de hoja caduca. Las diferentes especies de hierbas y arbustos varían mucho en la cantidad de materia orgánica que producen y aportan al suelo. Cada suelo refleja la vegetación bajo la cual se formó.

Aunque la vegetación es una variable muy importante en la determinación del tipo de suelo que se forma en un lugar concreto, no es completamente independiente. El clima de una región tiene mucho que ver con el tipo de vegetación que en ella crece. Por otra parte, la capacidad de suministro de nutrientes que el suelo hereda de la roca madre, determina en muchos casos el tipo de vegetación y siempre influye en la magnitud de su crecimiento anual. La relación entre el suelo y la vegetación es mutua y bidireccional, presentando además complicaciones por la acción del clima y de otros factores.

### **La topografía**

Entre el suelo y la topografía existe también una relación mutua. Algunos suelos se erosionan fácil y rápidamente, permitiendo la formación de valles amplios. Otros resisten la erosión, dando lugar a cerros y vertientes escarpadas. A su vez, la pendiente de las laderas influye en la velocidad con que el suelo se erosiona. Una erosión rápida mantiene el suelo joven y poco profundo. Una erosión lenta permite la formación de suelos más profundos y diferenciados con el transcurso del tiempo.

Los suelos con horizontes A y B muy diferenciados suelen encontrarse en regiones llanas con erosión escasa o nula. El agua tiende a acumularse en estos suelos, haciéndolos más húmedos que los situados en laderas. Los suelos llanos tienden a presentar dificultades de drenaje, tanto interno como externo. El encharcamiento conduce a menudo a un exuberante crecimiento de plantas higrófilas. Como en estas condiciones la aireación es escasa, la materia orgánica producida tiende a acumularse, resultando suelos de coloración oscura.

Los suelos en laderas empinadas son más secos, en general, menos profundos y poseen colores más claros, a menudo más rojizos que los situados en pendientes suaves. Los que se hallan expuestos al sol de mediodía presentan especialmente estas características. Estos suelos, orientados al Sur (en el hemisferio Norte) y al Oeste pierden agua tanto por escorrentía como por evaporación rápida. El crecimiento de la vegetación es más débil y la descomposición más acelerada que en otros lugares. El contenido en materia orgánica es pues relativamente bajo en esas laderas cálidas.

### **El tiempo**

La formación del suelo es un proceso lento pero continuo. Los suelos cambian con el transcurso de los años, siglos y milenios. La naturaleza actual de un suelo

en cualquier lugar depende pues, en parte, del tiempo que ha permanecido expuesto a la meteorización. Los suelos jóvenes son muy parecidos a su roca madre, mientras que los suelos maduros suelen aparecer fuertemente diferenciados. Una diferenciación excesiva es desfavorable ya que la arcilla acumulada en el horizonte B de los suelos muy antiguos, con frecuencia dificulta la penetración de las raíces de las plantas, tanto por su dureza como por su débil aireación.

Otra característica desafortunada, usualmente asociada con los suelos antiguos, es el declive de fertilidad. No obstante, este factor puede corregirse con el empleo adecuado de fertilizantes.

## LA DENOMINACIÓN DE LOS SUELOS

Ha llegado a ser una práctica corriente el nombrar a cada suelo con el nombre de una ciudad, escuela, iglesia, río u otras particularidades geográficas localizadas cerca del lugar donde el suelo fue por primera vez identificado. Nombres como *Amarillo* y *Fargo* se refieren, por ejemplo, a suelos del noroeste de Tejas y de Dakota del Norte respectivamente. Todos los suelos con características de perfil incluidas dentro de los límites definidos para aquéllos, reciben los mismos nombres. La unidad así formada es lo que se llama una *serie* de suelos. Teóricamente, dos regiones que presenten la misma combinación, en tipo y grado, de los cinco factores formadores del suelo, deben poseer suelos de la misma serie. Este principio es aplicable tanto si ambas regiones son contiguas como si se encuentran en distintos continentes. En la práctica el nombre de serie suele utilizarse únicamente en un país, debido a problemas políticos y organizativos. Sin embargo, algunas unidades amplias de clasificación de suelos se utilizan casi a escala mundial.

Dentro de cada serie de suelos, debe concederse cierto intervalo de variación a sus características, ya que no existen dos perfiles tan parecidos que sea imposible detectar diferencias entre ellos. No obstante, esos intervalos deben definirse cuidadosamente. Los límites deben ser lo bastante estrechos para permitir deducciones aplicables a la agricultura, ingeniería y otros usos, pero lo bastante amplios para que suelos de áreas relativamente extensas puedan recibir el mismo nombre.

Los nombres de series de suelos se refieren a áreas, no a puntos. Las características de la superficie, como la pendiente y el microrrelieve deben tenerse en consideración al nombrar un suelo. Un perfil por sí sólo no puede calificar una serie porque esencialmente representa un punto en el espacio, que posee una dimensión vertical pero que carece de área y de volumen. El *pedón* es la unidad definida, tridimensional, que posee todas las características de un suelo. Correspondiendo a la noción de individuo vegetal o animal, es la unidad más pequeña de la serie de suelos. Arbitrariamente, cada pedón cubre una superficie de 1 m<sup>2</sup>,

excepto en circunstancias especiales, que puede ser algo más extensa para representar el suelo de modo completo.

## La clasificación de suelos

Existen miles de series de suelos (demasiadas para que una sola persona pueda llegar a familiarizarse con todas ellas). Se necesitan nombres más inclusivos, que agrupen los suelos en un menor número de clases. Para este propósito se utilizan diversos sistemas de clasificación en diferentes lugares. Los dos sistemas de clasificación de suelos de USDA, el nuevo y el antiguo, se explican en el capítulo 16.

Uno de los niveles superiores de clasificación mejor conocidos es el de *orden de suelos*. La mayoría de los suelos pueden incurrir en uno u otro de los 10 órdenes establecidos. Cada uno de ellos comprende muchas series diferentes de suelos, que presentan varias características importantes en común. Por ejemplo, el suelo de la figura 1-1 es un Mollisol porque tiene un horizonte A espeso, de coloración oscura, característico de los suelos formados bajo vegetación herbácea en climas subhúmedos templados. La figura 1-4 presenta un Alfisol, formado bajo vegetación forestal en clima húmedo y templado. Éstos y otros nombres de suelos

**Tabla 1-1. Descripción general de los órdenes en taxonomía de suelos.**

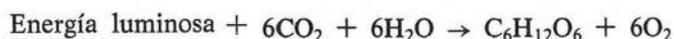
Orden	Descripción
Alfisoles	Suelos con horizonte A de color claro o medianamente oscuro y con acumulación significativa de arcilla en el horizonte B. La mayoría de los alfisoles se forman bajo vegetación forestal.
Aridisoles	Suelos de regiones áridas. Son de colores claros y, la mayor parte de ellos presenta reacción alcalina.
Entisoles	Suelos muy jóvenes con escasa o nula diferenciación de horizontes.
Histosoles	Suelos dominados por materiales orgánicos. Se forman en condiciones húmedas o frías.
Inceptisoles	Suelos en fase temprana de desarrollo que no presentan acumulaciones de arcilla significativas.
Mollisoles	Suelos con horizonte A espeso y de color oscuro. La mayoría se forman bajo vegetación herbácea en climas templados.
Oxisoles	Suelos muy meteorizados. La mayoría se dan en los trópicos y presentan muy escasa fertilidad.
Espodosoles	Suelos intensamente lavados de regiones húmedas y frescas. Poseen colores brillantes, acidez elevada y escasa fertilidad.
Ultisoles	Suelos intensamente meteorizados, formados en regiones cálidas y húmedas bajo vegetación forestal. Exhiben colores más rojos y menos fertilidad que los alfisoles.
Vertisoles	Suelos ricos en arcilla que, durante la estación seca, forma grietas profundas de, al menos, 1 cm de anchura.

serán utilizados en diversas partes de este libro. En la tabla 1 se dan las descripciones generales de los 10 órdenes de la nueva clasificación USDA y en el capítulo 16 descripciones más detalladas.

## CONTRIBUCIÓN DEL SUELO AL CRECIMIENTO VEGETAL

El suelo proporciona a las plantas superiores varios elementos esenciales para su crecimiento. Entre ellos, los principales son el soporte mecánico, los nutrientes, el agua y el oxígeno para la respiración de la raíces.

Las plantas, en el proceso fotosintético, producen azúcar y desprenden oxígeno. Esta reacción compleja puede resumirse de modo general como sigue:



Un aspecto importante de la fotosíntesis, es que tiene lugar únicamente cuando y donde la energía luminosa incide sobre un tejido vegetal conteniendo clorofila o alguna sustancia similar. Las plantas también respiran y utilizan parte de la energía almacenada en los azúcares producidos por fotosíntesis, siguiendo la reacción generalizada que a continuación se indica:



La respiración tiene lugar en todos los tejidos vivos y requiere un suministro de oxígeno. Esto no es problema para las partes aéreas de las plantas, inmersas en una atmósfera constituida por oxígeno en una quinta parte. Las raíces, sin embargo, pueden agotar el oxígeno del aire del suelo si éste se encuentra excesivamente húmedo. Demasiada agua en el suelo, no sólo reduce la cantidad de aire en el volumen de poros, sino que además, reduce sus intercambios con la atmósfera. En tales condiciones, el aire del suelo deviene pobre en oxígeno y rico en dióxido de carbono. Los microorganismos edáficos compiten con las raíces de las plantas por el oxígeno, para utilizarlo en su propia respiración al descomponer los materiales orgánicos del suelo. El suministro de oxígeno en un suelo mal drenado puede ser tan bajo que los procesos vitales se vean drásticamente alterados. Las plantas no llegan a desarrollarse con normalidad y la población microbiana del suelo se modifica. Un suelo saturado de agua puede ser rico en nutrientes y, sin embargo, producir menguadas cosechas debido a la falta de oxígeno en el aire que contiene.

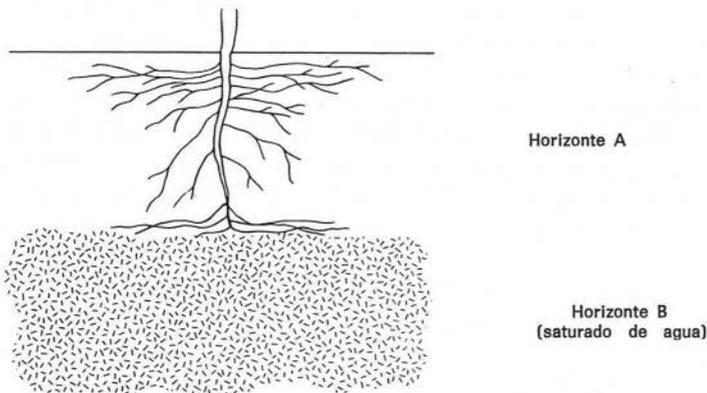
La respiración de las raíces es necesaria para la absorción de nutrientes y de agua. Las plantas pueden sufrir deficiencia de un elemento que se halla actualmente en el suelo en cantidades adecuadas, si se agota el suministro de oxígeno.

También es posible que las plantas se marchiten con las raíces hincadas en un suelo saturado de agua (Kramer, 1949). Los cultivos hidropónicos constituyen una contradicción aparente a este principio. El oxígeno sigue siendo vital para las raíces de esas plantas, pero llega a ellas de la misma manera que lo logra un pez: por disolución en el agua. En los cultivos hidropónicos, el agua se renueva con frecuencia, o se hace burbujear aire en su interior a fin de mantener la reserva de oxígeno. Algunas plantas, como el arroz, consiguen paliar las anteriores limitaciones mediante estructuras celulares especiales, localizadas junto a la superficie del agua, que les permiten absorber oxígeno atmosférico para la respiración de las raíces. Sin embargo, la mayoría de las plantas requieren la presencia de oxígeno en su medio de crecimiento.

Gran parte, pero no toda el agua que penetra en el suelo es utilizable para el crecimiento de las plantas. El agua en exceso, percola a través del suelo y, eventualmente, alcanza el nivel freático local, después de que el suelo haya absorbido toda la que puede retener. Parte del agua puede perderse por evaporización en la superficie, especialmente la contenida en los 8 o 10 cm superiores. El agua restante comprende una parte no disponible para las plantas, pues la arcilla y la materia orgánica la retienen con tanta energía, que aquéllas no puedan extraerla.

### El soporte mecánico

El hecho de que el suelo proporciona un soporte mecánico a las plantas es bastante obvio. La posibilidad de que surjan problemas a este respecto no es tan obvio, pero, sin embargo, cierto. Un problema de soporte inadecuado puede provenir de algún organismo edáfico que ataque y debilite las raíces de las plantas. Otros casos de soporte insuficiente pueden resultar de las condiciones físicas



**Figura 1-5.** Las raíces se extienden lateralmente en vez de penetrar en el suelo mal aireado.