

EDAFOLOGIA

Traducción del Capítulo I del libro: Brady, N. C. and R. R. Weil. 1998. The Nature and Properties of Soil. 12th. Edition. Prentice Hall. Upper Saddle River. New Jersey 07458.

Traducción de: Ing. Agr. Guillermo S. Fadda

I LOS SUELOS A NUESTRO ALREDEDOR*

La Tierra, nuestro único hogar en la vastedad del Universo, está en crisis. La reducción de la capa de ozono en la atmósfera superior está amenazándonos con una sobrecarga de radiación ultravioleta. Los bosques tropicales húmedos, y la fantástica diversidad de especies vegetales y animales que contienen, están desapareciendo a un ritmo sin precedente. Las reservas de aguas subterráneas están siendo contaminadas en muchas áreas y agotadas en otras. En partes del mundo, la capacidad de los suelos para producir alimentos está siendo degradada, justamente cuando el número de habitantes que necesitan alimentos está en incremento. Será un gran desafío para la generación actual restablecer el balance del ambiente global.

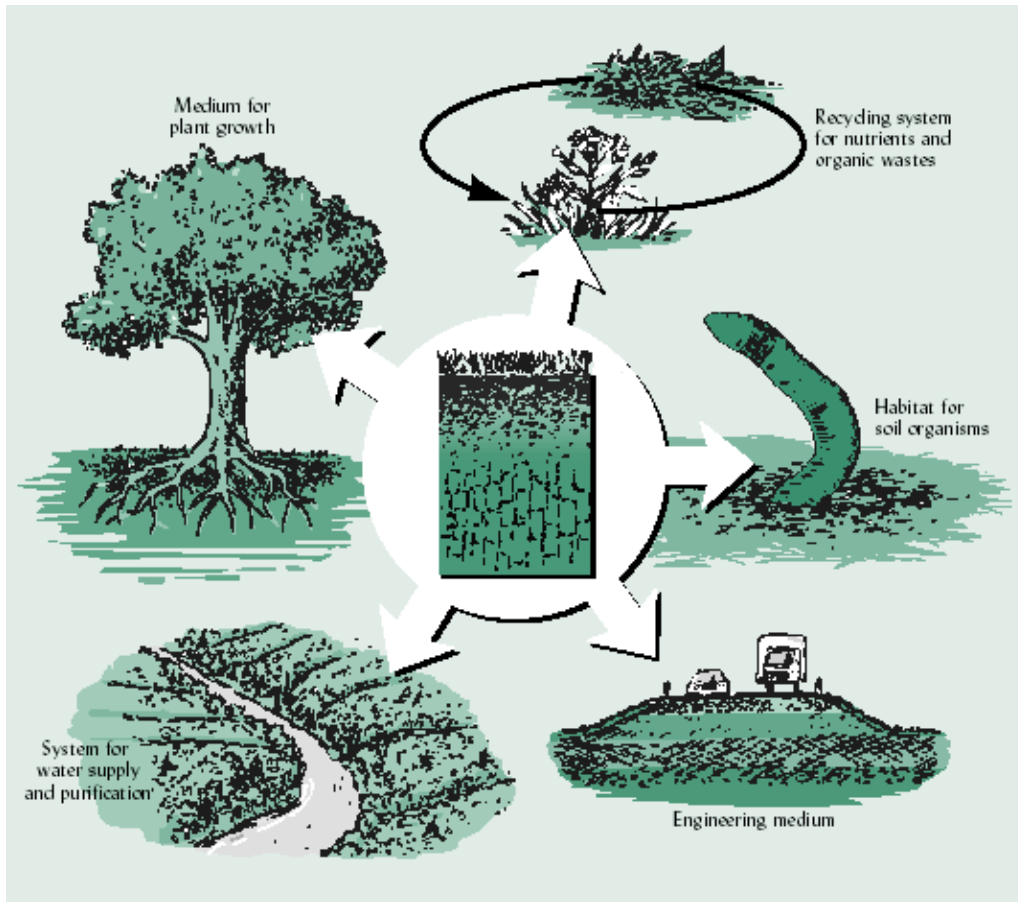
Los suelos son trascendentes para la vida en la Tierra. Desde la disminución de la capa de ozono hasta la destrucción de los bosques húmedos y la contaminación del agua, el ecosistema global está siendo afectado profundamente por procesos que se cumplen en el suelo. En una gran parte, la calidad del suelo determina la naturaleza del ecosistema vegetal y la capacidad de la tierra para sostener la vida animal y la sociedad. En la medida en que la sociedad humana se torna cada vez más urbanizada, menos gente tiene un íntimo contacto con el suelo, y los individuos tienden a perder de vista las muchas maneras en que ellos dependen de los suelos para su prosperidad y supervivencia. En el futuro, el grado en el cual dependemos de los suelos probablemente incrementará en lugar de decrecer. Por supuesto, los suelos continuarán proveyéndonos de casi todos nuestros alimentos y la mayoría de nuestra fibra. En un día caluroso ¿Ud. preferiría vestir una camisa de algodón o de poliéster? Un gran porcentaje de nuestras medicinas, incluyendo drogas anticancerígenas, continuarán siendo derivadas de plantas silvestres y cultivadas y organismos del suelo. En adición, la biomasa que crece en los suelos probablemente devendrá cada vez más una importante fuente de energía y de reservas industriales, en la medida en que las finitas reservas mundiales de petróleo sean agotadas en el próximo siglo. Los primeros signos de esta tendencia pueden ser vistos en las tintas basadas en aceite de soja, los plásticos de almidón de maíz, y el combustible de alcohol de madera, que se vuelven cada vez más importantes en el mercado.

El arte del manejo del suelo es tan viejo como la civilización. A medida en que nos introduzcamos en el siglo 21, nuevos conocimientos y nuevas tecnologías serán necesarias para proteger el ambiente y al mismo tiempo producir alimentos y biomasa para sostener la sociedad. El estudio de la Ciencia del Suelo nunca ha sido más importante para los silvicultores, agricultores, ingenieros, administradores de recursos naturales y ecologistas.

II. FUNCIONES DEL SUELO EN NUESTRO ECOSISTEMA

En cualquier ecosistema, ya sea en su jardín, una finca, un bosque, o una cuenca hidrográfica regional, los suelos tienen cinco roles que jugar. Primero, el suelo sostiene el crecimiento de las plantas superiores, principalmente proveyendo un medio para las raíces y supliendo los elementos nutritivos que son esenciales para el vegetal. Las propiedades de los suelos a menudo determinan la naturaleza de la vegetación presente e, indirectamente, el número y tipo de animales (incluyendo el hombre) que la vegetación puede soportar. Segundo, las propiedades del suelo son el principal factor que controla el destino del agua en el sistema hidrológico. Las pérdidas, la utilización, la contaminación y la purificación del agua son todas afectadas por el suelo. Tercero, las funciones del suelo como sistema natural de reciclaje. En el suelo, los residuos y los cuerpos muertos de plantas, animales y gente son asimilados, y sus elementos básicos se hacen disponibles para su reutilización en la próxima generación de vida. Cuarto, los suelos proveen el hábitat para una miríada de organismos vivos, desde pequeños mamíferos y reptiles a diminutos insectos y a un inimaginable número y diversidad de células microscópicas. Finalmente, en los ecosistemas elaborados por el hombre, el suelo juega un importante rol como un medio de ingeniería. El suelo no es sólo un importante material de construcción como material de relleno o ladrillos, sino que provee la base para virtualmente cada ruta, aeropuerto o casa que construimos.

* Cubre las exigencias del Capítulo I del Programa de Edafología-Año 2000.



I.2. MEDIO PARA EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS

Imagine el crecimiento de un árbol o una planta de maíz. La parte aérea del maíz puede ser más familiar, pero la porción que está creciendo debajo de la superficie del suelo, su sistema radical, puede ser casi tan grande como la porción que vemos arriba de la superficie. ¿Qué cosas obtienen estas plantas del suelo en el cual sus raíces proliferan? Está claro que la masa de suelo provee soporte físico, anclando el sistema radical de manera que la planta no se caiga. Ocasionalmente, un viento o una nevada fuerte pueden volcar una planta cuyo sistema radical fue restringido por una condición de suelo inhóspita o poco profunda.

Las raíces de las plantas dependen del proceso de respiración para obtener energía. Ya que la respiración de las raíces, al igual que nuestra propia respiración, produce dióxido de carbono (CO_2) y usa oxígeno (O_2), una importante función del suelo es la *ventilación* – que permite el escape de CO_2 y la entrada de O_2 fresco en la zona de las raíces. Esta ventilación es cumplida por la red de poros del suelo.

Una función igualmente importante de los poros del suelo es absorber al agua de lluvia y retenerla donde ella pueda ser usada por las raíces de la planta. Mientras las hojas de la planta están expuestas a la luz solar, la planta requiere un continuo flujo de agua para usar en el enfriamiento, el transporte de nutrientes, el mantenimiento de la turgencia, y la fotosíntesis. Las plantas usan el agua continuamente, pero en la mayoría de los lugares llueve solo ocasionalmente, entonces la capacidad de retención de agua de los suelos es esencial para la sobrevivencia de la planta. Un suelo profundo puede almacenar suficiente agua para permitir a las plantas sobrevivir largos períodos sin lluvia.

Además de moderar los cambios de humedad en el ambiente radical, el suelo también modera las fluctuaciones de temperatura. Quizás Ud. puede recordar que cavando en el jardín una tarde de verano, sintió cuán caliente estaba el suelo en la superficie y cuanto más frío apenas unos pocos centímetros más abajo. Las propiedades aislantes del suelo protegen las porciones profundas del sistema radical de los calores y fríos extremos que a menudo ocurren en la superficie. Por ejemplo, no es inusual que la temperatura en la superficie de un suelo desnudo exceda 35 o 40°C al mediodía, una condición que sería letal para la mayoría de las raíces de la planta. Sin embargo, apenas unos pocos centímetros más abajo la temperatura puede ser 10°C más fría, permitiendo que las raíces funcionen normalmente.

Hay muchas fuentes potenciales de sustancias fitotóxicas en los suelos. Estas toxinas pueden resultar de la actividad humana, o pueden ser producidas por las raíces de la planta, por los microorganismos, o por reacciones químicas naturales. Muchos tecnólogos de suelo consideran una función de un buen suelo ser una protección para las plantas de las concentraciones tóxicas de tales sustancias ya sea ventilando los gases, descomponiendo o adsorbiendo toxinas orgánicas, o suprimiendo los organismos productores de toxinas. Al mismo tiempo, es cierto que algunos microorganismos del suelo producen compuestos orgánicos estimulantes del crecimiento. Estas sustancias, cuando son tomadas por las plantas en pequeñas cantidades, pueden mejorar el vigor de la planta.

El suelo provee a las plantas de elementos inorgánicos, nutrientes minerales en forma de iones disueltos. Estos nutrientes minerales incluyen elementos metálicos tales como potasio, calcio, hierro, y cobre, así como elementos no metálicos como nitrógeno, azufre, fósforo y boro. Consumiendo vegetales, los humanos y otros animales usualmente obtienen los minerales que necesitan indirectamente del suelo (incluyendo varios elementos que las plantas toman pero que no parece que utilizan para ellas mismas). Bajo algunas circunstancias, los animales satisfacen sus ansias de minerales por ingesta o lamiendo el suelo directamente. La planta toma directamente estos elementos de la solución del suelo e incorpora la mayoría de ellos en los miles de compuestos orgánicos que constituyen los tejidos de la planta. Un rol fundamental del suelo en el sostén del crecimiento vegetal es proveer un suministro continuo de nutrientes minerales disueltos en cantidades y proporciones relativas apropiadas para el crecimiento vegetal.

De los 92 elementos químicos presentes en la naturaleza, solo los 18 listados en la Tabla 1.1 han mostrado ser **elementos esenciales** sin los cuales las plantas no pueden crecer y completar su ciclo biológico. Un mensaje que puede ser encontrado en un letrero colgado de la puerta de un café puede ayudarlo a recordar los 18 elementos esenciales para el crecimiento vegetal. La mayoría de los símbolos químicos son obvios, pero encontrar aquellos para el cobre(Cu) y Zinc(Zn) puede requerir alguna imaginación.

C.B.HOPKINS café, Co.
Closed Monday Morning and Night
See You Zoon, the Mg

Los elementos esenciales usados por las plantas en relativamente grandes cantidades son llamados **macronutrientes**, aquellos usados en más pequeñas cantidades son conocidos como **micronutrientes**.

En adición a los nutrientes minerales precisamente listados, las plantas pueden también usar diminutas cantidades de compuestos orgánicos del suelo. No obstante, la toma de estas sustancias no es verdaderamente necesaria para el normal crecimiento vegetal. Los metabolitos orgánicos, enzimas y compuestos estructurados constituyentes de la materia seca vegetal consisten principalmente de carbono, hidrógeno y oxígeno, a los cuales la planta los obtiene por la fotosíntesis del aire y el agua., no del suelo.

TABLA I.I Elementos esenciales para el crecimiento vegetal y sus fuentes*

Las formas químicas más comúnmente tomadas por las plantas están mostradas entre paréntesis, con el símbolo químico del elemento en negrilla.		
Macronutrientes: Usados en relativamente grandes cantidades (>0,1% del tejido vegetal seco)		Micronutrientes: Usados en relativamente pequeñas cantidades (<0,1% del tejido vegetal seco)
Principalmente del agua y del aire Carbono (CO₂) Hidrógeno(H₂O) Oxígeno(O₂,H₂O)	Principalmente de los sólidos suelo Nitrógeno(NO₃⁻,NH₄⁺) Fósforo(H₂PO₄⁻,HPO₄⁻²) Potasio(K⁺) Calcio(Ca⁺²) Magnesio(Mg⁺²) Sulfuro(SO₄⁻²)	De los sólidos del suelo Hierro(Fe⁺²) Manganeseo(Mn⁺²) Boro(HBO₃) Zinc(Zn⁺²) Cobre(Cu⁺²) Cloro(Cl⁻¹) Cobalto(Co⁺²) Molibdeno(MoO₄⁻²) Níquel(Ni⁺²)

#Muchos otros elementos son tomados del suelo por las plantas, pero no son esenciales para el crecimiento vegetal. Algunos de éstos (tales como sodio, silicio, iodo, flúor, bario, y estroncio) estimulan el crecimiento de ciertas plantas, pero no parecen ser universalmente requeridos para el normal desarrollo como lo son los 18 listados en esta tabla.

Es cierto que las plantas pueden ser criadas en soluciones nutritivas sin el suelo (**hidroponia**), pero entonces las funciones de los suelos como soporte de la planta debe ser construida en el sistema y mantenida con un alto costo de tiempo, esfuerzo y manejo. Aunque la producción hidropónica puede ser factible a pequeña escala para unas pocas especies de alto valor, la producción de los alimentos y fibras del mundo y el mantenimiento de los ecosistemas naturales dependerá siempre de la utilización de millones de kilómetros cuadrados de suelos productivos.

I.3 REGULADOR DE LAS RESERVAS DE AGUA

Hay mucha preocupación con relación a la calidad y cantidad del agua en nuestros ríos, lagos, y acuíferos subterráneos. Gobiernos y ciudadanos en todas partes están trabajando para frenar la contaminación que amenaza el valor de nuestras aguas para la pesca, la natación y la bebida. A pesar de los progresos que podemos realizar en la mejora de la calidad del agua, debemos reconocer que casi cada gota de agua de nuestros ríos, lagos, estuarios y acuíferos ha viajado ya sea a través del suelo o fluido sobre su superficie⁴. Imagine, por ejemplo, una lluvia fuerte cayendo sobre las colinas que rodean al río en la Fig.1.7. Si el suelo permite que la lluvia se absorba en él, algo del agua puede ser almacenada en el suelo y usada por los árboles y otras plantas, mientras algo puede filtrar lentamente hacia abajo a través de las capas del suelo hasta el agua subterránea, eventualmente llegar al río en un período de meses o años como un flujo de base. Si el agua está contaminada, en la medida que ella se absorbe a través de las capas superiores del suelo es purificada y limpiada por procesos edáficos que eliminan muchas impurezas y matan potenciales organismos patógenos.

Contrasta el escenario precedente con lo que habría ocurrido si el suelo fuera demasiado poco profundo o impermeable para que la mayor parte de la lluvia penetrara en el suelo, sino que corriera por la superficie de las colinas arrasando la superficie del suelo y los residuos, colectándolos velozmente y alcanzando el río rápidamente, casi toda de una vez. El resultado sería una repentina inundación destructiva de aguafangosa. Evidentemente, la naturaleza y el manejo de los suelos en una cuenca hidrográfica tendrá una gran influencia en la pureza y cantidad de agua resultante y en su camino a los sistemas acuáticos.

I.4 RECICLADOR DE RESIDUOS

¿Qué sería de un mundo sin las funciones de reciclaje cumplidas por los suelos? Sin la reutilización de los nutrientes, las plantas y animales habrían agotado el nutrimento hace mucho tiempo. El mundo estaría cubierto con una capa, posiblemente de cientos de metros de altura, de cuerpos y desperdicios de plantas y animales. Obviamente, el reciclaje es necesariamente un proceso vital en los ecosistemas, ya sea en los bosques, las fincas o las ciudades. El sistema suelo juega un rol central en los ciclos geoquímicos principales. Los suelos tienen la capacidad de asimilar grandes cantidades de residuos orgánicos, transformándolos en el benéfico humus, convirtiendo los nutrientes minerales de los residuos a formas que pueden ser utilizadas por las plantas y los animales, y retornando el carbono a la atmósfera como dióxido de carbono, desde donde nuevamente volverá a ser parte de los organismos vivientes a través de la fotosíntesis vegetal. Algunos suelos pueden acumular grandes cantidades de carbono como materia orgánica del suelo, teniendo de este modo un impacto importante en los cambios globales tal como el tan discutido efecto invernadero (ver Secciones 1.12 y 12.2).

I.5 HABITAT PARA LOS ORGANISMOS DEL SUELO

Cuando hablamos de proteger los ecosistemas, la mayoría de la gente imagina un lugar de un antiguo bosque con su abundante vida silvestre, o quizás un estuario tal como el de la Bahía Chesapeake con sus criaderos de ostras y pescaderías. (Quizás, una vez que haya leído este libro, imaginará un puñado de suelo cuando alguien hable de un ecosistema). El suelo no es simplemente un montón de roca desintegrada y residuos muertos. Un puñado de suelo puede ser el hábitat de billones de organismos, pertenecientes a miles de especies. Aún en esta pequeña cantidad de suelo, probablemente existan predadores, presas, productores, consumidores y parásitos. (Figura 1.8).

⁴ Esto excluye la relativamente escasa cantidad de precipitación que cae directamente sobre los cuerpos de agua superficiales.

¿Cómo les es posible a tal diversidad de organismos vivir e interactuar en tan pequeño espacio? Una explicación es el enorme rango de nichos y hábitats que hay aún en un suelo aparentemente uniforme. Algunos poros del suelo pueden estar llenos de agua en la cual nadan organismos tales como amebas, diatomeas y rotíferos. Pequeños insectos y ácaros pueden ser arrastrados a las proximidades de otros, en los poros más grandes llenos de aire húmedo. Microzonas con buena aireación pueden estar sólo a milímetros de áreas sin oxígeno. Áreas diferentes pueden estar enriquecidas con materias orgánicas en descomposición; algunos lugares pueden ser fuertemente ácidos, otros más básicos. La temperatura, también, puede variar ampliamente.

Ocultas a la vista, en los suelos del mundo hay comunidades de organismos vivos igual de complejas e intrínsecamente valiosas que sus contrapartes que vagan por las sabanas, los bosques, y océanos de la tierra. Los suelos contienen mucho de la diversidad genética de la tierra. Los suelos, como el aire y el agua, son importantes componentes de un ecosistema más grande. Recién ahora la calidad del suelo está tomando su lugar, junto a la calidad del agua y del aire, en las discusiones de protección ambiental.

1.6 MEDIO PARA FUNDACIONES

“Terra firma, terreno sólido” Normalmente pensamos que el suelo es firme y sólido, una buena base sobre la cual construir rutas y toda clase de estructuras. En efecto, la mayoría de las estructuras reposa sobre el suelo, y muchos proyectos de construcciones necesitan de una excavación en el suelo. Desafortunadamente, como puede verse en la Figura 1.9, algunos suelos no son tan estables como otros. Construcciones confiables en los suelos, y con materiales edáficos, requiere del conocimiento de la diversidad de propiedades del suelo, como se discutirá luego en este capítulo. Proyectos de base de rutas o de fundaciones de edificios que funcionan bien en una localidad sobre un tipo de suelo pueden ser inadecuados para otra localidad con suelos diferentes.

Trabajar con suelos naturales o materiales edáficos excavados no es igual que trabajar con hormigón o acero. Propiedades tales como resistencia a la carga, compresibilidad, resistencia a la ruptura y estabilidad son mucho más variables y difíciles de predecir para los suelos que para los materiales de construcción manufacturados. El Capítulo 4 provee una introducción a algunas propiedades ingenieriles de los suelos. Muchas otras propiedades físicas discutidas tendrán una aplicación directa a los usos ingenieriles del suelo. Por ejemplo, el Capítulo 8 discute las propiedades de expansibilidad de ciertos tipos de arcillas en los suelos. El ingeniero debería estar informado que cuando los suelos con arcillas expansibles son humedecidos se expanden con fuerza suficiente para agrietar las construcciones y ondular el pavimento. Mucha de la información sobre las propiedades y clasificación del suelo discutidas en los capítulos posteriores serán de gran valor para los planificadores de usos de la tierra que impliquen construcción o excavación.

1.7 EL SUELO COMO UN CUERPO NATURAL

Usted puede haber notado que este libro algunas veces se refiere a “el suelo”, algunas veces a “un suelo”, y algunas veces a “suelos”. A menudo se dice que el suelo cubre la tierra como la cáscara cubre una naranja. Sin embargo, mientras la cáscara es relativamente uniforme alrededor de la naranja, el suelo es muy variable de un lugar a otro en la Tierra. En realidad, el suelo es una colección de cuerpos individualmente diferentes. Uno de estos cuerpos individuales, *un suelo*, es para *el suelo* como un árbol individual es a la vegetación de la tierra. Exactamente como uno puede encontrar arces, robles, abetos, y muchas otras especies de árboles en un bosque en particular, así, también uno puede encontrar las series de suelos Christiana franco arcillosa, Sunnyside franco arenosa, Elkton franco limosa, y otras clases de suelos en un paisaje en particular.

Un suelo es un cuerpo natural tridimensional, en el mismo sentido que lo es una montaña, un lago, o un valle. Metiendo un recipiente en un lago Ud. puede hacer un muestreo de su agua. De la misma manera cavando o barrenando un agujero en un suelo, se puede recuperar un poco de material del suelo. De este modo Ud. puede tomar una muestra de material del suelo o agua y en el laboratorio analizar sus contenidos, pero Ud. debe salir al campo para estudiar un suelo o un lago.

En la mayoría de los lugares, la roca expuesta en la superficie de la tierra se ha fragmentado y descompuesto para producir una capa de residuos no consolidados que cubre la roca dura no meteorizada. Esta capa no consolidada es llamada *regolita*, y varía en espesor desde virtualmente inexistente en algunos lugares (i.e., roca expuesta desnuda), hasta decenas de metros en otros lugares. El material de la regolita, en muchas oportunidades, ha sido transportado muchos kilómetros desde el sitio de su formación inicial y luego depositado sobre la roca que actualmente cubre. De este modo, toda o parte de la regolita

puede o no estar relacionada con la roca que actualmente se encuentra debajo de ella. Cuando la roca subyacente se ha temperizado en el lugar en tal grado que es suficientemente blanda para ser cavada con una pala, se utiliza el término *saprolita* (Ver Placa 11).

A través de sus efectos físicos y bioquímicos, los organismos vivos tales como bacterias, hongos y raíces de las plantas han alterado la parte superior –y en muchos casos, el espesor completo– de la regolita. Aquí, en la interfase entre los mundos de la roca (la litosfera), el aire (atmósfera), el agua (hidrosfera), y las cosas vivientes (biosfera), el suelo está naciendo. La transformación de la roca inorgánica y de los residuos en un suelo viviente es una de las demostraciones más fascinantes de la naturaleza. Aunque normalmente ocultos a la vista corriente, el suelo y la regolita pueden a menudo ser vistos en los cortes de ruta y otras excavaciones (Figura 1.10).

Un suelo es el producto de ambos procesos, destructivos y creativos (sintéticos). La meteorización de la roca y la descomposición microbiológica de los residuos orgánicos son ejemplos de procesos destructivos, mientras que la formación de nuevos minerales, tales como ciertas arcillas, y de nuevos compuestos orgánicos estables, son ejemplos de síntesis. Quizás el más asombroso resultado de los procesos de síntesis es la formación de capas horizontales llamadas **horizontes del suelo**.- El desarrollo de estos horizontes en la regolita superior es una característica única del suelo que lo coloca aparte de los materiales más profundos de la regolita.

1.8 EL PERFIL DEL SUELO Y SUS CAPAS (HORIZONTES)

Los edafólogos comúnmente excavan un pozo grande, llamado *calicata*, usualmente de varios metros de profundidad y alrededor de un metro de ancho, para exponer los horizontes de suelo a la observación. La sección vertical que expone un conjunto de horizontes en la pared vertical de tal calicata es denominada **perfil del suelo**. Los cortes de ruta y otras excavaciones pueden exponer perfiles de suelos y servir como una ventana para el suelo. En una excavación abierta durante algún tiempo, los horizontes son a menudo enmascarados por material del suelo que ha sido arrastrado por la lluvia desde los horizontes superiores cubriendo las superficies expuestas de los inferiores. Por esta razón los horizontes pueden ser más claramente vistos si una superficie fresca es expuesta raspando una capa de varios centímetros en la pared de la calicata. Observando como varían de lugar en lugar los suelos expuestos en los cortes de ruta puede agregarse al viaje una nueva dimensión fascinante. Una vez que se ha aprendido a interpretar los diferentes horizontes (ver Capítulo 2), los perfiles de suelos pueden advertir de problemas potenciales en el uso de la tierra, tanto como informar mucho acerca del ambiente y la historia de la región. Por ejemplo, los suelos desarrollados en una región seca tendrán horizontes muy diferentes de aquellos desarrollados en una región húmeda.

Los horizontes de un suelo pueden variar en espesor y tener límites un tanto irregulares, pero generalmente paralelizan la superficie del terreno (Figura 1.11). Esta alineación horizontal es esperable ya que la diferenciación de la regolita en distintos horizontes es mayormente el resultado de influencias, tales como el aire, el agua, la radiación solar y el material vegetal, originadas en la interfase suelo-atmósfera. Debido a que la meteorización de la regolita ocurre primero en la superficie y avanza hacia abajo, las capas superiores han sido las más cambiadas, mientras que las más profundas son más similares a la regolita original, la cual es referida como la *material madre* del suelo. En los lugares donde la regolita fue originalmente bastante uniforme en composición, el material de abajo del suelo puede tener una composición similar al material madre del cual el suelo se formó. En otros casos, la regolita ha sido transportada largas distancias por el viento, el agua o los glaciares y depositada en la parte superior de un material diferente. En tal caso, el material de la regolita encontrado debajo de un suelo puede ser completamente diferente del de la capa superior de la regolita en la cual el suelo se ha formado.

La materia orgánica de la descomposición de las hojas y raíces de las plantas tiende a acumularse en los horizontes superiores del perfil del suelo, dando a estos horizontes un color más oscuro que a los inferiores. También, como la meteorización tiende a ser más intensa en las capas superiores, en muchos suelos estas capas han perdido algo de arcilla u otros productos de la temperización por lavado a los horizontes inferiores. Los horizontes enriquecidos en materia orgánica más próximos a la superficie del suelo son llamados *horizontes A*. En algunos suelos intensamente temperizados hay horizontes lixiviados que no han acumulado materia orgánica en la parte superior del perfil, usualmente justo abajo del horizonte A. Estos horizontes pueden ser designados *horizontes E* (Figura 1.12).

Las capas que subyacen a los horizontes O y A contienen comparativamente menos materia orgánica que los horizontes más próximos a la superficie. Cantidades variables de arcillas silicatadas, óxidos de hierro y aluminio, yeso, o carbonato de calcio pueden acumularse en los horizontes subyacentes. Los materiales acumulados pueden haber sido arrastrados en profundidad desde los

horizontes superiores o pueden haber sido formados en el lugar por los procesos de meteorización. Estas capas subyacentes son denominados *horizontes B* (Figura 1.12).

Las raíces y los microorganismos comúnmente se extienden hasta por debajo del horizonte B, especialmente en las regiones húmedas, causando cambios químicos en el agua del suelo, alguna meteorización bioquímica en la regolita, y la formación de los *horizontes C*. Los horizontes C son la parte menos temperizada del perfil del suelo.

En algunos perfiles de suelo, los horizontes que los componen son muy distintos en color, con límites nítidos que pueden ser fácilmente vistos por observadores noveles. En otros suelos, el cambio de color entre horizontes puede ser muy gradual y los límites más difíciles de localizar. Sin embargo, el color es sólo una de muchas propiedades por las cuales un horizonte puede ser diferenciado del horizonte de arriba o de abajo (ver Figura 1.13). El estudio de los suelos en el campo es una actividad sensorial tanto como intelectual. Delinear los horizontes presentes en un perfil de suelo requiere a menudo una cuidadosa observación, usando todos los sentidos. A más de ver los colores en un perfil, un edafólogo debe tocar, oler y escuchar⁵ al suelo, tanto como realizar pruebas químicas, a fin de distinguir los horizontes presentes.

1.9 “SUELO” Y SUBSUELO

El horizonte A orgánicamente enriquecido de la superficie del suelo es algunas veces mencionado como “*suelo*”. Cuando un suelo es arado y cultivado, el estado natural de los 12 a 25 centímetros superiores (5-10 pulgadas) es modificado. En este caso, el “suelo” también puede ser llamado la *capa arable* (o la *lámina de surcado* en situaciones donde un arado de vertedera ha invertido o laminado la parte superior del suelo). Aún cuando el arado ya no se use más, la capa arable permanecerá evidente por muchos años. Por ejemplo, si Ud. da un paseo por un típico bosque de Nueva Inglaterra verá árboles muy altos de unos 100 años, pero si excavara un pozo poco profundo vería todavía el límite suave entre la antigua, centenaria, capa arable y la capa inferior más clara, no perturbada.

En los suelos cultivados, la mayor parte de las raíces de las plantas pueden ser encontradas en el “suelo”(Figura 1.14). El “suelo” contiene una gran parte de los nutrientes y de las reservas de agua necesarias para las plantas. Las propiedades químicas y las reservas de nutrientes del “suelo” pueden ser fácilmente alteradas mezclando enmiendas orgánicas e inorgánicas, haciendo por ello posible mejorar o mantener la fertilidad del suelo y en menor medida, su productividad. La estructura física del “suelo”, especialmente de la parte más próxima a la superficie, es también fácilmente afectada por las operaciones de manejo, tales como el laboreo, y la aplicación de materiales orgánicos. El mantenimiento de una estructura abierta en la superficie del suelo es especialmente crítico para proporcionar una equilibrada reserva de aire y de agua a las raíces de las plantas y para evitar pérdidas excesivas de suelo y agua por el escurrimiento superficial. Algunas veces la capa arable es removida de un suelo y vendida como “suelo” para ser usada en otro sitio. Este uso del “suelo” es común especialmente para proveer de un medio de enraizamiento adecuado para céspedes y arbustos alrededor de edificios construidos recientemente, donde el “suelo” original fue removido o enterrado, y las capas de suelos subyacentes fueron expuestas durante las operaciones de emparejamiento(Figura 1.15).

Las capas de suelo que subyacen al “suelo” son referidas como *subsuelo*. El subsuelo no es normalmente visto desde la superficie, aún en las tierras de cultivos aradas, por que yace por debajo de la profundidad normal de la arada. Sin embargo, las características de los horizontes del subsuelo pueden influenciar fuertemente en la mayoría de los usos de la tierra. Mucha del agua necesitada por las plantas es almacenada en el subsuelo. Muchos subsuelos proveen también cantidades importantes de ciertos nutrientes vegetales. En algunos suelos hay un abrupto cambio en las propiedades entre el “suelo” y el subsuelo. En otros suelos, el cambio es gradual y la parte superior del subsuelo puede ser bastante similar al “suelo”. En la mayoría de los suelos las propiedades del “suelo” son por lejos más propicias para el crecimiento vegetal que las del subsuelo. Es por esto que hay a menudo una buena correlación entre la productividad de un suelo y el espesor del “suelo” en un perfil.

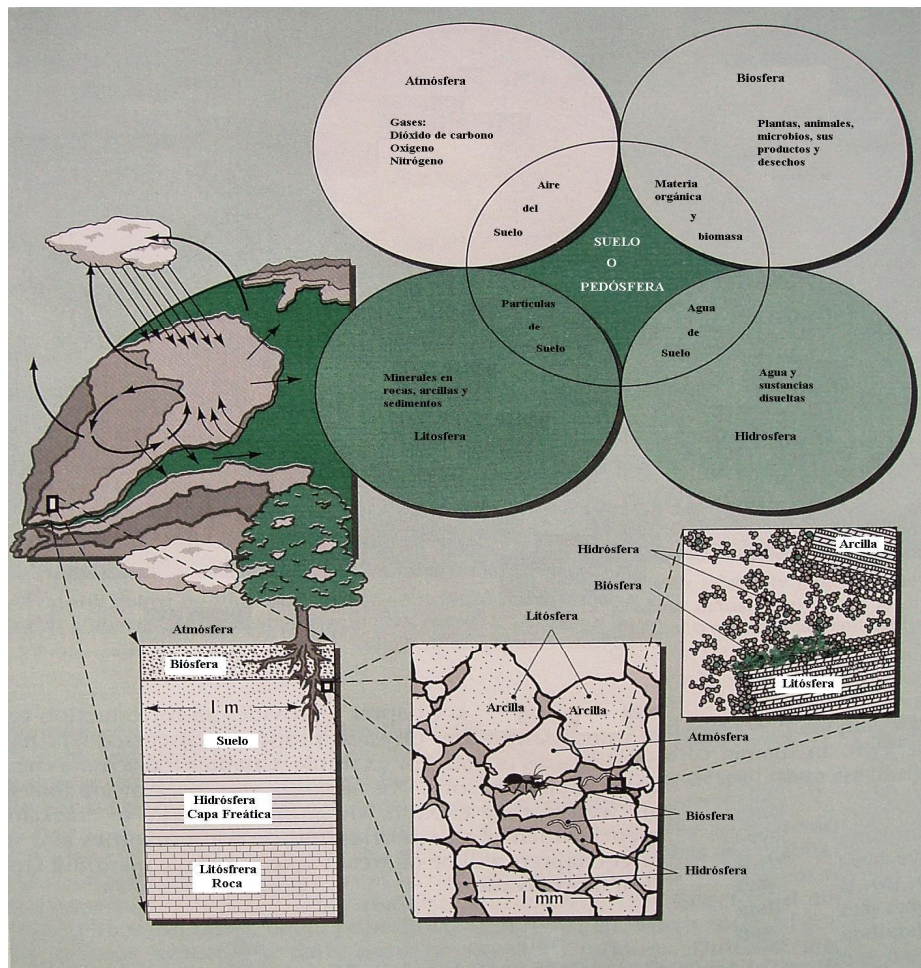
Capas impermeables del subsuelo pueden impedir la penetración de las raíces al igual que subsuelos muy ácidos. El pobre drenaje del subsuelo puede ocasionar condiciones de anegamiento en el “suelo”. Debido a su relativa inaccesibilidad, es usualmente mucho más difícil y costoso modificar física o químicamente el subsuelo. Por otra parte, una buena fertilización del “suelo” puede producir plantas

⁵ Por ejemplo, el sonido de esmeril emitido por el suelo húmedo restregado entre los dedos indica la naturaleza arenosa del suelo.

vigorosas cuyas raíces son capaces de una mayor exploración en las capas del subsuelo (Figura 1.14; Recuadro 1.1).

Muchos de los procesos físicos, químicos y biológicos que caracterizan a los “suelos” también tienen lugar en alguna medida en el horizonte C de los suelos, el cual puede extenderse profundamente en la saprolita subyacente u otra regolita. Tradicionalmente, el límite inferior del suelo se ha considerado que ocurre a la mayor profundidad de enraizamiento de la vegetación natural, pero los científicos del suelo están estudiando cada vez más las capas inferiores a éste con la finalidad de comprender procesos ecológicos tales como la contaminación del agua subterránea, la meteorización del material madre y los ciclos geoquímicos.

L10 SUELO: LA INTERFASE ATMOSFERA, LITOSFERA, HIDROSFERA Y BIOSFERA.



Dijimos que donde la regolita se encuentra con la atmósfera, los universos del aire, la roca, el agua y los seres vivos están entremezclados. En los hechos, los cuatro mayores componentes del suelo son el aire, el agua, la materia mineral y la materia orgánica. La proporción relativa de estos cuatro componentes influencia fuertemente el comportamiento y la productividad de los suelos. En un suelo, los cuatro componentes están mezclados en diseños complejos; no obstante, la proporción de volumen de suelo ocupado por cada componente puede ser representada por un simple gráfico circular. La Figura 1.17 muestra las proporciones aproximadas (en volumen) de los componentes encontrados en la superficie de un suelo franco en buenas condiciones para el crecimiento vegetal. Aunque un puñado de suelo puede al principio parecer ser una cosa sólida, debe notarse que sólo alrededor de la mitad del volumen del suelo consiste de material sólido (mineral y orgánico); La otra mitad consiste de espacio poroso llenado con agua o aire. Del material sólido, típicamente la mayoría es materia mineral derivada de las rocas de la corteza terrestre. Sólo alrededor de 5% del *volumen* de este suelo ideal consiste de materia orgánica. Sin embargo, la influencia del componente orgánico en las propiedades del suelo es a menudo mucho mayor que la que su pequeña proporción podría sugerir. Dado que es mucho menos densa que la materia mineral, la materia orgánica representa sólo alrededor del 2% del peso de este suelo.

Los espacios entre las partículas del material sólido son tan importantes para la naturaleza del suelo como los sólidos mismos. Es en estos espacios de poros que el aire y el agua circulan, las raíces crecen y los seres microscópicos viven. Las raíces de las plantas necesitan de ambos, agua y aire. En una condición óptima para la mayoría de las plantas, el espacio poroso será groseramente dividido igualmente entre los dos, con un 25% del volumen del suelo consistente de agua y 25% consistente de aire. Si hay mucho más agua que esto, el suelo estará anegado. Si hay mucha menos agua, las plantas sufrirán sequía. La proporción relativa de agua y aire en un suelo típicamente fluctúa grandemente en la medida que el agua es agregada o perdida. Los suelos con mucho más del 50% de su volumen con sólidos es probable que sean demasiado compactos para el buen crecimiento vegetal. Comparado con las capas superficiales, los subsuelos tienden a contener menos materia orgánica, menos espacio poroso total y una mayor proporción de poros pequeños (microporos) que tienden a ser llenados con agua más que con aire.

I.11 LOS CONSTITUYENTES MINERALES (INORGANICOS) DE LOS SUELOS

Excepto en el caso de los suelos orgánicos, la mayoría del sistema sólido de un suelo consiste de partículas **minerales**⁶ Las partículas más grandes del suelo, las que incluyen piedras, gravas, y arenas gruesas, son generalmente fragmentos de rocas de varias clases. Es decir que estas partículas mayores son a menudo agregados de varios minerales diferentes. Las partículas más pequeñas tienden a estar constituidas de un solo mineral. De este modo, un suelo en particular está constituido de partículas que varían mucho en tamaño y composición.

Las partículas minerales presentes en los suelos son extremadamente variables en tamaño. Excluyendo, por el momento, los fragmentos rocosos más grandes tales como piedras y gravas, las partículas del suelo se ordenan en tamaño en cuatro órdenes de magnitudes: desde 2.0 milímetros (mm) a menores que 0.0002 mm de diámetro (Tabla 1.2). Las partículas de **arena** son probablemente las más familiares. Las partículas individuales de arena son lo suficientemente grande (2.0 a 0.5 mm) para ser vistas al ojo desnudo y sentir las ásperas cuando son frotadas entre los dedos. Las partículas de arena no se adhieren entre ellas, por lo tanto, no se sienten adhesivas. Las partículas de **limo** son algo más pequeñas (0.05 a 0.002 mm). Las partículas de limo son demasiado chicas para verlas sin microscopios o sentir las individualmente, por lo tanto, el limo se siente suave pero no adhesivo, aún en mojado. La más pequeña clase de partículas minerales son las **arcillas** (< 0.002 mm), las que se adhieren unas a otras para formar una masa adhesiva cuando mojadas y terrones duros en seco. Las partículas más pequeñas (< 0.001 mm) de arcilla (y partículas orgánicas de tamaño similar) tienen propiedades **coloidales**⁷ y sólo pueden ser vistas sólo con la ayuda de un microscopio electrónico. Debido a su tamaño extremadamente pequeño, las partículas coloidales poseen una inmensa cantidad de área superficial por unidad de masa. Ya que las superficies de los coloides del suelo (mineral y orgánico) exhiben cargas electromagnéticas que atraen iones positivos y negativos tanto como agua, esta fracción del suelo es el asiento de la mayor parte de la actividad física y química del suelo. La proporción de partículas de estas diferentes gamas de tamaños se designa **textura del suelo**. Términos tales como *franco arenoso*, *arcillo limoso*, y *franco arcilloso* son utilizados para identificar la textura del suelo. La textura tiene una profunda influencia sobre muchas propiedades del suelo, y afecta la aptitud de un suelo para la mayoría de los usos. Para comprender el grado al que las propiedades del suelo pueden ser influenciadas por la textura, imagínese en traje de baño reposando primero en una playa arenosa y luego en un charco de barro arcilloso. La diferencia entre estas dos experiencias se debería grandemente a las propiedades descritas en las líneas 5 y 7 de la Tabla 1.2. Otras propiedades relacionadas con el tamaño de las partículas están también listadas en la Tabla 1.2. Note que las partículas del tamaño de las arcillas juegan un rol dominante en la retención de ciertos químicos inorgánicos y en el suministro de nutrientes a las plantas.

⁶ La palabra mineral es usada en la Ciencia del Suelo en tres maneras: (1) como un adjetivo general para describir materiales inorgánicos derivados de las rocas; (2) como un nombre específico para referirse a minerales específicos encontrados en la naturaleza, como cuarzo y feldespato (Ver el Capítulo 2 para discusiones detalladas de los minerales formadores del suelo y las rocas en las cuales son encontrados); y (3) como un adjetivo para describir elementos químicos, tales como nitrógeno y fósforo, en su estado inorgánico en contraste a su ocurrencia como parte de compuestos orgánicos.

⁷ Los sistemas coloidales son sistemas de dos fases en los cuales partículas muy pequeñas de una sustancia están dispersas en un medio de una sustancia diferente. Las partículas arcillosas y orgánicas del suelo menores de 0.001 mm (1 micrón, μm) aproximadamente de diámetro son generalmente consideradas de tamaño coloidal. La leche y la sangre son otros ejemplos de sistemas coloidales en el cual partículas sólidas muy pequeñas están dispersas en un medio líquido.

CUADRO I.2 USANDO INFORMACION DEL PERFIL DE SUELO COMPLETO

Los suelos son cuerpos tridimensionales que realizan importantes procesos ecológicos en todos los espesores de sus perfiles. Dependiendo de la aplicación específica, la información necesaria para tomar decisiones apropiadas de manejo de la tierra puede venir de capas tan superficiales como los 1 o 2 cm. superiores, o tan profundas como las capas más inferiores de la saprofita (1.16).

Por ejemplo, los escasos centímetros superiores del suelo a menudo sustentan las claves para el crecimiento vegetal y la diversidad biológica, tanto como ciertos procesos hidrológicos. Aquí, en la interfase entre el suelo y la atmósfera, los seres vivos son más numerosos y diversos. Los árboles dependen grandemente para la toma de nutrientes de una densa maraña de finas raíces que crecen en esta zona. La condición física de esta delgada capa superficial puede también determinar si la lluvia se infiltrará en el suelo o escurrirá pendiente abajo sobre la superficie del terreno. Ciertos contaminantes, tales como el plomo descargado en las autopistas, son también concentrados en esta zona. Para muchas clases de investigaciones edafológicas será necesario hacer un muestreo separadamente los pocos centímetros superiores de tal manera que condiciones importantes no sean pasadas por alto.

Por otra parte, es igualmente importante no confinar únicamente la atención en el fácilmente accesible "suelo", muchas propiedades edáficas sólo pueden ser descubiertas en las capas más profundas. Los problemas de crecimiento vegetal están a menudo relacionados con condiciones desfavorables en los horizontes B o C que restringen la penetración de las raíces. Igualmente, el gran volumen de estas capas profundas puede controlar la cantidad del agua disponible para las plantas retenida por el suelo. Para los propósitos de reconocimiento o levantamiento de los diferentes tipos de suelos, las propiedades del horizonte B son a menudo muy importantes. No solamente es esta la zona de mayor acumulación de minerales y arcillas, sino que las capas más próximas a la superficie del suelo son demasiado fácilmente alteradas por el manejo y la erosión para ser una confiable fuente de información para la clasificación de los suelos.

En las regolitas meteorizadas profundamente, los horizontes C más inferiores y la saprolita juegan roles importantes. Estas capas, generalmente a profundidades por debajo de 1 ó 2 metros, y a menudo tan profundas como 5 a 10 metros, afectan fuertemente la adaptabilidad de los suelos para la mayoría de los usos urbanos que involucran construcciones o excavaciones. El funcionamiento apropiado de los sistemas de eliminación de aguas servidas localizadas y la estabilidad de las fundaciones de edificios son a menudo determinadas por las propiedades de la regolita a estas profundidades. Del mismo modo, los procesos que controlan el movimiento de los contaminantes hacia las aguas subterráneas o la meteorización de los materiales geológicos pueden ocurrir a muchos metros de profundidad. Estas capas profundas también tienen una influencia ecológica importante por que, a pesar de que la intensidad de los procesos biológicos y del enraizamiento vegetal pueden ser mínimos, el impacto total puede ser grande como resultado del enorme volumen de suelo que puede estar involucrado. Esto es particularmente cierto en los sistemas forestales de climas cálidos.

TABLA 1.2 Algunas propiedades generales de las tres mayores clase de tamaño de las partículas inorgánicas del suelo.

	Propiedad	Arena	Limo	Arcilla
1.	Rango del diámetro de partícula en mm.	2.0 – 0.05	0.05 – 0.002	Más s pequeño que 0.002
2.	Medio de observación	Ojo desnudo	Microscopio	Microscopio electrónico
3.	Minerales dominantes	Primarios	Primarios y secundarios	Secundarios
4.	Atracción de las partículas entre sí	Baja	Media	Alta
5.	Atracción de las partículas por el agua	Baja	Media	Alta
6.	Capacidad para retener químicos y nutrientes en forma disponible	Muy baja	Baja	Alta
7.	Consistencia en húmedo	Suelta, áspera	Suave	Adhesiva, plástica.
8.	Consistencia en seco	Muy suelta, áspera	Pulverulento, algunos terrones	Terrones duros

CUADRO I.2 OBSERVANDO LOS SUELOS EN LA VIDA COTIDIANA

Su estudio de los suelos puede ser enriquecido si hace el esfuerzo de darse cuenta de los numerosos contactos diarios con los suelos y sus influencias que pasan desapercibidas para la mayoría de la gente. Cuando Ud. hace un hoyo para plantar un árbol o colocar un poste de alambrado, note las diferentes capas encontradas, y observe como el suelo de cada capa parecen y se sienten diferentes. Si pasa por un sitio en construcción, tómese un momento para observar los horizontes expuestos por las excavaciones. Un viaje en avión es una gran oportunidad para observar como los suelos varían a través de los paisajes y zonas climáticas. Si Ud. está volando durante el día pida el asiento de la ventanilla. Mire la apariencia de los individuos suelos en los campos labrados si Ud. está volando en otoño o primavera(Figura1.18).

Los suelos pueden darle las claves para comprender los procesos naturales que transcurren a su alrededor. Baje por un arroyo, use una lupa para examinar la arena depositada en las orillas o en el fondo. Ella puede contener minerales que no se encuentran en las rocas y suelos locales, originados muchos kilómetros aguas arriba. Cuando Ud. lava su auto, observe si el barro pegado a las llantas y los paragolpes es de un color o consistencia diferentes a los suelos próximos a su casa. ¿ El polvo de su auto puede decirle donde estuvo conduciendo? Investigadores forenses han consultado a los edafólogos para localizar víctimas de crímenes o determinar culpables para la comparación del suelo pegado a los zapatos, neumáticos, o herramientas con los suelos del lugar del crimen.

Otros ejemplos de claves edáficas pueden ser encontrados aún más próximos al hogar. La próxima vez que traiga a casa hojas de apio o de lechuga del supermercado, observe cuidadosamente por restos de suelo pegados en la base de las hojas o tallos(Fig.1.19). Amase el suelo entre el pulgar y el índice. Un suelo suave, muy oscuro puede indicar que la lechuga fue cultivada en suelos turbosos, tales como los del estado de Nueva York o los del sud de Florida. Un suelo que se siente suave, de color pardo claro, con sólo una muy fina textura arenosa es más típico de productos cultivados en California, mientras un suelo arenoso, de color claro es común en los productos de la región hortícola del sud de Georgia-norte de Florida. En una bolsa de poroto pinto, Ud. puede encontrar pequeños terrones de suelo que no fueron removidos en el proceso de limpieza por que eran del mismo tamaño que los porotos. Comúnmente este suelo es de color oscuro y muy adhesivo, procedente del área “thumb” de Michigan, donde es cultivada una elevada porción del poroto de los E.U..

Las oportunidades para observar suelos en la vida diaria van desde lo distante y a gran escala hasta lo próximo e íntimo. Mientras más aprenda de los suelos, indudablemente podrá ver más ejemplos de su influencia a su alrededor.

MINERALES PRIMARIOS Y SECUNDARIOS

Los minerales que han persistido con pequeños cambios en la composición desde que fueron eyectados en el magma fundido (e.g., cuarzo, micas, feldspatos) son conocidos como **minerales primarios**. Ellos son dominantes en las fracciones arena y limo de los suelos. Otros minerales, tales como las arcillas silicatadas y los óxidos de hierro, fueron formados por la ruptura y meteorización de los minerales primarios menos resistentes a medida que la formación del suelo progresaba. Estos minerales son llamados **minerales secundarios** y tienden a dominar en la arcilla y, en algunos casos, en la fracción limo.

Los minerales inorgánicos en el suelo son la fuente original de la mayoría de los elementos químicos esenciales para el crecimiento vegetal. Aunque la mayor parte de estos nutrientes es retenida rígidamente como componentes de la estructura cristalina básica de los minerales, una pequeña pero importante porción está en la forma de iones cargados en la superficie de las partículas coloidales finas (arcillas y materia orgánica). Mecanismos de crítica importancia para el crecimiento de las plantas permiten a las raíces tener acceso a estas superficies de retención de los iones nutritivos (Ver Sección 1.16).

ESTRUCTURA DEL SUELO

Las partículas de arena, limo y arcilla pueden ser imaginadas como los bloques de construcción a partir de las cuales el suelo es construido. La manera en la cual estos bloques se ordenan conjuntamente es designada **estructura del suelo**. Las partículas pueden permanecer relativamente independientes entre si, pero más comúnmente ellas se asocian en agregados de diferentes tamaños. Estos agregados pueden tomar la forma de gránulos redondeados, bloques cúbicos, láminas planas, u otras formas. La estructura del suelo (la forma en que las partículas se ordenan entre si) es tan importante como la textura del suelo (las cantidades relativas de partículas de diferentes tamaños) en gobernar como el agua y el aire se mueven en los suelos. Ambos, textura y estructura influyen fundamentalmente la aptitud de los suelos para el desarrollo de las raíces de las plantas.

I.12 MATERIA ORGANICA DEL SUELO

La materia orgánica del suelo consiste de un amplio rango de sustancias orgánicas (con carbono), incluyendo organismos vivos (la **biomasa** de suelo), restos carbonáceos de organismos que alguna vez ocuparon el suelo, y compuestos orgánicos producidos por el metabolismo actual y pasado del suelo. Los restos de plantas, animales y microorganismos están continuamente degradándose en el suelo y nuevas sustancias son sintetizadas por otros microorganismos. Durante períodos de tiempo que van desde horas a centurias, la materia orgánica es perdida de los suelos como dióxido de carbono producido por la respiración microbiana. Como consecuencia de dicha pérdida, son necesarias adiciones repetidas de nuevos residuos de plantas y/o animales para mantener la materia orgánica del suelo.

Bajo condiciones que favorecen la producción vegetal más que la descomposición microbiana, grandes cantidades del dióxido de carbono atmosférico utilizadas por las plantas en la fotosíntesis son secuestradas en los abundantes tejidos vegetales los cuales eventualmente devienen parte de la materia orgánica del suelo. Ya que el dióxido de carbono es una causa principal del efecto invernadero, el cual se cree está calentando el clima de la tierra, el balance entre la acumulación de la materia orgánica del suelo y su pérdida a través de la respiración microbiana tiene implicancias globales. En realidad, hay más carbono almacenado en los suelos del mundo que en la biomasa vegetal del mundo y la atmósfera combinados.

Aún así, la materia orgánica comprende sólo una pequeña fracción de la masa de un suelo típico. En peso, la superficie de suelos minerales típicos bien drenados contiene del 1 al 6 % de materia orgánica. El contenido en materia orgánica de los subsuelos es aún menor. No obstante, la influencia de la materia orgánica en las propiedades del suelo, y consecuentemente en el crecimiento vegetal, es mucho mayor que lo que el bajo porcentaje podría indicar.

La materia orgánica liga las partículas minerales en una estructura granular que es la principal responsable de la condición desmenuzada, de fácil manejo de los suelos productivos. La parte de la materia orgánica del suelo que es especialmente efectiva en la estabilización de estos gránulos consiste de ciertas sustancias ligantes producidas por varios organismos del suelo, incluyendo las raíces de las plantas (Figura 1.20).

La materia orgánica también incrementa la cantidad de agua que un suelo puede retener y la proporción de agua disponible para el crecimiento vegetal (Figura 1.21). En adición, es la principal fuente

edáfica de los nutrientes vegetales fósforo y azufre y la fuente primaria de nitrógeno para la mayoría de las plantas. En la medida que la materia orgánica del suelo se descompone, estos elementos nutritivos, los cuales están presentes en combinaciones orgánicas, son liberados como iones solubles que pueden ser tomados por las raíces de las plantas. Finalmente, la materia orgánica, incluyendo los residuos vegetales y animales, es el principal alimento que suministra carbono y energía a los organismos del suelo. Sin ella, la actividad bioquímica tan esencial para el funcionamiento del ecosistema estaría cerca de paralizarse.

El humus, normalmente de color negro o pardo, es una colección de compuestos orgánicos muy complejos que se acumulan en el suelo por que son relativamente resistentes a la descomposición. Exactamente como la arcilla es la fracción coloidal de la materia mineral del suelo, así el humus es la fracción coloidal de la materia orgánica del suelo. A causa de sus cargas de superficie, tanto el humus como la arcilla actúan como puentes de contacto entre las partículas más grandes del suelo; de este modo, ambos juegan un rol importante en la formación de la estructura del suelo. Las cargas superficiales del humus, como las de la arcilla, atraen y retienen tanto iones nutritivos como moléculas de agua. Sin embargo, gramo por gramo, la capacidad del humus para retener nutrientes y agua es mucho mayor que la de la arcilla. A diferencia de la arcilla, el humus contiene ciertos componentes que pueden tener un efecto estimulante semejante al hormonal sobre las plantas. En conjunto, pequeñas cantidades de humus pueden incrementar extraordinariamente la capacidad del suelo para promover el crecimiento vegetal.

I.13 EL AGUA DEL SUELO: UNA SOLUCION DINAMICA

El agua es de vital importancia en el funcionamiento ecológico del suelo. La presencia de agua en los suelos es esencial para la sobrevivencia y el crecimiento de las plantas y otros organismos del suelo. El régimen de humedad del suelo, a menudo reflejo de factores climáticos, es un determinante principal de la productividad de los ecosistemas terrestres, incluyendo los sistemas agrícolas. El movimiento del agua y de las sustancias en ella disueltas a través del perfil del suelo es de grandes consecuencias para la cantidad y calidad de los recursos hídricos locales y regionales. El agua moviéndose a través de la regolita es también una fuerza impulsora de primera importancia en la formación del suelo.

Dos factores principales ayudan a explicar por que el **agua del suelo** es diferente de nuestro concepto cotidiano de, digamos, el agua que se bebe de un vaso.

1. El agua es retenida en los poros del suelo con varios grados de tenacidad dependiendo de la cantidad de agua presente y del tamaño de los poros. La atracción entre el agua y las partículas del suelo restringe fuertemente la capacidad del agua para fluir como lo haría en un vaso.
2. Como consecuencia de que el agua del suelo nunca es agua pura sino que contiene cientos de sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas, podría ser llamada más precisamente la **solución del suelo**. Una función importante de la solución del suelo es servir como una solución nutritiva diluida portadora de elementos nutritivos disueltos (e.g., calcio, potasio, nitrógeno y fósforo), constantemente renovada, para las raíces de las plantas.

Cuando el contenido de humedad del suelo es óptimo para el crecimiento vegetal (Figura 1.17), el agua en los poros grandes y medianos puede moverse en el suelo y ser usada por las plantas. A medida que parte de la humedad es eliminada por las plantas en crecimiento, la que resta está en los poros pequeños y en delgadas películas alrededor de las partículas del suelo. Los sólidos del suelo atraen fuertemente esta agua del suelo y consecuentemente compiten por ella con las raíces de las plantas. De este modo, no toda el agua del suelo está *disponible* para las plantas. Dependiendo del suelo, un cuarto a un tercio del agua permanece en el suelo después que las plantas se han marchitado o muerto por falta de agua.

LA SOLUCIÓN DEL SUELO

La solución del suelo contiene pequeñas pero significativas cantidades de compuestos inorgánicos solubles, algunos de los cuales suplen elementos que son esenciales para el crecimiento de las plantas. Remitirse a la Tabla 1.1 por el listado de los **18 elementos esenciales**, junto con sus orígenes. Los sólidos del suelo, particularmente las partículas finas coloidales minerales y orgánicas, liberan estos elementos a la solución del suelo, de la cual son tomados por las plantas en crecimiento. Tales

intercambios, los que son críticos para las plantas superiores, son dependientes tanto del agua como de las finas partículas del suelo.

Otra propiedad crítica de la solución del suelo es su acidez o alcalinidad. Muchas reacciones químicas y biológicas son dependientes de los niveles de iones H^+ y OH^- en el suelo. El nivel de estos iones también influye en la solubilidad, y en consecuencia la disponibilidad de varios elementos nutritivos esenciales (incluyendo el hierro y el manganeso), para las plantas.

La concentración de los iones H^+ y OH^- en la solución del suelo, normalmente se averigua determinando el pH de la solución del suelo. Técnicamente, el pH es el logaritmo negativo de la actividad de los iones H^+ en la solución del suelo. La Figura 1.22 muestra muy simplemente la relación entre el pH y la concentración de los iones H^+ y OH^- . Debería ser estudiada cuidadosamente junto con la Figura 1.23, la que muestra los rangos de pH comúnmente encontrados en los suelos de diferentes regiones climáticas. Algunas veces mencionado como la *variable principal*, el pH controla la naturaleza de muchas reacciones químicas y microbiológicas en el suelo. El es de gran significación en esencialmente todos los aspectos de la ciencia del suelo.

I.14 EL AIRE DEL SUELO: UNA MEZCLA CAMBIANTE DE GASES

Aproximadamente la mitad del volumen del suelo consiste de espacios de poros de variados tamaños (referirse a la Figura 1.17), los cuales están llenos ya sea de agua o de aire. Cuando el agua entra en el suelo, desplaza el aire de algunos de los poros; el contenido de aire del suelo está por lo tanto inversamente relacionado a su contenido de agua. Si imaginamos a la red de poros del suelo como el sistema de aireación del suelo que conecta el espacio poroso con la atmósfera, podemos comprender que cuando los poros más pequeños están llenos con agua el sistema de aireación se resiente. Piense como se tornaría de pesado el aire si los conductos de ventilación del aula llegaran a obstruirse. A consecuencia de que el oxígeno no podría entrar a la habitación, ni el dióxido de carbono salir, el aire en el aula muy pronto se tornaría empobrecido en oxígeno y enriquecido en dióxido de carbono y vapor de agua por la respiración de la gente. En un poro del suelo lleno de aire rodeado por poros más pequeños llenos de agua, las actividades metabólicas de las raíces de las plantas y de los microorganismos tienen un efecto similar.

Por lo tanto, el aire del suelo difiere del aire atmosférico en varios sentidos. Primero, la composición del aire del suelo varía fuertemente de lugar en lugar. En focos localizados, algunos gases son consumidos por las raíces de las plantas y por las reacciones microbianas, y en otros son liberados, modificando por eso grandemente la composición del aire del suelo. Segundo, el aire del suelo tiene generalmente un mayor contenido de humedad que la atmósfera; la humedad relativa del aire del suelo se aproxima al 100% salvo que el suelo se encuentre muy seco. Tercero, el contenido de dióxido de carbono (CO_2) es normalmente mucho más alto, y el de oxígeno (O_2) menor, que el contenido de estos gases encontrados en la atmósfera. El dióxido de carbono en el aire del suelo es a menudo varias centenas de veces más concentrado que el 0,035 % comúnmente encontrado en la atmósfera. El oxígeno decrece consecuentemente y, en casos extremos, puede ser del 5 al 10 %, o aún menos, comparado al aproximadamente 20 % del aire atmosférico.

La cantidad y composición del aire en un suelo está determinada en un alto grado por el contenido hídrico del suelo. El aire ocupa aquellos poros del suelo no llenados con agua. Cuando el suelo drena una fuerte lluvia o riego, los poros grandes son los primeros en ser llenados con aire, seguidos por los poros de tamaño mediano, y finalmente los poros pequeños, cuando el agua es removida por la evaporación y la utilización vegetal. Esto explica la tendencia de los suelos con una alta proporción de poros pequeños a ser pobremente aireados. En tales suelos, el agua domina, el contenido de aire del suelo es bajo, como lo es la tasa de difusión del aire dentro de y fuera del suelo desde la atmósfera. El resultado es de altos niveles de CO_2 y bajos de O_2 , condiciones insatisfactorias para el crecimiento de la mayoría de las plantas. En casos extremos, la falta de oxígeno tanto en el aire del suelo como el disuelto en el agua del suelo puede alterar fundamentalmente las reacciones químicas que tienen lugar en la solución del suelo. Esto es de particular importancia para comprender el funcionamiento de los suelos de los humedales.

I.15 INTERACCION DE LOS CUATRO COMPONENTES PARA SUMINISTRAR LOS NUTRIENTES VEGETALES

Mientras leía nuestra discusión de cada uno de los cuatro mayores componentes del suelo, Ud. puede haber notado que el impacto de un componente en las propiedades del suelo rara vez se expresa independientemente de la de los otros. O mejor dicho, los cuatro componentes interactúan entre si para

determinar la naturaleza de un suelo. De este modo, la humedad del suelo, que directamente satisface las necesidades de agua de las plantas, simultáneamente controla mucho del suministro de aire y de nutrientes a las raíces de las plantas. Las partículas minerales, especialmente las más finas, atraen el agua del suelo, determinando así su movimiento y disponibilidad para las plantas. Asimismo, la materia orgánica, a causa de sus fuerzas físicas de ligadura influencia el ordenamiento de las partículas minerales en grupos y haciéndolo así, incrementa el número de poros grandes, influenciando las relaciones del agua y el aire.

DISPONIBILIDAD DE LOS ELEMENTOS ESENCIALES

Quizás el proceso interactivo más importante que involucra a los cuatro componentes del suelo es la provisión de los elementos nutritivos esenciales a las plantas. Las plantas absorben los nutrientes esenciales, junto con el agua, directamente de uno de estos componentes: la solución del suelo. Sin embargo, la cantidad de nutrientes esenciales en la solución del suelo en cualquier momento es mucho menos que la necesaria para producir una planta madura. Consecuentemente, el nivel de nutrientes de la solución del suelo debe ser constantemente repuesto desde las partes orgánicas e inorgánicas del suelo y desde los fertilizantes y abonos agregados a los suelos agrícolas.

Afortunadamente, relativamente grandes cantidades de estos nutrientes están asociadas tanto con los sólidos orgánicos como inorgánicos del suelo. Por una serie de procesos químicos y bioquímicos, los nutrientes son liberados desde estas formas sólidas para reponer aquellos que se encuentran en la solución del suelo. Por ejemplo, a través del *intercambio iónico*, elementos esenciales tales como el Ca^{2+} y el K^+ son liberados desde las superficies coloidales de la arcilla y el humus a la solución del suelo. El contacto íntimo entre los iones de la solución del suelo y los iones adsorbidos⁸ hace posible este intercambio. En el ejemplo siguiente, se muestra un ion H^+ de la solución del suelo intercambiando rápidamente con un ion K^+ adsorbido en la superficie coloidal. El ion K^+ está entonces disponible en la solución del suelo para ser tomado por las plantas cultivadas.



El ion K^+ así liberado puede ser fácilmente tomado (absorbido) por las plantas. Algunos científicos consideran que este proceso de intercambio iónico está entre las más importantes reacciones químicas de la naturaleza.

Los iones nutritivos son también liberados a la solución del suelo cuando los microorganismos del suelo descomponen los tejidos orgánicos. Las raíces de las plantas pueden absorber fácilmente todos estos nutrientes de la solución del suelo, a condición que haya suficiente O_2 en el aire del suelo para soportar el metabolismo radical.

La mayoría de los suelos contienen grandes cantidades de nutrientes para las plantas en relación a las necesidades anuales de la vegetación en crecimiento. Sin embargo, la mayor parte de la mayoría de los elementos nutritivos está retenida en la estructura de los minerales primarios y secundarios y en la materia orgánica. Sólo una pequeña fracción del contenido de nutrientes de un suelo está presente en las formas en que son fácilmente disponibles para las plantas. La Tabla 1.3 le dará alguna idea de las cantidades de varios de los elementos esenciales presentes en diferentes formas en suelos típicos de regiones húmedas y áridas.

La Figura 1.24 ilustra como los dos componentes sólidos del suelo interactúan con el componente líquido (solución del suelo) para proveer los elementos esenciales a las plantas. Las raíces de las plantas no ingieren las partículas del suelo, no importa cuan finas sean, sino que sólo son capaces de absorber los nutrientes que están disueltos en la solución del suelo. Debido a que los elementos en la matriz más gruesa de los suelos son sólo lentamente liberados a la solución del suelo en prolongados periodos de tiempo, el grueso de la mayoría de los nutrientes en un suelo no está fácilmente disponible para la utilización de las plantas. Los elementos nutritivos en la matriz de las partículas coloidales están algo más fácilmente disponibles para las plantas, por que estas partículas se descomponen más rápidamente como consecuencia de su mayor área superficial. Así el esqueleto mineral es el mayor almacén y, en alguna medida, una significativa fuente de los elementos esenciales en muchos suelos.

⁸ *Adsorción* se refiere a la atracción de los iones por la superficie de las partículas, en contraste a *absorción*, el proceso por el cual los iones son tomados por las raíces de las plantas. Los iones adsorbidos son intercambiables con los iones de la solución del suelo.

La distribución de los nutrientes entre los varios componentes de un suelo fértil, como es ilustrado en la Figura 1.24, puede ser comparado a la distribución de los activos financieros en la carpeta de una persona adinerada. En tal analogía, los nutrientes fácilmente disponibles para el uso de las plantas sería similar al efectivo en el bolsillo de la persona. Un millonario probablemente guardaría la mayor parte de sus activos en inversiones de largo plazo tales como bienes inmuebles o bonos (la fracción gruesa de la matriz sólida del suelo), mientras invierte una cantidad más pequeña en reservas y bonos de corto plazo (la matriz coloidal). Para el uso más inmediato, una aún más pequeña cantidad puede ser mantenida en una cuenta corriente (los nutrientes intercambiables), mientras una pequeña fracción del total de la riqueza puede ser portada para gastos como dinero y monedas corrientes (los nutrientes en la solución del suelo). En la medida que el contado es gastado, el suministro es repuesto retirando fondos de la cuenta corriente. La cuenta corriente, a su vez, es repuesta ocasionalmente por la venta de las inversiones de largo plazo. Es posible para una persona adinerada estar escaso de contado aún considerando que él o ella puede ser propietario de una gran fortuna valuada en bienes inmobiliarios. De una manera análoga, las plantas pueden agotar la reserva fácilmente disponible de un nutriente aún considerando que la reserva total de ese nutriente en el suelo es muy grande. Afortunadamente, en un suelo fértil, el proceso descrito en la Figura 1.24 puede ayudar a reponer la solución del suelo tan rápidamente como las raíces de las plantas remueven los elementos esenciales.

TABLA 1.3 Cantidades de seis elementos esenciales encontradas en los 15 cm superiores de suelos representativos de regiones templadas.

Elemento Esencial	Región húmeda			Región árida		
	En la matriz sólida kg/ha	Intercam. biabile kg/ha	En solución suelo kg/ha	En la matriz sólida kg/ha	Intercam. biabile kg/ha	En solución suelo kg/ha
Ca	8.000	2.250	60 - 120	20.000	5.625	140 - 280
Mg	6.000	450	10 - 20	14.000	900	25 - 40
K	38.000	190	10 - 30	45.000	250	15 - 40
P	900	-	0,005 - 0,15	1.600	-	0,1 - 0,2
S	700	-	2 - 10	1.800-...	6 - 30
N	3.500	-	7 - 25	2.500	-	5 - 20

I.16 LA CAPTACION DE NUTRIENTES POR LAS RAICES DE LAS PLANTAS

Para ser captado por una planta, un elemento nutritivo debe estar en forma soluble y debe estar localizado *en la superficie radical*. A menudo, partes de una raíz están en tan íntimo contacto con las partículas del suelo (ver Figura 1.25) que puede realizarse un intercambio directo entre los iones nutritivos adsorbidos en la superficie de los coloides del suelo y los iones H^+ de la superficie de las paredes celulares de la raíz. En cualquier caso, el suministro de nutrientes en contacto con la raíz muy pronto se agotará. Este hecho plantea la cuestión de cómo una raíz puede obtener suministros adicionales una vez que los iones nutritivos han sido todos tomados en la raíz. Hay tres mecanismos básicos por los cuales la concentración de los elementos nutritivos es mantenida en la superficie de la raíz (Figura 1.26).

Primero, la **intercepción radical** entra en juego en la medida en que las raíces crecen continuamente en un suelo nuevo, no agotado. En la mayor parte, sin embargo, los iones nutritivos deben desplazarse alguna distancia en la solución del suelo para alcanzar la superficie radical. Este movimiento puede realizarse por el **flujo de masa**, como cuando los nutrientes disueltos son llevados junto al flujo del agua hacia una raíz que está activamente extrayendo agua del suelo. En este tipo de movimiento, los iones nutritivos son un tanto semejantes a hojas flotando arrastradas en la corriente de un arroyo. Por otra parte, las plantas pueden continuar tomando los nutrientes aún durante la noche, cuando el agua es sólo absorbida lentamente por las raíces. Los iones nutritivos se mueven continuamente por **difusión** desde las áreas de mayor concentración hacia las áreas agotadas de nutrientes de menor concentración alrededor de la superficie radical.

En el proceso de difusión, el movimiento al azar de los iones en todas las direcciones provoca un movimiento **neto** desde las áreas de alta concentración a las áreas de concentraciones más bajas, independientemente de cualquier flujo de masa del agua en la que los iones están disueltos. Factores tales como la compactación del suelo, temperaturas frías, y bajos contenidos de humedad del suelo, que reducen la intercepción radical, el flujo de masa, o la difusión, puede resultar en una pobre captación de nutriente por las plantas aún en suelos con una adecuada provisión de nutrientes solubles. Además, la

disponibilidad de los nutrientes para la absorción puede también ser negativa o positivamente influenciada por la actividad de los microorganismos que crecen bien en la inmediata vecindad de las raíces. El mantenimiento de la provisión de elementos nutritivos disponibles en la superficie de la raíz de la planta es así un proceso que involucra interacciones complejas entre los diferentes componentes del suelo.

Debería señalarse que la membrana vegetal que separa el interior de la célula radical de la solución del suelo es permeable a los iones disueltos solo bajo circunstancias especiales. Las plantas no captan simplemente, por flujo de masa, aquellos nutrientes que de casualidad están en el agua que las raíces están removiendo del suelo. Ni tampoco lo hacen con los iones nutritivos disueltos conducidos a la superficie exterior de las raíces por flujo de masa o por difusión a través de la membrana celular de la raíz entrando pasivamente a la raíz por difusión. Por el contrario, un nutriente es tomado cuando una molécula de un transportador (carrier) químico en la membrana de la célula radical constituye un complejo activo con el nutriente y entonces se transporta a través de la membrana al interior de la célula radical antes de liberar el nutriente. El mecanismo del carrier, activado por la energía metabólica de la raíz, le permite a la planta acumular concentraciones de nutrientes en el interior de la célula radical que exceden por lejos las concentraciones de nutrientes en la solución del suelo. Como consecuencia de que los diferentes nutrientes son tomados por tipos específicos de moléculas transportadoras, la planta es capaz de ejercer algún control sobre cuanto y en que proporción relativa los elementos esenciales son absorbidos.

Debido a que la absorción de nutrientes es un proceso metabólico activo, las condiciones que inhiben el metabolismo radical pueden también inhibir la absorción de nutrientes. Ejemplos de tales condiciones incluyen el contenido excesivo de agua o la compactación que resultan en una pobre aireación del suelo, temperaturas del suelo excesivamente calientes o frías, y las condiciones externas al suelo que resultan en una baja translocación de azúcares a las raíces de las plantas. Podemos ver que la nutrición vegetal involucra procesos químicos, físicos y biológicos e interacciones entre muchos diferentes componentes de los suelos y el ambiente.

I.17 CALIDAD, DEGRADACION Y RESILIENCIA DEL SUELO

El suelo es un recurso básico que apunala todos los ecosistemas terrestres. Manejados cuidadosamente, los suelos constituyen recursos reutilizables, pero en la escala de la vida humana ellos no pueden ser considerados un recurso renovable. Como veremos en el próximo capítulo, la mayoría de los perfiles de suelos se hacen en miles de años. En todas las regiones del mundo, las actividades humanas están destruyendo algunos suelos más rápidamente de lo que la naturaleza puede reconstruirlos. Los suelos completamente arrastrados por la erosión o excavados y pavimentados en la superficie por el crecimiento urbano descontrolado están perdidos, para todos los propósitos prácticos. Más a menudo, los suelos son degradados en la calidad más que totalmente destruidos.

La **calidad del suelo** es una medida de la habilidad de un suelo para cumplir con funciones ecológicas particulares, tales como las descritas en las Secciones 1.2 a 1.6. La calidad del suelo refleja una combinación de propiedades químicas, físicas y biológicas. Algunas de estas propiedades son relativamente estables, propiedades inherentes que ayudan a definir un tipo particular de suelo. La textura y la composición mineral (Sección 1.11) son ejemplos. Otras propiedades del suelo, tales como la estructura (Sección 1.11) y el contenido de materia orgánica (Sección 1.129) pueden ser significativamente cambiados por el manejo. Estas propiedades del suelo más alterables pueden indicar el status de una calidad del suelo relativa a su potencial, de la misma manera que la turbidez del agua o la concentración de oxígeno indican el estatus de calidad del agua de un río.

El mal manejo de los bosques, fincas y campos de pastoreo causa la degradación generalizada de la calidad del suelo por la erosión que remueve el suelo superficial poco a poco (ver Capítulo 17). Otra causa generalizada de degradación del suelo es la acumulación de sales en suelos inadecuadamente irrigados en las regiones áridas. Cuando la gente cultiva los suelos y cosecha los cultivos sin retornar los residuos orgánicos y los elementos nutritivos, la provisión de materia orgánica y de nutrientes del suelo llega a agotarse (ver Capítulo 12). Tal agotamiento está particularmente generalizado en el Africa sub Sahariana, donde la degradación de la calidad del suelo está reflejada en la disminuida capacidad para producir alimentos (ver Capítulo 20). La contaminación de un suelo con sustancias tóxicas de los procesos industriales o de los efluentes químicos puede degradar su capacidad para proporcionar hábitat para los organismos del suelo, para crecer plantas que sean inocuas para comer, o para asegurar la recarga de las aguas superficiales y profundas (ver Capítulo 18). La degradación de la calidad del suelo por contaminación está usualmente localizada, pero los impactos ambientales y los costos involucrados son muy grandes.

Aunque la protección de la calidad del suelo debe ser la primera prioridad, a menudo es necesario intentar restaurar la calidad de los suelos que ya han sido degradados. Algunos suelos tienen suficiente **resiliencia** para recuperarse de degradaciones menores si se dejan revegetar ellos mismos. En otros casos, un mayor esfuerzo es necesario para restaurar los suelos degradados. Pueden ser aplicadas enmiendas orgánicas e inorgánicas, la vegetación puede ser plantada, pueden ser realizadas modificaciones físicas por laboreo o nivelamiento o los contaminantes pueden ser removidos. En la medida en que la sociedad de todo el mundo valore los daños ya realizados a sus recursos suelos, la tarea de la **restauración del suelo** es un negocio serio y apropiado.

I.18 CONCLUSION

El suelo de la tierra está constituido por numerosos individuos suelo, cada uno de los cuales es un cuerpo natural tridimensional en el paisaje. Cada individuo suelo está caracterizado por un conjunto único de propiedades y horizontes que son expresadas en su perfil. La naturaleza de las capas de suelo vistas en un perfil particular está estrechamente relacionada a la naturaleza de las condiciones ambientales del sitio.

Los suelos cumplen cinco amplias funciones ecológicas: ellos actúan como el principal medio para el crecimiento de las plantas, regulan los suministros de agua, reciclan los residuos y desperdicios, y sirven como el medio de ingeniería más importante para las construcciones humanas. Ellos constituyen también el hábitat para muchas clases de organismos vivos. El suelo es así un ecosistema importante por derecho propio. Los suelos del mundo son extremadamente diversos, estando cada tipo de suelo caracterizado por un conjunto único de horizontes. La superficie de un suelo típico en buenas condiciones para el crecimiento vegetal consiste de aproximadamente la mitad de material sólido (mayormente mineral, pero con un componente orgánico trascendente, también) y la mitad de espacios de poros llenados con variadas proporciones de agua y aire. Estos componentes interactúan para influenciar miríadas de funciones edáficas complejas, siendo un buen conocimiento de ellas esencial para un manejo acertado de nuestros recursos terrestres.

PREGUNTAS

1. ¿Como sociedad, nuestra dependencia de los suelos probablemente se incrementará o decrecerá en las décadas futuras? Explique.
2. Analice ¿como *un suelo*, un cuerpo natural, difiere del *suelo*, un material que es usado en la construcción del piso de una carretera?.
3. ¿Cuáles son los cinco roles del suelo en un ecosistema? Para cada uno de estos roles ecológicos, sugiera una forma en la que ocurran interacciones con otro de los cinco roles.
4. Recuerde sus actividades de la semana pasada. Liste tantos eventos como pueda en los cuales Ud. llego a estar en contacto directo o indirecto con el suelo.
5. La Figura 1.17 muestra la composición volumétrica de la superficie de un suelo franco en condiciones ideales para el crecimiento vegetal. Para ayudarlo a comprender las relaciones entre los cuatro componentes rediseñe este dibujo para representar la situación que resultaría después que el suelo fuera compactado por tráfico pesado. Rediseñe el dibujo original nuevamente, pero ahora muestre como los cuatro componentes estarían relacionados sobre la base de la masa (peso) antes que sobre una base volumétrica.
6. Explique con sus propias palabras como la reserva en nutrientes del suelo es retenida en diferentes formas, de la misma manera que los activos financieros de una persona pueden ser mantenidos en diferentes formas.
7. Liste los elementos nutritivos esenciales que las plantas obtienen principalmente del suelo.
8. ¿Todos los elementos contenidos en las plantas son nutrientes esenciales? Explique.
9. Defina estos términos: *textura del suelo*, *estructura del suelo*, *pH del suelo*, *humus*, *perfil del suelo*, *horizonte B*, *calidad del suelo*, *solum* y *saprolita*.

10. Describa cuatro procesos que comúnmente conducen a la degradación de la calidad del suelo.

REFERENCIA

Tan, K. H, and O. Napamornbodi. 1981. "Electron microbeam analysis and scanning electron microscopy of soil-root interfaces". *Soil Sci.*, 131:100-106.