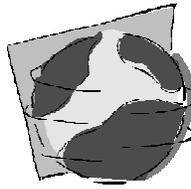


Introducción



El suelo es uno de los recursos naturales esenciales de la Tierra, pero a menudo no se le da el valor que tiene realmente. La mayoría de la gente no es consciente de que el suelo es un sistema viviente que respira y mantiene casi toda la vida terrestre. El suelo y las funciones que tiene en el ecosistema varían notablemente de un lugar a otro por diversos factores, como las diferencias climáticas, la vida animal y vegetal que habitan en el suelo, la roca madre, la posición del suelo en el paisaje, la edad del suelo.

Científicos, ingenieros y otros profesionales tienen en cuenta las características físicas y químicas, el contenido de humedad y la temperatura para tomar decisiones tales como:

- ¿Cuál es el mejor lugar para construir un edificio?
- ¿Qué tipo de cosecha será adecuada para un campo determinado?
- ¿Se hundirá el sótano de una casa cuando llueva?
- ¿Cómo se puede mejorar la calidad de las aguas subterráneas de un área?

Utilizando los datos obtenidos en la *Investigación del Suelo* de GLOBE, los alumnos ayudan a los científicos a describir los suelos y a comprender cómo funcionan. Determinan cómo cambian los suelos y cómo influyen en otras partes del ecosistema, como el clima, la vegetación y la hidrología. La información sobre suelos está integrada en los datos de los demás protocolos GLOBE para obtener una mejor visión de la Tierra como un sistema.

¿Por qué Investigar los Suelos?

Los suelos conforman en la parte superior de la superficie terrestre una fina capa llamada pedosfera. Esta capa es un recurso natural muy valioso y afecta tan profundamente a cada parte del ecosistema que a menudo se le llama el “gran integrador”. Por ejemplo, los suelos contienen nutrientes y agua para las plantas y animales. Actúan de filtro y limpian las aguas que van pasando a través del suelo. Influyen en la química del agua y en la cantidad de agua que se queda como agua subterránea y la que regresa a la atmósfera para formar la lluvia. Los alimentos que consumimos y la mayoría de los materiales que

usamos para fabricar papel, edificios y ropa dependen de los suelos. Los suelos desempeñan un papel muy importante en la cantidad y tipo de gases en la atmósfera. Almacenan y transfieren calor, afectan a la temperatura de la atmósfera, y controlan la actividad de las plantas y otros organismos que habitan en el suelo. Estudiando las funciones de los suelos, alumnos y científicos aprenden a interpretar el clima de un lugar, la geología, la vegetación, la hidrología y la historia del ser humano. Así comienzan a entender el suelo como un componente muy importante de cada ecosistema de la Tierra.

Los Científicos Necesitan los Datos de GLOBE

Los datos que el alumnado recoge realizando las mediciones GLOBE de suelos son inestimables para los científicos de diferentes áreas. Por ejemplo, los científicos de Suelos utilizan los datos para comprender mejor la formación de los suelos, cómo deben tratarse y qué potencial tienen para el crecimiento de plantas y otros usos. Los hidrólogos utilizan los datos para determinar el movimiento del agua en el suelo y la divisoria de aguas y el efecto que tienen los suelos en la química del agua. También estudian los efectos de los diferentes tipos de suelo en la sedimentación en ríos y lagos. Los climatólogos utilizan los datos de suelo para los modelos de pronóstico del tiempo. Los científicos de la atmósfera se interesan por el efecto del suelo en la humedad, temperatura, luz reflejada, y flujo de gases como el CO₂ y metano.

Los biólogos examinan las propiedades del suelo para conocer el potencial que tienen para sostener la vegetación y la vida animal. Los Antropólogos estudian el suelo para reconstruir la historia del ser humano de un lugar.

Cuando se dispone de datos de muchos lugares del mundo, a los científicos les resulta fácil estudiar patrones espaciales de las propiedades del suelo. Un bloque completo de datos GLOBE atmosféricos, de hidrología, de cobertura terrestre y de suelos de un lugar específico, es muy útil para los científicos para poner en marcha modelos informáticos que expliquen cómo funciona el ecosistema entero y se puedan realizar predicciones de cómo será el ecosistema en un futuro.

La Gran Imagen

Composición del Suelo

Los suelos están constituidos por cuatro componentes principales:

- Minerales de diferentes tamaños
- Materia orgánica procedente de los restos de plantas y animales muertos.
- Agua que se introduce en los poros del suelo.
- Aire que rellena los poros del suelo.

El uso y la función de un suelo dependen de la cantidad de cada componente. Por ejemplo, un suelo apropiado para el cultivo estará compuesto por 45% de minerales, 5% de materia orgánica, 25% de aire y 25% de agua. Plantas que viven en terreno pantanoso requieren más agua y menos aire. Los suelos que se utilicen como material en bruto para hacer ladrillos no deben contener nada de materia orgánica.

Los Cinco Factores Formadores del Suelo

Las propiedades del suelo son el resultado de la interacción de los *Cinco Factores Formadores del Suelo*. Estos factores son:

1. *Material Original*: El material a partir del cual se forma el suelo determina muchas de sus propiedades. El material original puede ser la roca madre, materia orgánica, material de construcción, o suelo suelto depositado por el viento, agua, glaciares, volcanes, o desplazado por la gravedad a través de una pendiente.
2. *Clima*: Calor, lluvia, hielo, nieve, viento, sol y otros factores naturales rompen el material original, mueven el suelo suelto, determinan qué animales y plantas pueden sobrevivir en el lugar, e influyen en el ritmo de los procesos de formación del suelo y en sus propiedades resultantes.
3. *Organismos*: El suelo es el hábitat de gran cantidad de plantas, animales y microorganismos. Las propiedades físicas y químicas de un suelo determinan el tipo y número de organismos que pueden sobrevivir y desarrollarse en ese suelo. Los organismos también influyen en el desarrollo del suelo. Por ejemplo, el crecimiento de raíces y el movimiento de animales y microorganismos desplazan materiales y químicos por el perfil del suelo.

Los restos muertos de los organismos del suelo se convierten en materia orgánica que enriquece los suelos con carbono y nutrientes. Los animales y microorganismos que viven en el suelo controlan el ritmo de la descomposición de la materia orgánica y los desechos. Los organismos del suelo contribuyen al intercambio de gases tales como el dióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno, entre el suelo y la atmósfera. También ayudan al suelo a filtrar las impurezas del agua. La actividad humana altera también el suelo al cultivar, construir, cavar, hacer presas, con el transporte y al deshacerse de la basura.

4. *Topografía*: La ubicación de un suelo en un paisaje puede afectar a la formación del suelo y a sus propiedades resultantes. Suelos al pie de una loma, por ejemplo, obtendrán más agua que los suelos en las laderas, y suelos en una pendiente que reciba directamente los rayos del sol serán más secos que los que están en las laderas donde no da el sol.
5. *Tiempo*: Con el transcurso del tiempo los cuatro factores descritos anteriormente, interactúan entre sí afectando a las propiedades del suelo. Algunas propiedades, como la temperatura y la humedad, pueden modificarse rápidamente, en minutos y en horas. Otras, como el cambio de minerales, ocurren muy lentamente a lo largo de cientos y miles de años. En la *Figura SUELO-I-1* se enumeran diferentes propiedades del suelo y el tiempo aproximado que necesitan para sufrir una alteración.

Perfiles del Suelo

Los cinco factores que determinan la formación del suelo difieren de un lugar a otro por lo que las propiedades del suelo variarán también de un sitio a otro. Cada suelo de un paisaje tiene sus propias características. A una sección vertical de suelo se le llama perfil del suelo. Ver *Figura SUELO-I-2*. Se puede conocer la historia geológica y climática de un lugar al observar detalladamente las propiedades de un perfil del suelo y al considerar los cinco factores que lo forman.

La historia del suelo de cualquier lugar se lee en las capas del perfil del suelo. Estas capas se denominan *horizontes*. Estos pueden ser delgados de unos pocos milímetros o más gruesos de un metro. Se puede identificar cada horizonte ya que cada uno tiene propiedades diferentes.

Figura SUELO-I 1

Propiedades del Suelo que Cambian con el Transcurso del Tiempo		
Propiedades que cambian en minutos u horas	Propiedades que cambian en meses o años	Propiedades que cambian en cientos y miles de años
Temperatura Contenido de humedad Composición del aire	pH Color Estructura Densidad absoluta Materia orgánica Fertilidad Microorganismos, animales, plantas	Contenido de minerales Distribución del tamaño de partículas Horizontes Densidad de partículas

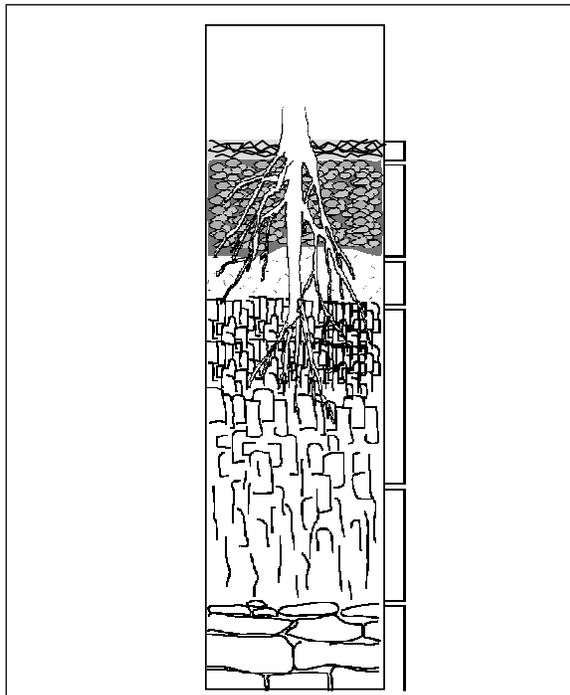
Algunos horizontes son el resultado de la acción de los minerales y la descomposición de la materia orgánica que con el paso del tiempo va descendiendo verticalmente por el perfil. Este movimiento denominado *lixiviado*, afecta a la composición y a las propiedades del horizonte. Otros horizontes se forman por la alteración del perfil que ocasiona la erosión, la sedimentación, o la actividad biológica. Los suelos pueden alterarse también por la actividad humana. La construcción, por ejemplo, compacta el suelo, altera su composición, desplaza el suelo de una

ubicación a otra, o recoloca los horizontes en un orden diferente al original.

Humedad en el Suelo

La humedad juega un papel muy importante en los procesos químicos, biológicos y físicos que ocurren en el suelo. Desde el punto de vista químico, la humedad transporta sustancias a lo largo del perfil. Esto afecta a las propiedades del suelo como el color, textura, pH y fertilidad. Desde el punto de vista biológico, la humedad determina el tipo de plantas que crecen en un suelo y la manera en la que se distribuyen las raíces. Por ejemplo, en áreas desiertas donde el suelo es muy seco, plantas como los cactus deben almacenar agua o tener raíces muy profundas para llegar al agua que está a decenas de metros por debajo de la superficie. Las plantas de zonas tropicales tienen raíces cerca de la superficie, que es donde la materia orgánica almacena el agua y los nutrientes que necesitan las plantas. Las plantas de cultivo crecen muy bien en suelos en los que el agua, en forma de vapor o líquida, ocupa aproximadamente un cuarto del volumen del suelo. Desde el punto de vista físico, la humedad del suelo forma parte del ciclo hidrológico. El agua cae sobre la superficie del suelo como precipitación. Esta agua penetra en el suelo en un proceso denominado *infiltración*. Una vez que el agua se infiltra en el suelo, ésta se almacena en los horizontes, es absorbida por las plantas, asciende por evaporación o desciende a la roca madre subyacente convirtiéndose en agua subterránea. La cantidad de humedad contenida en el suelo puede cambiar rápidamente, a veces aumentando en minutos u horas. Sin embargo, pasarán semanas o meses para que un suelo se seque.

Figura SUELO-I-2: Perfil de Suelo



Si un horizonte es compacto, tiene poros pequeños, o está saturado con agua, la infiltración será lenta, y aumentará el potencial de inundación en esa área. Si el agua no puede descender suficientemente rápido por el suelo, fluirá por la superficie como *escorrentía* y acabará enseguida en algún río o en otras masas de agua. La erosión con el agua ocurre si el suelo no tiene cobertura vegetal y la pendiente es pronunciada. Como resultado de la fuerza del agua de *escorrentía* y las partículas de suelo fluyendo por la superficie, se forman surcos profundos en el paisaje. Si un horizonte está seco, o tiene poros grandes de tamaño similar al horizonte superior, el agua se infiltrará rápidamente por el horizonte. Si el suelo se seca mucho y no está cubierto por vegetación, se erosionará con el viento.

Temperatura del Suelo

La temperatura del suelo puede cambiar muy rápido. Cerca de la superficie, cambia casi tan rápidamente como la temperatura del aire, pero como el suelo es más denso que el aire, las variaciones de temperatura son menores. Los ciclos diarios y anuales de la temperatura del suelo se pueden medir. En un día típico, el suelo está frío por la mañana, se calienta a lo largo de la tarde y vuelve a enfriarse por la noche. Ver *Figura SUELO-I-3*. A lo largo del año, el suelo se calienta o se enfría según las estaciones. Como la temperatura del suelo cambia más despacio que la del aire, el suelo actúa como un aislante, protegiendo a los organismos del suelo y a las tuberías de las variaciones extremas de temperatura. En zonas templadas la superficie terrestre se puede helar durante el invierno y deshielar en primavera, mientras que en zonas más frías se forma una capa de hielo permanente, llamada *permafrost*, debajo de la superficie terrestre. En cualquier caso, el suelo nunca se hiela por debajo de una cierta profundidad. Las capas de suelo más superficiales actúan como aislante, de tal manera que la temperatura de las capas de suelo más profundas se mantiene constante a lo largo del año. La temperatura afecta en gran medida a la actividad química y biológica en el suelo. Generalmente la actividad biológica de los microorganismos que habitan en el suelo, es mayor cuanto más caliente esté el suelo.

Los microorganismos de los suelos en zonas tropicales cálidas descomponen la materia orgánica mucho más rápido que los microorganismos en las zonas de clima frío. La atmósfera se ve afectada por la temperatura y la humedad del suelo cerca de la superficie por el intercambio de calor y vapor de agua entre el suelo y el aire. Este efecto es menor que el que ocurre en superficies de océanos, mares y lagos grandes, pero puede influir considerablemente en las condiciones meteorológicas locales. Los huracanes son más intensos cuando pasan por suelos saturados de agua. Los meteorólogos han descubierto que los pronósticos del tiempo pueden mejorarse si tienen en cuenta en sus cálculos la humedad y la temperatura.

Suelos por Todo el Mundo

Los siguientes ejemplos son de seis perfiles de suelo y paisajes diferentes. Ver *Figuras SUELO-I-4 hasta I-9*.

Figura SUELO-I-3

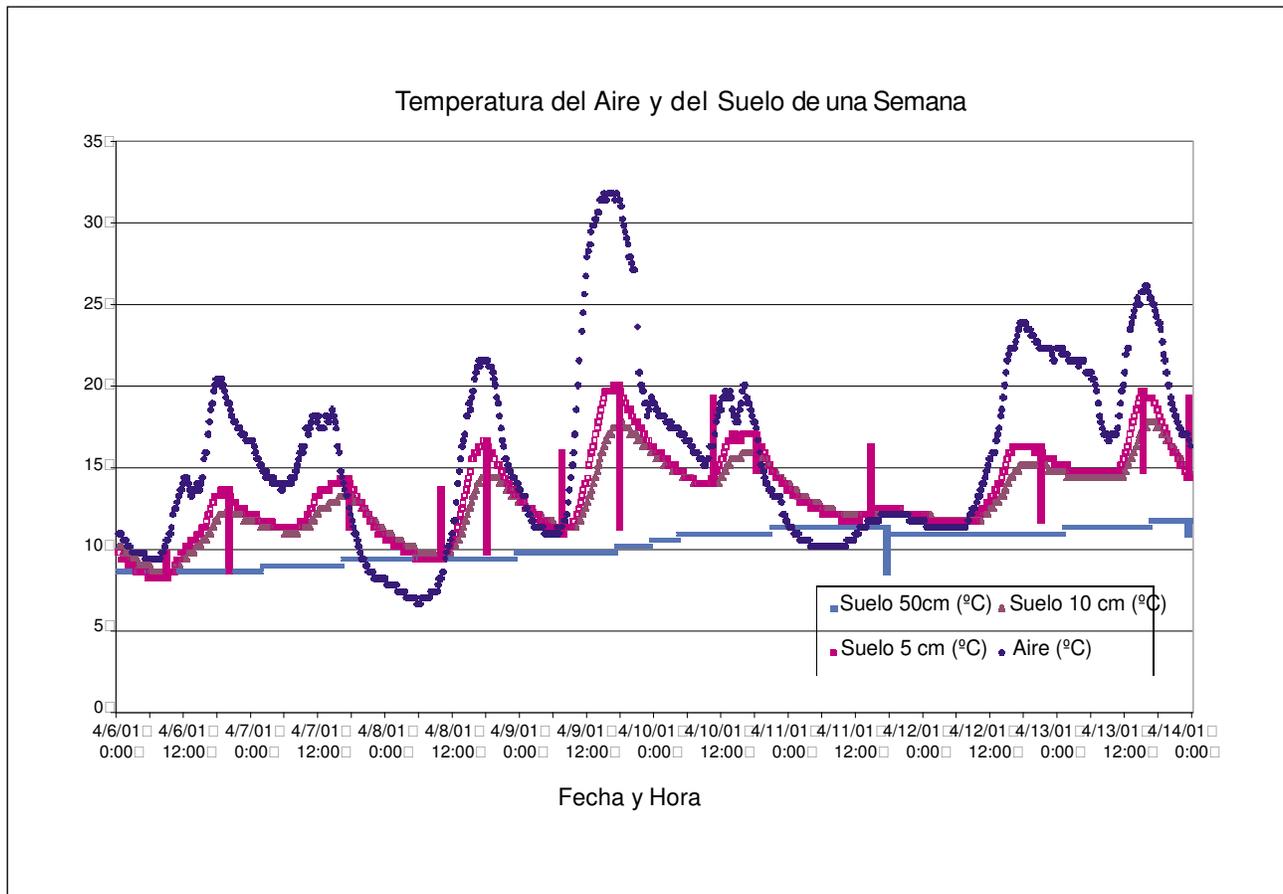
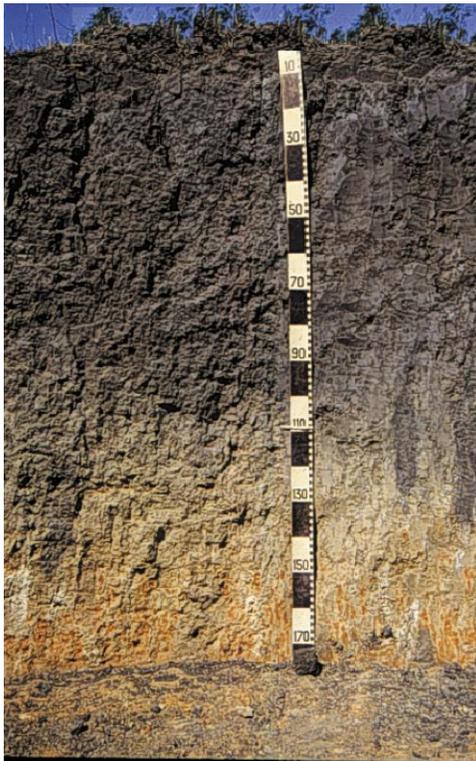


Figura SUELO-I-4: Ejemplos de Suelos de Pastizales en la Zona Sur de Texas en EE.UU



Estos suelos son comunes en la zona central de EE.UU y en los pastizales de Argentina y Ucrania. Suelen ser de color oscuro intenso y son unos de los mejores suelos para el cultivo. El color oscuro se debe a la descomposición de raíces muertas de las hierbas a lo largo de muchos años y al incremento en el contenido de materia orgánica que le permite al suelo almacenar agua y nutrientes necesarios para un excelente crecimiento de las plantas.

Figura SUELO-I-5: Suelo Formado Bajo un Bosque en el Extremo Oriente de Rusia, Cerca de la Ciudad de Magadan



Gran parte de la materia orgánica de estos suelos proviene de las hojas y raíces de las coníferas que mueren y se descomponen cerca de la superficie. Cuando esta materia orgánica se mezcla con lluvia se forman ácidos que filtran o desplazan materiales de los horizontes superiores del suelo. La capa blanca que se puede ver bajo la capa oscura superficial se formó debido a los ácidos orgánicos que desplazaron nutrientes, materia orgánica, arcillas, hierro y otros materiales

de la capa dejando partículas de suelo compuestas por sólo minerales.

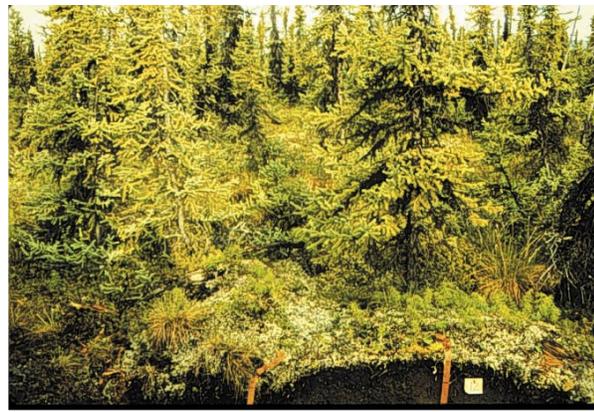
Por debajo de esta capa está un horizonte oscuro que contiene materiales que se filtraron del horizonte superior y que han sido acumulados en el proceso de lixiviado. Este horizonte tiene un color oscuro debido a la materia orgánica acumulada. El color rojo del siguiente horizonte se lo da el óxido de hierro proveniente de los horizontes superiores, que cubre las partículas del suelo. El horizonte inferior a éste tiene menos y diferentes óxidos de hierro que cubren las partículas inorgánicas del suelo, formándose un color amarillo. El último horizonte del perfil, el más inferior, corresponde al material original a partir del cual se forma el suelo. En este lugar, el material original es un depósito arenoso de glaciares. En algún momento todo el suelo sería como el último horizonte, pero con el paso del tiempo, los procesos de formación del suelo han ido cambiando sus propiedades.

Figura SUELO-I-6: Ambiente Tropical al Norte de Queensland, Australia



Observe los colores rojos fuertes y la profundidad a la que el suelo es uniforme. Es difícil distinguir diferentes horizontes. Las temperaturas muy altas y las grandes precipitaciones provocan la formación de suelos erosionados como éste. En climas tropicales, la materia orgánica se descompone rápidamente y se transforma en material inactivo que se une a la arcilla. La mayoría de los nutrientes se filtran en el suelo por las lluvias intensas, dejando atrás minerales erosionados cubiertos por óxidos de hierro, por lo que el suelo adquiere ese color rojo fuerte.

Figura SUELO-I-7: Suelo Formado Bajo un Clima Extremadamente Frío Cerca de Inuvik, al Noroeste de Canadá



Los “montículos” o superficie ondulada de este suelo se deben al hielo y al deshielo del agua del suelo año tras año. Las zonas negras indican los lugares donde se ha acumulado materia orgánica durante el ciclo de helada y deshielo. El proceso de formación de repliegues producidos en el suelo por el efecto de este ciclo de congelación y deshielo se llama *crioturbación*. Este suelo no está muy desarrollado y los diferentes horizontes apenas se distinguen porque las diferencias de color entre uno y otro casi no se perciben. En la parte inferior del perfil hay una capa denominada *permafrost* que está formada por hielo, suelo, o mezcla de ambos. El permafrost está por debajo de 0°C a lo largo de todo el año. En este suelo se acumula la capa gruesa y oscura de materia orgánica ya que en climas fríos la descomposición es muy lenta.

Figura SUELO-I-8: Suelo Formado Bajo Condiciones Extremadamente Secas o Áridas en Nuevo México, EE.UU



En lugares donde la materia orgánica está limitada, se suele encontrar un horizonte marrón claro en la superficie. Grandes cantidades de materia orgánica forman suelos oscuros. En lugares secos, la materia orgánica no retorna al suelo porque crece poca vegetación. Cuando llueve en este medio, la textura arenosa del suelo permite que el material sea transportado hacia abajo a horizontes inferiores del perfil. Las líneas blancas en la parte inferior del perfil se forman por los depósitos de carbonato cálcico, que pueden llegar a ser muy duros con el paso del tiempo.

Figura SUELO-I-9: Ejemplo de Suelo Húmedo en Louisiana, EE.UU



Suelos húmedos existen en muchos lugares del mundo. El horizonte en la superficie suele ser oscuro ya que la materia orgánica se acumula cuando el suelo está saturado de agua. En estas condiciones, no hay suficiente oxígeno para que los organismos descompongan la materia orgánica. Los colores del horizonte inferior suelen ser grisáceos. A veces, como ocurre en la foto, entre medias del color gris del suelo, aparecen líneas o vetas naranjas o marrones denominadas *manchas*. Los colores grises indican que el suelo estuvo mojado/húmedo durante largo periodo de tiempo, mientras que las manchas muestran donde había algo de oxígeno en el suelo.

El Dr. John Kimble y Sharon Waltman del Servicio de Conservación de Recursos Naturales de USDA, en el Centro Nacional de Investigación de Suelos de Lincoln, Nebraska, proporcionaron las fotos que se muestran aquí.

Mediciones GLOBE

¿Qué Mediciones se hacen?

En la Investigación de suelos GLOBE, se hacen dos bloques de mediciones. El primer bloque es el de *Caracterización del Suelo* que describe las características físicas y químicas de cada horizonte en un perfil de suelo (algunas mediciones de la Caracterización del Suelo se realizan en el campo, y otras en el aula o en el laboratorio). La *Caracterización del Suelo* se realiza una sola vez para un sitio determinado. El segundo bloque de mediciones es la *Temperatura y la Humedad del Suelo*, que determinan las propiedades del suelo respecto al agua y a la temperatura, a profundidades específicas. Las mediciones de humedad y temperatura del suelo se realizan repetidas veces y pueden compararse directamente con las mediciones de la temperatura del aire y de las precipitaciones descritas en la *Investigación de la Atmósfera*. Aunque estos dos bloques de mediciones de suelo son diferentes, teniendo la caracterización del suelo y la humedad del suelo de un lugar determinado se tiene una gran cantidad de información significativa. Por ejemplo, si hay diferencias de temperatura y humedad de suelo entre dos lugares, y sin embargo la temperatura del aire y la precipitación son las mismas, será porque las propiedades de la caracterización del suelo son diferentes. Si se comprenden las propiedades físicas y químicas del suelo, se interpretarán mejor los datos de la humedad y la temperatura del suelo.

Caracterización del Suelo

Mediciones en el campo

- Descripción del Sitio
- Tamaño de los horizontes
- Estructura del suelo
- Color del Suelo
- Consistencia del suelo
- Textura del suelo
- Raíces
- Rocas
- Carbonatos

* Para las mediciones en el laboratorio se utilizan muestras recogidas en el campo.

Mediciones en el aula o en el laboratorio*

- Densidad absoluta
- Densidad de partículas
- Distribución del tamaño de las partículas
- pH
- Fertilidad (N, P, K)

Mediciones de la Humedad del suelo y Temperatura

Mediciones en el campo

- Temperatura del suelo
- Control de la humedad del suelo

Mediciones en el aula o en el laboratorio *

- Humedad gravimétrica del suelo

Mediciones Individuales

Caracterización del Suelo

Los horizontes en un perfil se distinguen unos de otros por la diferencia en su estructura, color, consistencia, textura y en la cantidad de raíces, rocas y carbonatos libres que contienen. Los análisis en el laboratorio o en el aula de la densidad absoluta, distribución del tamaño de partículas, pH y fertilidad del suelo, también revelan muchas diferencias entre los horizontes.

Estructura

La *estructura* se refiere a la forma natural de las partículas del suelo o cúmulos de tierra, también llamados terrones. La estructura del suelo proporciona información sobre el tamaño y forma de los poros del suelo, a través de los cuales fluye el agua, el calor y el aire, y por donde las raíces crecen. La estructura de los terrones del suelo puede ser *granular*, en *bloque*, *prismática*, *columnar*, o *plana*. Si el suelo no tiene estructura, se define como estructura *suelta* (granos sueltos) o *compacta* (masa sólida).

Color

El color del suelo está determinado por el compuesto químico que recubre las partículas de suelo, por la cantidad de materia orgánica presente en el suelo, y por el grado de humedad del suelo. Los suelos con materia orgánica, por ejemplo, tienden a ser más oscuros. Minerales, tales como el hierro, dan a la superficie de las partículas un tono rojo y amarillo. El suelo en zonas secas puede ser blanco debido al carbonato cálcico en las partículas del suelo.

El color del suelo se ve afectado también por la humedad del suelo. Ésta depende de la escorrentía o de la saturación del agua en el suelo. Normalmente, cuanto más humedad contenga el suelo, más oscuro será.

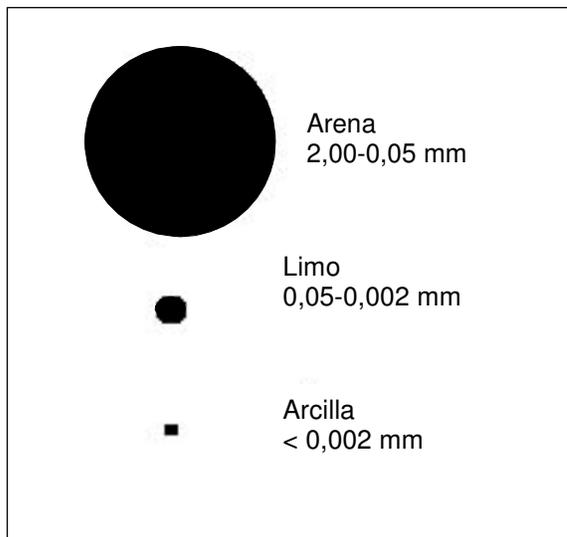
Consistencia

La consistencia se relaciona con la firmeza de cada terrón y con la facilidad o dificultad que tienen para resquebrajarse o romperse. Los términos que se utilizan para determinar la consistencia son *suelto*, *frágil*, *firme* y *extremadamente firme*. Un suelo con una consistencia frágil facilitará el enraizamiento en el suelo, el uso de la pala, el arado de la tierra, más que un suelo de consistencia firme.

Textura

La *textura* describe cómo se percibe con el tacto la tierra y está determinada por la cantidad de partículas de arena, de limo y de arcilla presentes en el suelo. La textura del suelo influye en la cantidad de agua, calor y nutrientes que se quedan retenidos en un perfil de suelo. Las manos humanas son sensibles a la diferencia de tamaño de las partículas de suelo. La arena constituye el grupo de partículas más grande y se percibe áspera al tacto. El limo corresponde al siguiente grupo de un tamaño menor y se siente suave al tacto. La arcilla es el grupo de tamaño más reducido, es pegajosa y resulta difícil de romper al apretarla. Observar *Figura SUELO-I-10*. La cantidad de partículas de arena, de limo y de arcilla en una muestra de suelo determina la *distribución de partículas según el tamaño* y se mide en un laboratorio o en el aula.

Figura SUELO-I-10: Grupos de Tamaños de Partículas



El tamaño relativo (no real) de partículas de arena, limo, y arcilla.

Raíces

La presencia de raíces en los horizontes de un perfil determina la profundidad a la que las raíces llegan para obtener nutrientes y agua. Cuantas más raíces se encuentran en un horizonte, más agua y nutrientes se estarán extrayendo del suelo y más materia orgánica se estará concentrando. Conocer la cantidad de raíces en cada horizonte permite a los científicos calcular la fertilidad del suelo, la densidad absoluta, la capacidad de almacenamiento del agua y la profundidad del suelo. Un horizonte compacto inhibe el desarrollo de raíces a diferencia de un horizonte poroso.

Rocas

Un cálculo aproximado del número de rocas en cada horizonte ayuda a comprender el movimiento del agua, del calor y del aire a través del suelo, el crecimiento de las raíces, y la cantidad de material del suelo implicado en reacciones físico-químicas. Las partículas de suelo de tamaño mayor de 2 mm se consideran rocas.

Carbonatos

Carbonatos de calcio u otros elementos se acumulan en áreas donde hay poca erosión o lavado con agua. La presencia de carbonatos en el suelo indica clima seco o bien un tipo específico de material original rico en calcio, como por ejemplo la roca caliza. Los carbonatos libres cubren partículas de suelo en suelos básicos (pH mayores que 7). Estos suelos son comunes en climas áridos y semiáridos. Normalmente los carbonatos son de color blanco y pueden rasparse fácilmente con una uña. A veces, en climas secos, los carbonatos pueden incluso formar un horizonte duro y denso similar al cemento, y no permite que las raíces de las plantas penetren. Para comprobar la presencia o ausencia de carbonatos, se rocía sobre el suelo un ácido, como el vinagre. Si hay carbonatos presentes, tendrá lugar una reacción química entre el vinagre (un ácido) y los carbonatos (una base) produciéndose dióxido de carbono a modo de burbujeo o efervescencia. Cuantos más carbonatos presentes, mayor efervescencia.

Densidad Absoluta

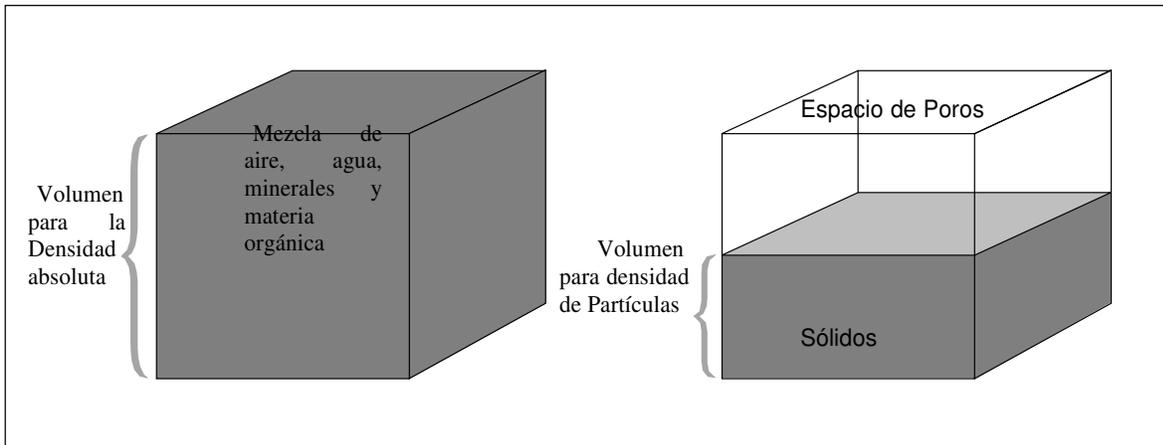
La densidad absoluta del suelo es una medida para conocer cuán compacto o denso es el suelo y se mide en masa de suelo seco por unidad de volumen (g/cm^3). Observar *Figura SUELO-I-11*. La densidad absoluta del suelo depende de la composición del suelo, de la estructura de los terrones del suelo, de la distribución de las partículas de arena, limo y arcilla

del volumen de los poros y de cuan compactas están las partículas. Los suelos compuestos de minerales (arena, limo y arcilla) tienen una densidad absoluta diferente a los suelos compuestos por materia orgánica. En general, la densidad absoluta de los suelos varía entre $0,5 \text{ g/cm}^3$ en suelos con muchos espacios, y $2,0 \text{ g/cm}^3$, o mayor, en horizontes muy compactos. Conocer la densidad absoluta de un suelo es importante por muchas razones. Indica si las partículas de suelo están poco o muy compactadas y si resulta fácil o difícil que las raíces penetren por los horizontes del suelo. La densidad también se utiliza para conocer la masa o el volumen de una muestra de suelo. Si se conoce la masa de una muestra de suelo, el volumen se puede calcular dividiendo la masa de la muestra por la densidad absoluta del suelo. Si se conoce el volumen de la muestra de suelo, la masa se puede calcular multiplicando el volumen de la muestra por la densidad absoluta del suelo.

Densidad de Partículas

La densidad de partículas de una muestra de suelo es la masa de suelo seco en un volumen determinado de suelo en el que se han eliminado todos los espacios de aire. Observar *Figura SUELO-I-11*. El tipo de minerales del que está compuesto el suelo afecta a la densidad de partículas. Los suelos compuestos por partículas puras de cuarzo suelen tener una densidad de partículas de $2,65 \text{ g/cm}^3$. Los suelos formados por otros minerales que no sean cuarzo tendrán otra masa para el mismo volumen de partículas. Si se conoce tanto la densidad de partículas como la densidad absoluta, se puede calcular la

Figura SUELO-I-11: Comparación de Densidad Absoluta y Densidad de Partículas



La densidad absoluta es una medida de masa de sólidos por unidad de volumen de suelo incluyendo los espacios de poros rellenos de aire y agua. Si el volumen se comprimiera de tal manera que no hubieran espacios porosos para el aire ni para el agua, la masa de las partículas dividida por el volumen que ocupan, sería la densidad de partículas.

porosidad (proporción del volumen de suelo que constituyen los poros). La porosidad determina la cantidad de aire o de agua que se puede almacenar o transportar por el suelo.

Distribución de Partículas por su Tamaño

La proporción en el suelo de cada grupo de partículas con un tamaño específico (arena, limo y arcilla) se denomina *distribución de partículas según su tamaño*. La arena es la partícula más grande de tierra dentro de los grupos de tamaño diferente, el limo tiene un tamaño intermedio y la arcilla es la partícula más pequeña. La distribución de partículas de una muestra de suelo según su tamaño determina la clase de textura exacta (la cual se “estima” en el campo desarrollando el Protocolo de Textura del Suelo). También ayuda a determinar cuánta agua, calor y nutrientes podrá retener el suelo, con qué rapidez se moverá el agua y el calor por el suelo, así como la estructura y consistencia que tiene.

La cantidad de arena, limo, y arcilla en una muestra de suelo se determina por un método ya establecido utilizando un instrumento llamado *hidrómetro*. Primero se dispersa una muestra de suelo seco de tal forma que ninguna de las partículas se agregue a otras, después se suspende la muestra en agua y se deja que vaya decantando. Las partículas más grandes (arena) decantan en minutos, mientras que las más pequeñas (arcilla) permanecen suspendidas durante días. Un hidrómetro se utiliza para medir la gravedad específica del suelo suspendido después de dejarlo decantando un tiempo determinado.

pH

El *pH* de un horizonte del suelo (cuán ácido o básico es el suelo) está determinado por el material original a partir del cual se forma el suelo, la naturaleza química de la lluvia o de otra agua que penetre en el suelo, por el manejo del suelo, por las actividades de los organismos (plantas, animales y microorganismos) que viven en el suelo. Al igual que el pH del agua, el pH del suelo también se mide en una escala logarítmica (ver la descripción de pH en la Introducción a la Investigación de Hidrología). El pH del suelo es un indicador para la química y la fertilidad de los suelos. La actividad de las sustancias químicas del suelo influyen en el pH. Las diferentes plantas crecen con diferentes valores de pH. Los agricultores añaden a veces al suelo sustancias para modificar el pH de tal forma que crezcan en él los tipos de plantas que quieren. El pH del suelo afecta también al pH del agua subterránea o a las aguas de arroyos o lagos cercanos. El pH del suelo se puede relacionar con el pH medido en la *Investigación de Hidrología* y con el pH de la precipitación medido en la *Investigación de la Atmósfera*.

Fertilidad

La fertilidad del suelo está determinada por la cantidad de nutrientes que contiene. Nitrógeno (N), fósforo (P), y potasio (K) son tres de los nutrientes más importantes que requieren las plantas para su crecimiento óptimo. La presencia de estos nutrientes se puede comprobar en cada horizonte de un perfil. Los resultados de estas mediciones ayudan a determinar si el suelo es apropiado para el crecimiento de plantas. La fertilidad del suelo puede relacionarse con las mediciones de la química del suelo que se llevan a cabo en la *Investigación de Hidrología*

Humedad del Suelo

La humedad del suelo, también definida como *Contenido de Agua en el Suelo* (SWC – Soil Water Content), es la proporción de masa de agua contenida en una muestra de suelo respecto a la masa de materia seca en esa muestra. Esta proporción oscila normalmente entre valores de 0,05 g/g y 0,50 g/g. Sólo suelos extremadamente secos que retengan una cantidad pequeña de agua, como por ejemplo suelos del desierto, tienen valores por debajo de 0,05 g/g. Solamente suelos ricos en materia orgánica, turba o algunas arcillas absorben grandes cantidades de agua y tienen valores superiores a 0,50 g/g. En algunos suelos altamente orgánicos, el contenido de agua en el suelo puede ser >1,0 g/g porque la masa de agua es mayor que la masa de las partículas orgánicas. La medición de la humedad del suelo ayuda a definir el papel que desempeña el suelo en el ecosistema circundante.

Por ejemplo, las mediciones de humedad del suelo señalan la habilidad del suelo para retener o transportar agua afectando al agua subterránea, a la escorrentía superficial, a la transpiración y a la evaporación del agua a la atmósfera. También describe la habilidad del suelo para ofrecer nutrientes y agua a las plantas, afectando su crecimiento y supervivencia.

Temperatura del Suelo

El suelo actúa como aislante del calor que fluye entre la tierra sólida por debajo del suelo y la atmósfera. De esta manera, la temperatura del suelo puede ser fría en verano y relativamente caliente en invierno. Estas variaciones de temperatura del suelo pueden afectar al crecimiento de las plantas, a la época del brote de yemas o caída de la hoja, y a la velocidad de descomposición de la materia orgánica.

La temperatura del suelo suele tener una fluctuación por el día menor que la temperatura del aire, y la temperatura del suelo más profundo normalmente varía poco. La temperatura del suelo puede alcanzar valores extremos de 50°C en verano, en la superficie de suelos del desierto (¡más alta que la temperatura máxima del aire!) y valores bajo cero en invierno a latitudes o altitudes altas.

Selección del Sitio de Estudio

Los sitios de estudio del suelo para realizar las mediciones de la caracterización, de la humedad y de la temperatura deben seleccionarse detenidamente.

Para la caracterización de suelos es importante seleccionar un sitio en el que esté permitido cavar un hoyo con una pala o barrena. El objetivo es obtener un perfil de suelo de un metro de profundidad. Si no es posible, el alumnado tiene la opción de coger una muestra de 10 cm. de profundidad del perfil. Es importante asegurarse, a través de las empresas de servicio locales, que no hay ni tuberías ni cables enterrados en el sitio elegido para cavar el hoyo. Si se elige un sitio cercano al sitio donde se realizarán las mediciones de humedad y temperatura, será más fácil comprender los resultados de todas las mediciones. Si se elige un sitio para estudiar la caracterización del suelo cercano al sitio de estudio de Cobertura Terrestre, se interpretará más fácilmente el papel que desempeñan las propiedades del suelo en el control del tipo y la cantidad de plantas que crecen en ese lugar.

Para las mediciones de humedad del suelo debe considerarse si el sitio está abierto o no. El sitio no debe estar irrigado, debe tener características uniformes, estar lo menos alterado posible, y que sea seguro para cavar. Las muestras para la humedad del

suelo se toman de la superficie (0-5 cm) y a 10 cm de profundidad. Para completar el perfil se pueden recoger también muestras a 30 cm, 60 cm y 90 cm de profundidad. Si es posible, el sitio debería estar no más lejos de 100 m del Sitio de Estudio GLOBE de Atmósfera o de otro lugar donde se estén recogiendo muestras de precipitación.

Para las mediciones de la temperatura del suelo, se debe seleccionar un sitio adyacente al *Sitio de Estudio GLOBE de Atmósfera*, o bien cualquier otro lugar donde se estén tomando mediciones de la temperatura del aire. También puede medirse la temperatura del suelo en el sitio de estudio de la humedad del suelo. El sitio debe estar abierto y debe ser representativo de los suelos de la zona. Las mediciones de la temperatura del suelo se realizan a profundidades de 5 y 10 cm en todos los protocolos, y también a 50 cm con los protocolos de monitorización.

Descripción del Sitio

Después de que el alumnado haya seleccionado un sitio para sus mediciones de suelo, lo definen y lo describen utilizando los siguientes factores de identificación: latitud y longitud (usando un GPS), altitud, pendiente, orientación (la dirección de la pendiente más empinada), tipo de vegetación que cubre el suelo, material original, uso actual de la tierra y la posición del suelo en el paisaje. El alumnado determina alguna de estas propiedades en el sitio, mientras que otras propiedades se identifican utilizando recursos locales como mapas, informes de estudio de suelos, y expertos locales.

Frecuencia de las Mediciones

Las mediciones para la caracterización del suelo deben tomarse una sola vez para cada Sitio de Estudio de la Caracterización del Suelo. Se usa más de un sitio de estudio si se quiere identificar propiedades del suelo en diferentes ubicaciones (como por ejemplo en el sitio de la humedad y la temperatura del suelo, en el sitio de cobertura terrestre, o bien a lo largo de diferentes partes del paisaje).

Para comprender globalmente la humedad del suelo, GLOBE establece como prioridad que las mediciones de la humedad del suelo se lleven a cabo durante dos campañas de recopilación de datos cada primavera y cada otoño.

Para estudiar cambios locales, las mediciones de humedad de suelo deberían realizarse 12 o más veces al año en el mismo sitio semanalmente o mensualmente. Con sensores

de humedad del suelo, las mediciones deberían recogerse diariamente o más frecuentemente.

Las mediciones de temperatura del suelo se toman por lo menos una vez a la semana. Muchos centros escolares realizan mediciones cada día a la vez que recogen datos atmosféricos diarios. El *Protocolo de la Temperatura Digital Multi- Días Máxima/Mínima/ Actual del Aire y del Suelo* facilita la recogida de mediciones diarias de temperatura máxima y mínima del suelo desde una profundidad de 10 cm. Hay protocolos opcionales disponibles para la medición diaria de la temperatura máxima y mínima del suelo a profundidades de 5 y 50 cm, y para tomar la temperatura automáticamente cada 15 minutos utilizando un almacenador de datos.

Precauciones en el Campo

Muchos profesores cuentan que la actividad de cavar un hoyo para exponer un perfil de suelo resulta satisfactoria para el alumnado. A veces es necesaria la ayuda de alguna persona adulta voluntaria o alguien que tenga una excavadora. Al cavar hay que tomar ciertas precauciones. Para que el hoyo no sea un peligro ni para la gente ni para los animales, debe estar abierto sólo mientras el alumnado está realizando las observaciones. Debe taparse bien cuando la clase ya no está trabajando en él.

Organización del Alumnado

Dependiendo del tamaño del hoyo y de la cantidad de alumnos, se podría trabajar con toda la clase en un mismo hoyo. En otros casos, es mejor organizar grupos de 3 a 5 personas para trabajar al mismo tiempo. Hay muchas estrategias para trabajar con múltiples grupos de alumnos en la recogida de datos de diferentes horizontes o bien recogiendo duplicados de muestras. El profesorado debe tener en cuenta que las mediciones de la caracterización del suelo y la recogida de muestras puede durar algunas horas. Algunos profesores prefieren realizar las mediciones en repetidas visitas. Expertos en edafología de las Universidades del Servicio de Conservación de Recursos Naturales USDA, y de otras empresas de agricultura, pueden ofrecer apoyo en la excavación, en la descripción del sitio y en la caracterización del suelo.

Las muestras de humedad del suelo deben recogerse en un área alrededor del centro, tan grande como sea posible, durante las dos semanas fijadas.

Figura SUELO-I-12

Estándares Nacionales de la Educación en Ciencias	Protocolos Básicos					Protocolos Avanzados			Actividades de Aprendizaje	
	Caracterización	Temperatura	Humedad del suelo	Densidad absoluta	pH del suelo	Distribución de partículas	Densidad de partículas	Fertilidad del suelo	Un simple repaso	Un simple repaso principiantes
Conceptos de las Ciencias de la Tierra y el Espacio										
Los materiales que forman la Tierra son rocas sólidas, suelos, agua, biota y gases atmosféricos.			■	■		■	■			
Los suelos tienen como propiedades: color, textura, estructura, consistencia, densidad, pH, fertilidad; sostienen el crecimiento de muchos tipos de plantas.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
La superficie de la Tierra cambia.	■	■	■		■			■		
Los suelos generalmente constan de diferentes horizontes, cada uno de los cuáles tiene una composición química y textura diferente.	■				■			■	■	■
Los suelos están formados por minerales (menos de 2mm), materia orgánica, aire y agua.	■		■	■		■	■	■	■	■
El agua circula a través del suelo cambiando las propiedades, tanto del agua como el suelo.	■	■	■	■	■			■	■	■
Conceptos de las Ciencias Físicas										
Los objetos tienen propiedades observables.	■	■	■	■	■	■	■	■		
La energía se conserva.		■								
El calor se transmite de los objetos más calientes a los objetos más fríos.		■								
Las reacciones químicas se producen en todos los lugares del entorno.					■			■		
Conceptos de las Ciencias de la Vida										
Los átomos y las moléculas circulan entre los componentes vivos e inertes del ecosistema.								■		
Habilidades Relativas a la Investigación Científica										
Identificar preguntas susceptibles de recibir una respuesta.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Diseñar y dirigir una investigación.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Usar las herramientas y técnicas apropiadas, incluyendo las matemáticas, para relacionar, analizar e interpretar datos.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Desarrollar descripciones y explicaciones, predicciones y modelos, empleando evidencias.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Comunicar procedimientos y explicaciones.	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Esto permite participar a todo el alumnado (a los padres y madres). La clase debe decidir una estrategia de recogida de muestras y revisar los procedimientos apropiados para la toma de datos. Los equipos formados por el alumnado y profesorado pueden trabajar conjuntamente en la descripción del sitio, en la toma de las coordenadas geográficas del GPS, de muestras gravimétricas cercanas a la superficie, y cualquier otro dato GLOBE que interese a la clase. Otros grupos de alumnos pueden ser los responsables de determinar el peso húmedo del suelo lo antes posible, una vez recogidas las muestras, y después de comenzar con el proceso de secado. Sería interesante contactar y trabajar con científicos de instituciones locales para ayudar en el secado de las muestras. Normalmente, un grupo de dos o tres alumnos es suficiente para tomar muestras de humedad de suelo o para la lectura de sensores de humedad.

Para realizar las mediciones de la temperatura del suelo lo mejor es disponer de equipos pequeños (2 o 3 personas por equipo). Una estrategia buena es que un alumno experimentado ayude a otro compañero que tenga menos experiencia y éste a su vez ayudará después a otros. Se tarda de 10 a 20 minutos en realizar un set completo de mediciones.

Combinando Mediciones

En la *Investigación de Suelos*, el alumnado estudia tanto aquellas propiedades del suelo que varían muy lentamente (caracterización del suelo), como aquellas que varían muy rápidamente (temperatura y humedad del suelo). Sin conocer las propiedades que cambian lentamente en un perfil de suelo, es difícil comprender las variaciones dinámicas de la humedad y del suelo. De la misma manera, los patrones con los que la humedad y la temperatura van cambiando a lo largo del tiempo, influyen en la formación del suelo. Se anima al profesorado a combinar las mediciones de la caracterización del suelo con las de la humedad y la temperatura del suelo, de tal manera que el alumnado consigue comprender cómo funciona la pedosfera y cómo afecta al resto del ecosistema.

Objetivos Educativos

El alumnado que participe en las actividades que se presentan en este capítulo adquirirá habilidades de investigación científica y comprenderá un número elevado de conceptos científicos. Ver *Figura SUELO-I-12*. Estas habilidades incluyen además el uso de técnicas e instrumentos específicos para realizar las mediciones y analizar los datos obtenidos con un enfoque a la investigación. Las Habilidades de Investigación Científica que aparecen en la *Figura SUELO-I-12* y en los recuadros grises al comienzo de cada protocolo se cubrirán siempre y cuando el profesor haya completado el protocolo entero, incluyendo la sección de Observando los Datos. Si esta sección no se utiliza, no quedarán todas las habilidades de investigación cubiertas. Los Conceptos de Ciencias incluidos en la figura y en los recuadros grises se destacan en los Estándares Nacionales de Educación en Ciencias de los Estados Unidos como recomienda el Consejo de Investigación Nacional de EE.UU e incluye aquellos para Ciencias de la Tierra y el Espacio y Ciencias Físicas. La *Figura SUELO-I-12* indica qué conceptos y habilidades se cubren en los diferentes protocolos y actividades de aprendizaje.