

Los suelos son considerados según el cristal de la ciencia que los estudie. Para la ingeniería es el sustrato sobre el cual se edificará un edificio y desde un punto de vista geológico es una capa de roca disgregada. Pero para un edafólogo —el es-

minada “edafósfera” considerada como una geomembrana que permite el intercambio de materia y energía entre la litosfera y la atmósfera, sirviendo de protección a la primera ante los efectos climáticos.

manera se analizan con mayor detalle los procesos ocurridos en la rizosfera. Sin embargo, falta mucho por conocer sobre el papel de los microorganismos, meso y macrofauna, así como el papel de la rizosfera en la calidad del suelo.

## CONSERVACIÓN Y



Albano Guatti, Oaxaca, 1985.

## Francisco Bautista Zúñiga

tudioso del suelo—, éste se define como un sistema abierto que presenta intercambios de materia y energía con el medio, en donde se desarrollan diversos procesos físicos, químicos y biológicos, responsables de su morfología y propiedades.

El suelo es un cuerpo natural y dinámico que cambia según el tiempo y el espacio. Es soporte de una gran variedad de organismos como la vegetación, característica relevante, pues de ella dependen las actividades agrícolas, fuente de alimento para la humanidad. A nivel del globo terrestre, así como existe una capa de agua llamada hidrosfera, otras como litosfera, atmósfera y aún la biosfera, puede decirse que el suelo constituye una capa deno-

El suelo está constituido por tres fases que se corresponden con los estados físicos de la materia: sólida, líquida y gaseosa.

La presencia y cantidad de los componentes de la fase sólida dependen de los procesos edafogénicos. Esta fase se divide en orgánica e inorgánica. La primera es la parte del suelo menos conocida y estudiada, debido a la complejidad de sus componentes y a la escasa metodología estandarizada. Recientemente la parte biológica de la fase sólida del suelo, a nivel de fauna, ha sido reconocida como importante en la fertilidad de los suelos tropicales, y comienzan a realizarse estudios en ese sentido. De la misma

La parte inorgánica del suelo es la más conocida y estudiada; tecnológicamente se cuenta con equipos muy complejos para realizar estudios de detalle en los componentes de esta fase. Dos ejemplos son: la utilización de los espectrómetros de masas —con los cuales es posible medir cantidades muy pequeñas de isótopos estables (por lo tanto no radiactivos) de C y N, que permiten conocer la dinámica de la materia orgánica del suelo a causa de la sustitución de una cubierta vegetal— y los espectrofotómetros de absorción atómica con horno de grafito, para cuantificar partes por billón de diversos elementos, metales pesados entre ellos.

La fase líquida corresponde al agua del suelo. Se compone principalmente de agua con iones y gases en disolución, y es crucial en la vida de los organismos, especialmente para las plantas, pues es el medio por el cual absorben sus nutrientes. Me-

Las fases líquida y gaseosa ocupan los espacios vacíos que existen entre las partículas de la fase sólida; tales espacios también son llamados poros, y pueden ser grandes (macroporos) o pequeños (microporos). En estos últimos se retiene el agua;

clima, organismos, relieve y tiempo. Estos factores producen a su vez procesos que le dan forma al suelo, mismos que se agrupan en cuatro tipos: de adición, pérdida, translocación y transformación. El aporte de hojarasca y sedimentos son dos

## MANEJO DE LOS SUELOS



H é c t o r   E s t r a d a   M e d i n a

dante ella se presentan los flujos de materia y energía entre las capas u horizontes. Así grandes cantidades de suelo llegan al mar, ríos, lagos, lagunas y presas (erosión).

La fase gaseosa incluye  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $N_2$ , entre otros. La composición de esta fase determina el tipo de microorganismos que habitará el suelo, quienes se encargarán, entre otras cosas, de la descomposición de la hojarasca. Las altas concentraciones de  $O_2$  permitirán la existencia de los microorganismos aerobios; por el contrario, cuando las concentraciones de  $O_2$  son bajas, los anaerobios realizarán la descomposición. Las condiciones aerobias influyen en el crecimiento de las plantas, pues éstas también respiran por las raíces.

en los macroporos generalmente se encuentran gases. Cuando el suelo está seco, la fase líquida no existe y la gaseosa ocupa los poros. Por el contrario, cuando el suelo está sumamente mojado, la fase líquida ocupa los espacios vacíos, eliminando a la gaseosa. En ocasiones, el agua sólo ocupa los microporos, dejando con gases los macroporos. Este estado de humedad es llamado "capacidad de campo", estado "ideal" para el crecimiento de los cultivos.

### LA FORMACIÓN DE SUELOS

Los suelos se originan de manera natural, por la combinación de cinco factores denominados "formadores de suelo": roca,

claros ejemplos de un proceso aditivo, así como el lavado y la volatilización (transformación de un compuesto orgánico a gas) lo son de pérdida. La translocación consiste en el movimiento ascendente o descendente de materiales a lo largo del perfil. La transformación involucra el desarrollo de reacciones (oxidación, reducción, hidratación, etcétera) que son de especial importancia en la dinámica y disponibilidad de los nutrientes. La formación de coloides orgánicos (humificación) es un ejemplo.

La formación de suelo es un proceso largo que dura de cientos a miles de años; se trata de un recurso no renovable. Baste citar que para la formación de un centí-

metro de suelo denominado molisol, tendrán que pasar 400 años, y para el llamado oxisol alrededor de 75 mil años.

El desarrollo de un suelo es el producto de la interacción de los factores formadores arriba mencionados. De modo que cuando un factor domina, se refleja claramente en la morfología del suelo. Por ejemplo, los de pie de monte o de las partes planas generalmente son más profundos que los de las partes altas, debido al efecto del relieve.

En el caso de la roca, es éste el factor que determina la textura y una gran cantidad de propiedades químicas, si es que el suelo no es producto de la erosión de las partes altas. Un ejemplo de suelo en el que la roca es el factor preponderante está en la península de Yucatán, donde la roca calcárea al descomponerse forma  $\text{CO}_2$  (92% o más), por lo que sólo una pequeña porción pasa a formar parte de la edafósfera, motivo por el cual los suelos son someros.

La relación organismos-suelo se presenta en ambas direcciones: es cierto que el suelo determina la distribución de los organismos, pero también los organismos influyen en la calidad de aquél.

Las plantas modifican la calidad del suelo por la realización de varios procesos; entre ellos destaca la absorción de nutrientes y su posterior acumulación en la superficie y en la parte baja del perfil. La forma de vida de las plantas tiene gran importancia en la cantidad y calidad de la hojarasca que "nutrirá" al suelo, así como su fenología en el ciclo de nutrientes.

Las plantas modifican el microclima, generalmente disminuyen los efectos adversos para la fauna del suelo, lo cual repercute en el tamaño y distribución de sus poblaciones. A su vez, fauna y microflora del suelo contribuyen a mejorar su calidad, por muy diversas causas: formación de galerías que mejoran la infiltración; mejoramiento de la estructura; liberación paulatina de nutrientes vía descompo-

sición de la hojarasca; intemperismo de los minerales del suelo, y otros.

La temperatura y la precipitación son los dos componentes más importantes del clima. La primera ejerce una influencia marcada en el tipo y cantidad de vegetación presente en un sitio y, en consecuencia, sobre el tipo y calidad de la materia orgánica. Además, es uno de los factores que determinan el tipo y la rapidez de las reacciones en las que participa el agua, por ejemplo, la descomposición de la materia orgánica se acelera (al doble) por cada aumento de  $10^\circ\text{C}$ .

Con respecto a la precipitación, la cantidad de agua de lluvia influye en la acidez del suelo: a mayor precipitación, ma-

*Los agroecosistemas prehispánicos fueron y son catalogados aún como sostenibles. Su éxito radica en el manejo de los recursos naturales, pues todos, incluyendo el suelo, se contemplan como parte de un todo (ecosistema) y no de manera aislada.*

yor acidez. De la misma manera, el contenido de nitrógeno en el suelo aumenta con la precipitación, y lo mismo ocurre con las arcillas. Por el contrario, a mayor precipitación menores cantidades de bases intercambiables. De lo anterior se deduce que altas temperaturas combinadas con altas precipitaciones producirán suelos muy intemperizados, en donde los procesos de reciclaje de nutrientes y meteorización (desintegración o intemperismo) de la roca son más intensos que en climas templados o fríos.

#### SUELOS, ECOSISTEMAS Y AGRICULTURA

El suelo es uno de los factores que limitan el crecimiento y distribución de las plantas. En él se inicia y termina la cadena alimentaria: las plantas toman de ahí varios nutrientes; los herbívoros necesitan de las plantas para vivir, en tanto que los consumidores secundarios, los carní-

voros, requieren de los herbívoros para su subsistencia. Cuando plantas, herbívoros y carnívoros mueren, los desintegradores los descomponen y se reciclan los nutrientes. Si se corta la base de la cadena, se altera fuerte e irremediamente al ecosistema. Por ello resulta un tanto incomprendible que se tenga tanta atención a las especies de animales y plantas en peligro de extinción y muy poca a los suelos degradados o alterados, ya que su daño influirá negativamente en el desarrollo de las poblaciones de todos los organismos terrestres.

Una de las características más importantes del suelo es la capacidad de sostener la vida, lo que ha permitido el desarrollo de las actividades agrícolas y la alimentación de la humanidad.

En los sistemas agrícolas "modernos", a raíz de la producción de fertilizantes con la llamada "revolución verde", se ocasionó que los suelos fueran utilizados sólo como sostén de los cultivos, dado que con los fertilizantes y el

agua prácticamente se tenía la producción asegurada. Esta forma de pensar, que no toma en cuenta los procesos de formación del suelo, ocasionó que grandes extensiones del mismo con una de buena calidad fueran degradadas, algunas de manera irreparable.

En contraparte, los agroecosistemas prehispánicos fueron y son catalogados aún como sostenibles. Su éxito radica en el manejo de los recursos naturales, pues todos, incluyendo el suelo, se contemplan como parte de un todo (ecosistema) y no de manera aislada. A pesar de ello, en las actuales condiciones (grandes densidades de población, culturas holistas y modelo económico), son de baja rentabilidad y productividad (con excepción de algunos casos, como las chinampas) y de difícil inserción en la economía de mercado. El desafío es retomar la filosofía de las antiguas culturas y adaptarla a las condiciones actuales.

## LA CONTAMINACIÓN DE LOS SUELOS

Los suelos también son purificadores naturales del ambiente. Así, cuando un contaminante penetra el suelo, vía agua o aire, su dispersión se detiene por muchos motivos: adsorción, absorción, precipitación, reducción, oxidación, degradación, etcétera. Un ejemplo son los residuos industriales con grandes cantidades de material orgánico disuelto que, al llegar a los cuer-

es alto porque la ingestión humana puede ser directa y la dispersión alta. En cambio, en el agua el tiempo de residencia es mayor y también su toxicidad, pues el líquido es vital para muchos organismos, pero la dispersión es menor. En el suelo el tiempo de residencia es mucho mayor y el contaminante puede desactivarse por diversas reacciones químicas (oxidación, reducción, quelación, precipitación, carbonatación...); el peligro de toxicidad es menor (dado que

colas que incluyen el uso de agua de riego de mala calidad (salina, sódica, dura y/o residual), así como el empleo excesivo de agroquímicos del tipo de plaguicidas y fertilizantes.

En el caso de las aguas residuales, en México la generación es de entre 170 y 184 m<sup>3</sup>/s, de los cuales 105 m<sup>3</sup>/s son de origen doméstico y de 79 a 82 m<sup>3</sup>/s de origen industrial y solamente el 15% recibe algún tratamiento. Un alto porcenta-



Plantación azucarera de Don Eusebio Alfonso, La Habana, 1860.

pos de agua, modifican totalmente la flora y fauna naturales. Si estos materiales orgánicos en solución llegan a los suelos, es muy probable que gran cantidad del contaminante se adsorba o absorba, se retenga y sea descompuesto (mineralizado) por los microorganismos edafícolas.

Estudios comparativos entre contaminantes en la atmósfera, agua y suelo señalan que sus tiempos de residencia son distintos y, por lo mismo, son diferentes los grados de impacto en los organismos.

En el aire, el tiempo de residencia es relativamente corto, pero su efecto tóxico

para ser ingerido primero debe pasar por las plantas); y la dispersión del contaminante se reduce considerablemente.

El problema principal radica en que no se reconoce o se desestima la contaminación de los suelos y su grado de toxicidad. La provocada por plaguicidas, residuos industriales con metales pesados, hidrocarburos y lixiviados de los depósitos de residuos domésticos, ha sido poco atendida en comparación con los estudios sobre contaminantes en la atmósfera y el agua.

En México las fuentes más contaminantes del suelo son las actividades agrí-

je de las aguas residuales es utilizado en el riego de diversos cultivos, y aun cuando el principal constituyente es la materia orgánica, en las grandes ciudades el agua de drenaje llega a contaminar los campos agrícolas.

Mencionemos dos ejemplos de contaminación del suelo por actividades industriales.

- La industria metalmecánica contamina los suelos cuando mezcla desechos que contienen importantes cantidades de ácido sulfúrico mezclado con metales pesados (plomo, zinc, níquel, cobre y hierro)



con el agua de drenaje, que después se utiliza como riego.

• En la industria minera, los procesos químicos que se utilizan para separar el mineral implican la utilización de compuestos altamente tóxicos (xantatos y cianuro). Además, sus desechos contienen grandes cantidades de metales pesados y depositados en lugares que implican un alto riesgo de contaminación.

Si se reconoce el problema de contaminación del suelo y se identifican sus orígenes, es posible “diluir” y/o remediar el efecto contaminante de manera química, física y/o biológica.

## LA CALIDAD DE LOS SUELOS

Tradicionalmente la calidad del suelo había sido concebida con base en su productividad. Sin embargo, recientemente el concepto ha sido ampliado para incluir atributos de seguridad y calidad alimentaria, salud animal y humana, y calidad del ambiente. Desde esta óptica, la cali-

dad del suelo es la capacidad que tiene ese elemento de los ecosistemas para producir cultivos seguros y nutritivos de manera sustentable, que aumenten la salud animal y humana, sin perjudicar los recursos naturales ni el ambiente.

Esta nueva concepción es de suma importancia en el cuidado del ambiente, dado que ya no sólo se piensa en aumentar la producción agrícola sino en la sustentabilidad del sistema productivo. Cuando se pondera la producción sobre el ambiente, generalmente se llega al deterioro de los recursos naturales en su conjunto, como suelo, vegetación, fauna y cuerpos de agua.

Los indicadores del suelo más ampliamente utilizados son: 1) Propiedades del suelo como: profundidad; forma, tamaño y estabilidad de los agregados; cantidad y calidad de la materia orgánica fraccionada por tamaño; nutrientes; estructura de la macrofauna y microorganismos; producción (potencial productivo, calidad y seguridad alimenticia y manejo de insumos, salud animal y humana); y 3) facto-

res ambientales (erodabilidad y contaminación, etcétera).

Los esfuerzos para caracterizar la calidad del suelo se han enfocado principalmente en las propiedades físicas y químicas, pues se dispone de métodos estandarizados y relativamente simples para su medición, mientras que las propiedades biológicas han sido descuidadas a causa de la dificultad de su cuantificación y predicción.

## EL ESTUDIO DE LOS SUELOS

Comienza por la descripción del perfil, que es una cara del corte del suelo. En él pueden apreciarse los horizontes (capas aproximadamente paralelas a la superficie con diferente composición). Estos horizontes se generan por los procesos edáficos, que a su vez son producidos por los factores formadores del suelo (figura 1).

Las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo son producto de los procesos edafogénicos. Algunas de ellas,

como color, profundidad, estructura (forma, tamaño y estabilidad de los agregados o terrones), raíces, galerías, porosidad y retención de agua y otras pueden reconocerse en el campo, pero otras sólo pueden conocerse a través de análisis de laboratorio de muy diversos tipos (físicos, químicos, biológicos, mineralógicos, micromorfológicos, etcétera). Dichas propiedades, en conjunto, nos dan indicios de los procesos formadores que con mayor intensidad se presentan en el suelo. Una vez identificados éstos, los suelos se clasifican. Tal información debe ser la base del manejo de este elemento del ecosistema, así como de la producción agrícola y/o pecuaria. También puede utilizarse para controlar los problemas de contaminación, así como para entender la distribución de los organismos (animales y vegetales), y otros procesos de los ecosistemas terrestres naturales y perturbados. Por ello, el suelo que pisamos es de suma importancia en el manejo y conservación de los recursos naturales. 

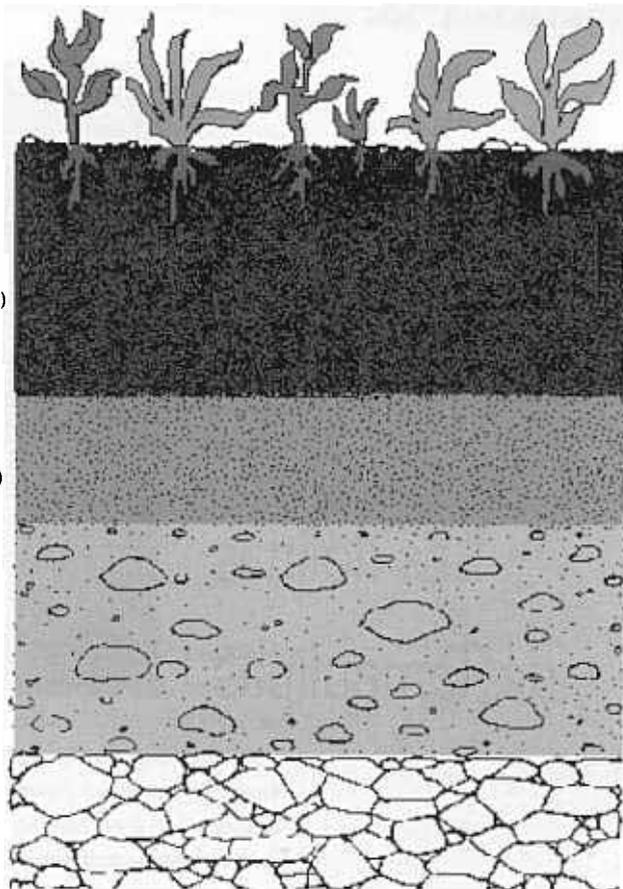
Horizonte O  
(Residuos orgánicos)

Horizonte A  
(Máxima actividad biológica)

Horizonte B  
(Acumulación de materiales)

Horizonte C  
(Material originario  
intemperizado)

Horizonte D  
(Roca madre)



#### Francisco Bautista Zúñiga

PROTOTÍPICO, FMVZ, Universidad Autónoma de Yucatán.

#### Héctor Estrada Medina

PROTOTÍPICO, FMVZ, Universidad Autónoma de Yucatán. Facultad de Estudios Superiores "Zaragoza". UNAM.

#### Agradecimientos:

A la Ing. Isabel Sohn y al M. en C. Arturo Camal por su revisión del texto.

#### Bibliografía

- Alexander, M. y K. Scow. 1987. Kinetic Biodegradation in Soils. En: *Reactions and Movement of Organic Chemicals in the Environment*. John Wiley and Sons, Inc. Florida, EU.
- Arnold, R.W., I. Szabolcs y V.O. Targulian. 1990. *Global Soil Change*. International Report of an IIASA-ISSS-UNEP. Task Force Institute for Applied Systems Analysis, Luxemburg, Austria.
- Bautista, F., D. Bejar-Moscona, M. Gutiérrez-Ruiz, y M. Villalobos-Peñalosa. 1991. "Feasible Solutions for Disposal and Reuse of Pickle Liquors from Mexican Iron Industry". En: 4th Chemical Congress of North America and 202nd American Chemical Society National Meeting, ed. American Chemical Society, EU. 91-99.
- Bautista, F. 1992. "Estudio sobre la utilización de los licores ácidos de la industria metalúrgica en la recuperación de suelos salino-sódicos". Tesis de maestría, Facultad de Ciencias, UNAM.

- Bautista, F., V. Luna y C. Durán. 1995. "El suelo, un reactor químico muy interesante". *Educación química* 6:(4):226-230.
- Brady, C.N. 1994. "Alternatives to Slash-and-Burn: A Global Imperative". En: Sánchez, P.A. y Van Houten, H. *Alternatives to Slash-and-Burn Agriculture*. Symposium ID-6, 15th Internacional Soil Science Congress, Acapulco, México.
- Ferrera-Cerrato R. 1995. "Efecto de rizosfera". En: *Agromicrobiología, elemento útil en la agricultura sustentable*. Ferrera-Cerrato R. y J. Pérez-Moreno (eds). Colegio de postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillos, Estado de México.
- Granatstein, D. y D.F. Bezdicek. 1992. "The Need for a Soil Quality Index: Local and Regional Perspectives". *American Journal of Alternative Agriculture*. 7:(1-2):12-16.
- Gutiérrez-Ruiz, E. M., F. Bautista, D. Bejar-Moscona, y M. Villalobos-Peñalosa. 1993. "Solución integral del problema ambiental generado por los licores ácidos provenientes del decapado de hierro". Memorias del V Seminario Regional de Ciencias Ambientales. Cuernavaca, Morelos, México. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 9:1-15.
- Gutiérrez-Ruiz, Ch. Siebe y I. Sommer. 1995. "Effects of Land Applications of Waste Water from Mexico City on Soil Fertility and Heavy Metal Accumulation: a Bibliographical Review". *Environ. Rev.* 3: 313-330.
- INEGI. 1994. *Estadísticas del medio ambiente*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Aguascalientes, México.

- Lavelle, P., M. Dangerfield, C. Fregoso, V. Eschenbrenner, D. López-Hernández, B. Pashanasi y L. Brussaard. 1994. "The Relationship between Soil Macrofauna and Tropical Soil Fertility". En: P. Woomer y M. Swift. *The Biological Management of Soil Tropical Fertility*. John Wiley and Sons-Tropical Soil Biology and Fertility Programme. Reino Unido.
- Monreal, C.m, H. Dinel, M. Schnitzer, D.S. Gamble y V.O. Biederbeck. 1997. *Impact of Carbon Sequestration on Indicator of Soil Quality as Influenced by Management in Sustainable Agriculture*. *Advances in Soil Science*. En prensa.
- Parr, J.F., R.I. Papendic, S.B. Hornick y R.E. Meyer. 1992. "Soil Quality: Attributes and Relationship to Alternative and Sustainable Agriculture". *American Journal of Alternative Agriculture* 7:(1-2) 5-11.
- Siebe Ch, R. Jahn K. Stahr. 1996. *Manual para la descripción y evaluación ecológica de suelos en el campo*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.
- Vásquez, G. 1993. *Ecología y formación ambiental*. McGraw-Hill. México.
- Villalobos, M., D. Bejar Moscona, M. E. Gutiérrez - Ruiz, S. Cram - Heydrich y F. Moreno-Añorve. 1990. "Opciones para el tratamiento y la disposición de licores ácidos agotados provenientes del decapado de hierro". *Rev. Int. Contam. Ambient.* 6:33-54.
- Zinck, J.A. 1990. *Soil Survey Epistemology of a Vital Discipline*. International Institute for Aerospace Survey and Earth Science (ITC). The Netherlands.