

Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo

Mariana López Díaz y Héctor Estrada Medina

Departamento de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad Autónoma de Yucatán.
marianalopezdiaz@yahoo.com

Resumen

El suelo es un recurso finito, y los procesos naturales para su formación, desarrollo y restauración no ocurren a la misma velocidad a la que se degrada. La gran presión sobre los suelos que la humanidad ejerce para satisfacer sus necesidades de alimento ha promovido su uso intensivo que, junto con las malas prácticas de manejo (tales como la labranza intensiva, monocultivo, aplicación indiscriminada de agroquímicos, entre otros), han provocado deterioro y degradación edáfica. El problema de fondo es el escaso entendimiento del ser humano sobre el suelo y sus propiedades. En el presente artículo se definen y describen las principales propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, discutiendo su importancia y los valores típicos de los suelos agrícolas. Al final, se hace una reflexión sobre la importancia de monitorear las propiedades del suelo y su manejo dirigido para evitar su degradación.

Introducción

El suelo es un sistema dinámico que consta de tres fases (sólida, líquida y gaseosa) cuyas propiedades físicas, químicas y biológicas interactúan entre sí para mantener un equilibrio adecuado para el desarrollo de las plantas y su entorno (Tamhane *et al.* 1986). Aún cuando las propiedades del suelo pueden estudiarse de manera aislada, todas ellas están relacionadas entre sí. Así, por ejemplo, las condiciones para el anclaje y la penetración de raíces que proporciona el suelo a la planta, tienen que ver con el espacio poroso, y éste a su vez determina otras propiedades como el drenaje y la aireación. De esta manera, la degradación de una sola propiedad del suelo puede afectar a otras más, y esto a su vez conlleva a una degradación del suelo que al final se revierte en afectaciones a los rendimientos de los cul-

tivos. Dada la importancia del suelo, en este trabajo se definen y describen sus principales propiedades físicas, químicas y biológicas, discutiendo su importancia y los valores típicos que se presentan en los suelos agrícolas. Además, se realiza una reflexión sobre la importancia de monitorear las propiedades del suelo y manejarlo adecuadamente para evitar su degradación.

Propiedades físicas

Son aquellas que pueden observarse y/o medirse sin alterar químicamente la composición del suelo y están relacionadas con el movimiento del aire, calor, agua, raíces y nutrientes; entre ellas se encuentran la profundidad, textura, estructura, densidad aparente, densidad real, porosidad, color y temperatura.

La profundidad es una propiedad de la cual se puede inferir el volumen de suelo que las

raíces de las plantas tienen para anclarse y para obtener agua y nutrientes y está limitada por la presencia de roca continua dura (South Africa Department of Agriculture 2007; Parker 2010). Los suelos someros (< 25 cm) se consideran poco aptos para la agricultura.

La textura se refiere a la distribución proporcional de las partículas individuales del suelo (arenas, limos y arcillas) (Tamhane *et al.* 1986; Huerta 2010) para su mejor estudio

y comprende las arenas (0.05–2 mm), limos (0.002-0.05 mm) y arcillas (< 0.002 mm) (Tabla 1). Un suelo con mayor cantidad de arenas es un suelo de textura gruesa o suelo grueso, mientras que uno con mayor cantidad de arcillas es un suelo de textura fina o un suelo fino. El suelo ideal es aquel que tiene una textura franca; esto es un contenido alrededor de 40% de arenas, 40% de limos y 20% de arcillas.

Tabla 1. Algunas propiedades de los diferentes tamaños de partículas del suelo.

Partículas Tamaño *	Arena (0.05 a 2 mm)	Limo (0.002 a 0.05 mm)	Arcilla (< 0.002 mm)
Propiedad del suelo			
Aireación	Excelente	Buena	Pobre
Erosión eólica	Media	Alta	Baja
Erosión hídrica	Baja	Alta	Baja**, Alta***
Permeabilidad	Alta	Media	Baja
Temperatura	Alta	Media	Baja
Laboreo	Fácil	Medio	Difícil
Retención de agua	Baja	Media	Alta
Área de superficie	Bajo	Medio	Alto
Nutrientes	Pobre	Medio	Alto
compactación	Baja	Media	Alta
Escorrentía	Baja	Media	Alta

*= El tamaño de partículas está de acuerdo a la clasificación del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA). ** Con agregación, ***, Sin agregación. En el sistema internacional los tamaños de partícula son: 0.02 a 2 mm, 0.02 a 0.002 y <0.002 para arenas, limos y arcillas respectivamente. Elaboración propia con información de: Brady y Weil (2008) y Hazelton y Murphy (2007).

La estructura del suelo es la forma en que las arenas, limos y arcillas se asocian para formar agregados o terrones (León 2000). Esta propiedad afecta directamente la aireación, el movimiento del agua en el suelo, el crecimiento radicular y la resistencia a la erosión. Los agregados pueden ser de varias formas (granos, bloques, prismáticos, columnares o laminares) y tamaños, así como diferente grado de estabilidad. Agregados estables entre 2 y 5 mm están asociados con una mejor calidad del suelo (USDA 2008).

La densidad del suelo se refiere al peso por volumen de suelo y está relacionada con la porosidad. Existen dos tipos de densidad denominadas aparente y real, ambas se expresan en g/cm^3 . La densidad aparente se define como la cantidad de masa de sólido que existe por unidad de volumen total de suelo (Hazelton y Murphy 2007; Flores y Alcalá 2010); es

decir, se toma en cuenta el volumen que ocupan los sólidos y los poros. Suele utilizarse para estimar compactación, porosidad total, micro y macro porosidad y humedad a saturación; su valores limitantes para el crecimiento de las planta están influenciados por la textura del suelo (Tabla 2).

La densidad real es la masa de los sólidos por unidad de volumen (Osman 2013); es decir, sin tomar en cuenta el volumen que ocupan los poros. La densidad real de un suelo es un indicador de la composición mineralógica del suelo así como del contenido de material orgánico.

A mayor contenido de materia orgánica en el suelo menor densidad real. Cuando el suelo no posee cantidades significativas de material orgánico, normalmente los valores de densidad real son similares al del mineral más abundante en el suelo (Tabla 3).

Tabla 2. Relación general entre densidad aparente del suelo y el crecimiento radicular, en base a la textura del suelo.

Textura del Suelo	Densidades aparentes Ideales (g/cm^3)	Densidades aparentes que pueden afectar el crecimiento radicular (g/cm^3)	Densidades aparentes que restringen el crecimiento radicular (g/cm^3)
Arenosa, franco arenosa	<1.60	1.69	>1.80
Franco-arcillo-arenosa, Franco, franco-arcillosa	<1.40	1.60	>1.75
Limosa, franco-limosa	<1.30	1.60	>1.75
Franco-limosa, Franco-arcillo-limosa	<1.40	1.55	>1.65
Arcillo-arenosa, arcillo-limosa	<1.10	1.39	>1.58
Arcillosa	<1.10	1.39	>1.47

Fuente: USDA, 1999

Tabla 3. Valores de densidad real relacionada con el mineral más abundante en el suelo

Densidad real (g/cm ³)	Mineral
4.9 – 5.2	Magnetita (Fe ₃ O ₄)
3.4 – 4.0	(FeO(OH) _n H ₂ O)
4.9 – 5.3	Hematita
2.4 – 4.3	Hidróxidos de Fe y Al
2.0 – 2.7	Silicatos arcillosos
3.73	Hidróxido férrico (Fe(OH) ₃)
2.65	Cuarzo
2.50	Caolinita
2.50	Montmorillonita
1.37	Humus
2.71	Calcita

Fuente: Osman, 2013

Espacio poroso: El espacio poroso o porosidad del suelo se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos y puede conocerse mediante la densidad aparente y la densidad real; mediante la ecuación:

$$\text{porosidad} = \left[1 - \left(\frac{\text{Densidad aparente}}{\text{Densidad real}} \right) \right] \times 100$$

Dentro del espacio poroso se pueden distinguir dos tipos de poros, macroporos (> 250 μm) y microporos (< 250 μm) donde el agua, los nutrientes, el aire y los gases pueden circular o retenerse. Los macroporos no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, por tanto son responsables del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se desarrollan las raíces; los microporos en cambio, retienen agua parte de la cual es disponible para las plantas (FAO 2015).

El color del suelo es una característica que se detecta fácilmente y constituye un criterio para la clasificación y descripción de los suelos. Esta propiedad se relaciona con la tem-

peratura, humedad, cantidad de materia orgánica y en algunos casos como indicador de fertilidad (León 2000). Los suelos oscuros se calientan más que los suelos claros y normalmente están asociados con mayor contenido de materia orgánica y menor retención de humedad. El hierro, en sus diferentes estados de oxidación, es el principal elemento que determina el color de los suelos (Parker 2010).

La temperatura del suelo influye en el desarrollo de las plantas, así como en las actividades químicas y biológicas que ocurren en el mismo, además regula en cierto grado el movimiento del aire en el suelo (Tamhane *et al.* 1986). La temperatura del suelo depende fundamentalmente del calor que absorbe con relación a las pérdidas a través de la radiación y la evapotranspiración de la humedad del suelo. La cantidad de calor que entra en el suelo depende del clima, el color del suelo, la altitud, el aspecto de la tierra y la cantidad de vegetación presente. La cobertura del suelo (viva, muerta o artificial) y el contenido de agua (McInnes 2002) ayudan a regular la temperatura del suelo.

Propiedades químicas

Son aquellas que pueden observarse y/o medirse a partir de cambios químicos que ocurren en el suelo. Estas propiedades describen el comportamiento de los elementos, sustancias y componentes que integran el suelo (Tamhane *et al.* 1986); entre ellas están el pH, Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE), el contenido de materia orgánica (MO) y de elementos (nutritivos o tóxicos).

El pH determina el grado de absorción de iones H^+ por las partículas del suelo e indica si el suelo es alcalino o ácido. Esta propiedad química es el indicador principal en la disponibilidad, movilidad, solubilidad y absorción de nutrientes para las plantas (FAO, 2015). El valor del pH en el suelo oscila entre 3.5 (muy ácido) a 9.5 (muy alcalino). La actividad de los organismos del suelo es inhibida en suelos muy ácidos; para los cultivos agrícolas, el valor del pH ideal se encuentra en 6.5.

La CIC se expresa como la cantidad de cargas negativas presentes en la superficie de los minerales (arcillas e hidróxidos) y compo-

nentes orgánicos (materia orgánica) del suelo y representa la cantidad de cationes que la superficie total pueden retener (Ca^{++} , K^+ , Na^+ , etc.) (FAO, 2015). La CIC muestra la habilidad de los suelos para retener cationes y, por lo tanto, la disponibilidad y cantidad potencial de nutrientes para la planta. La unidad de medición de CIC es en centimoles de carga por kg de suelo (cmol/kg) o miliequivalentes de carga por 100 g de suelo (meq/100g de suelo). Un valor de CIC adecuado está entre 15 y 25 cmol/kg o meq/100g de suelo). Los suelos arenosos y/o pobres en materia orgánica suelen tener baja CIC.

La CE, es la capacidad de la solución acuosa del suelo para transportar corriente eléctrica y es directamente proporcional al contenido de sales disueltas o ionizadas contenidas en la solución (USDA 1999; Doerge *et al.* 2015). Generalmente la CE se expresa en unidades de miliSiemens por metro (mS/m). En algunas ocasiones, se reporta en unidades de deciSiemens por metro (dS/m), que equivalen al valor de mS/m dividido por 100. Esta propiedad, puede servir como un indicador de la salinidad del suelo (Tabla 4).

Conductividad Eléctrica (dS/m a 25°C)	Clase de salinidad
0 – 0.98	No salino
0.98 – 1.71	Muy ligeramente salino
1.71 – 3.16	Ligeramente salino
3.16 – 6.07	Moderadamente salino
>6.07	Fuertemente salino

Tabla 4. Mediciones de conductividad eléctrica y clases de salinidad para una suspensión de suelo: agua de 1:1

La materia orgánica (MO) del suelo procede de los residuos vegetales y animales, ya sea en forma de sus desechos durante su ciclo de vida o sus tejidos después de muertos. La MO se encuentra en diferentes grados de descomposición y se distinguen dos fracciones: lábil y recalcitrante (FAO 2015). La fracción lábil resulta más rápida de digerir para los microorganismos, y por lo tanto tiene un plazo de permanencia más corto en el suelo. La fracción recalcitrante o humus, en cambio, es más estable ya que está compuesta de compuestos químicos complejos (ácidos húmicos, fúlvicos y huminas); por lo que su permanencia en el suelo es por un periodo más largo que el de la fracción lábil. Algunos procesos donde interviene el humus son: regulación del pH, disminución de la lixiviación de nutrientes, aumento en la retención del agua, entre otros (Hazelton y Murphy 2007). La MO de un suelo se calcula a partir del contenido de carbono orgánico de la muestra multiplicada por 1.724, que es un factor que se obtiene de considerar que en promedio la MO contiene un 58% de carbono (Vela *et al.* 2012, Hazelton y Murphy 2007). El nivel de MO en suelos agrícolas es por lo general menor a 2%.

Los nutrientes en el suelo son sustancias químicas que permiten a las plantas su desarrollo y crecimiento. Cuando estos nutrientes no son suficientes propician que la planta no se desarrolle debidamente, que se vuelva propensa a enfermedades o ataques de insectos (Hall 2008). Las plantas necesitan elementos minerales que se clasifican en macro (N, P, K, S, Mg y Ca) y micronutrientes (Zn, Fe, Mn, Cl, Cu, B y Mo) los primeros se requieren en grandes cantidades y los últimos en muy pequeñas cantidades (Hall 2008, Jhonson 2009). Algunos de estos elementos se vuelven tóxicos cuando sobrepasan cierta concentración, por ejemplo en el caso del Cu la mayoría de los cultivos requieren entre 4 a 6 $\mu\text{g/g}$, presentándose síntomas de toxicidad alrededor de 20 $\mu\text{g/g}$ en especies con baja tolerancia (Parker 2006). Otros elementos como

el aluminio no son nutrientes pero pueden ser tóxicos o promover que otros elementos (e.g. Ca y P) no estén disponibles para la planta (Brady y Weil 2002).

Propiedades biológicas

Las propiedades biológicas del suelo están relacionadas con la materia orgánica y con los organismos que viven en él, como las raíces de las plantas, lombrices, insectos, nematodos, hongos, bacterias, etc. (Hall 2008, FAO 2015) Las actividades de estos organismos están relacionados con el movimiento de agua y minerales, y son fundamentales en la descomposición de la MO, en el ciclo de los nutrientes, en la síntesis de sustancias húmicas y en la fijación de N (Jhonson 2009, Tamhane *et al.* 1986).

La fijación biológica de nitrógeno (N) es la conversión enzimática de N_2 gaseoso a amonio. Esto es una característica que no se ha encontrado en eucariontes, por lo que se cree que es exclusiva de procariontes, principalmente en el grupo de las bacterias (Young 1992, Paredes 2013). Los principales grupos de microorganismos fijadores de N son: *Frankia*, *Rhizobium*, *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Azolla* y las Cianobacterias (Kumar y Rao 2012); de ellos, la asociación *Rhizobium*-leguminosa es de las más importantes; contribuye entre un 1/3 y un 1/2 del N total fijado de la atmósfera y se basa en el intercambio de carbono (C) por N entre ambos simbioses, ya que para las plantas el nutriente más limitante es el N (Martínez 2001).

Se considera a los organismos que viven en el suelo como determinantes en la circulación de los nutrientes y el C en el suelo. La MO que se deposita en la superficie del suelo o en el área radicular es consumida rápidamente por los organismos del suelo, creando una reserva de carbono que puede ser renovada a corto plazo, entre 1 a 3 años; uno de los subproductos microbianos, de este consumo, es el humus; el cual está compuesto por sustancias

difíciles de degradar resultando lenta su des-composición constituyéndolo como una reserva más estable de C en el suelo (FAO 2015).

Las micorrizas se refieren a una asociación o simbiosis entre plantas y hongos donde la planta provee de C y éstos incrementan la asimilación de nutrientes (especialmente fósforo) y la tolerancia a la sequía de las plantas (Jhonson 2009). Las micorrizas producen una glicoproteína llamada glomalina que promueve la formación de los agregados del suelo (Wright y Upadhyaya 1998). El 80% de las especies de angiospermas y la mayoría de las gimnospermas están micorrizadas (Dickie 2002).

La biomasa microbiana es una medida de la cantidad de biomasa viva microbiana presente en el suelo y un tiempo particular, y se utiliza a menudo como un indicador temprano de los cambios en las propiedades del suelo que resultan del manejo y estrés ambiental en los ecosistemas agrícolas (Baaru *et al.* 2007, Voroney *et al.* 2007)

Reflexión final

La presión antropogénica hacia los suelos para la producción de alimentos es cada vez mayor. La eliminación de la cobertura vegetal, seguida del laboreo excesivo y la utilización de agroquímicos de manera indiscriminada, afectan las propiedades del suelo. Cuando una propiedad del suelo es afectada irremediablemente se afectan en consecuencia las demás, pues todas ellas están directa o indirectamente relacionadas. Lo anterior repercute en el rendimiento de los cultivos, disminuye el potencial agrícola del suelo y, finalmente, termina por provocar desertificación. Es por esto que se recomienda, en la medida de lo posible, utilizar prácticas agroecológicas tales como el reciclaje de los residuos de los cultivos y animales, labranza mínima, uso de abonos verdes y de cobertera, diversificación temporal y espacial, entre otras. Al mismo

tiempo, es necesario realizar el monitoreo de las propiedades del suelo para prevenir su degradación y así realizar una producción sostenible.

Referencias

- Allen FM. 1991. The ecology of mycorrhizae. Cambridge University Press. NY, USA. 184pp.
- Baaru MW, Mungendi DN, Bationo A, Verchot L y Waceke W. 2007. Soil microbial biomass carbon and nitrogen influenced by organic and inorganics inputs at Kabete, Kenya. En: A Bationo (eds.) Advances in Integrated Soil Fertility Management in Sub-Saharan Africa: Challenges and Opportunities. pp. 827-822. Fecha de consulta 20/04/2015 en: http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-1-4020-5760-1_78#page-2
- Brady NC y Weil RR. 2008. The nature and properties of soils. Fourteenth edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Brady NC y Weil RR. 2002. The nature and properties of soils. Thirteenth edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Doerge T, Kitchen NR y Lund ED. 2015. Mapeo de Conductividad Eléctrica del suelo. Traducido y adaptado para Colombia por Alberto Lobo-Guerrero Sanz, LOGEMIN S.A. Fecha de consulta: 16/04/2015 en: http://www.logemin.com/eng/Download/pdf/39_mapeo_conductividad_electrica.pdf
- Dickie IA. 2002. Mycorrhiza of Forest Ecosystems. En: Encyclopedia of Soil Science, Rattan L. (ed.) Marcel Dekker, New York. pp. 1111-1113
- FAO. 2015. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Propiedades del suelo. Fecha de consulta: 08/04/2015 en: www.fao.org/soils-portal

- Flores DL y Alcalá MJ R. 2010. Manual de procedimientos analíticos. Laboratorio de Física de suelos. Instituto de Geología. Departamento de Edafología. UNAM. Fecha de consulta: 16/04/2015 en: <http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/manualLFS.pdf>
- Hall RE. 2008. Soil essentials: managing your farm's primary asset. CSIRO PUBLISHING. Collingwood, Australia. 192 pp.
- Hazelton P. y Murphy B. 2007. Interpreting soil test results: what do all the numbers mean? 2nd ed. CSIRO PUBLISHING. NSW Government, Department of Natural Resources, University of Technology Sydney. Australia. 160 pp.
- Huerta CHE. 2010. Determinación de propiedades físicas y químicas de suelos con mercurio en la región de San Joaquín, Querétaro y su relación en el crecimiento bacteriano. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Juriquilla, México. Fecha de consulta 09/04/2015. en: <http://www.geociencias.unam.mx/~bole/eboletin/tesis/Hilda1101.pdf>
- Jhonson C. 2009. Biology of Soil Science. Oxford Book Company, Jaipur, India. 308 pp.
- Kumar SRS y Rao KVB. 2012. Biological nitrogen fixation: A Review. International Journal of Advanced Life Sciences. Vol. (1):1-6. Fecha de consulta 14/04/2015 en: https://www.academia.edu/2230130/Biological_Nitrogen_Fixation_A_Review
- León MCE. 2000. Propiedades de los suelos. CORPOICA (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria). Programa Nacional de Transferencia de Tecnología Agropecuaria. Bucaramanga, Colombia. Fecha de consulta 09/04/2015 en: www.agronet.gov.co/www/docs_si2/200671995247_Propiedades%20de%20los%20suelos.pdf
- Martínez RE. 2001. Poblaciones de Rhizobia nativas de México. Acta Zoológica Mexicana (nueva serie) [en línea]. Fecha de consulta 17/04/2015 en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57500003>> ISSN 0065-1737
- McInnes K. 2002. Temperature measurement. En: Encyclopedia of Soil Science, Rattan L. (ed.). Marcel Dekker, New York. pp. 1742-1744
- Osman KT. 2013. Soils: principles, properties and management. Dordrecht: Springer. 274 pp.
- Paredes MC. 2013. Fijación biológica de nitrógeno en leguminosas y gramíneas. Trabajo Final de Ingeniería en Producción Agropecuaria. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Católica Argentina. Fecha de consulta 17/04/2015 en: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/tesis/fijacion-biologica-nitrogeno-leguminosas.pdf>
- Parker RO. 2010. Plant and soil science: Fundamentals and applications. Clifton park, Delmar Cengage Learning, NY. 480 pp.
- Parker RD. 2006. Cooper. En: Encyclopedia of Soil science. 2nd edition. Rattan L (ed.) Marcel Dekker, New York. NY. pp. 345-347
- South Africa Department of Agriculture. 2007. Soil potential. Directorate Agricultural Information Services. South Africa. 7 pp.
- Tamhane RV, Motiramani DP, YP Bali y Donahue RL. 1986. Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales. Editorial Diana Técnico. México D.F. 483 pp.
- United States Department of Agriculture (USDA). 1999. Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. USA. 88pp.
- USDA. 2008. Aggregate Stability. Soil Quality Indicators. Fecha de consulta 14/04/2015 en: http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053287.pdf
- Vela CG, López BJ, Rodríguez GML. 2012 Niveles de carbono orgánico total en el Suelo de Conservación del Distrito Feder

al, centro de México. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía, 77:(18-30) UNAM. México. Fecha de consulta 14/04/2015. en:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112012000100003&lng=es&nrm=iso

Voroney RP, Brooker PC y Beyaert RP. 2007. Soil Microbial Biomass C, N, P and S. Soil sampling and Methods of Analysis. En: MR Carter (ed.) Canadian Society of Soil Science. Lewis Publishers. pp. 637-652.

Wright, SF y Upadhyaya AA Survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of Arbuscular mycorrhizal fungi. Plant and Soil 1998, 198 (1):97-107.

Young, JPW. 1992. Phylogenetic classification of nitrogen-fixing organisms. En: Stacey Burns y Evans (eds.) Biological Nitrogen Fixation. Chapman & Hall. New York, EUA. pp. 43-86

