

EL RECURSO SUELO: UN ANÁLISIS DE SUS FUNCIONES, CAPACIDAD DE USO E INDICADORES DE CALIDAD

SOIL RESOURCE: AN ANALYSIS OF ITS FUNCTIONS, USABILITY AND QUALITY INDICATORS

Juan Manuel Trujillo-González¹

Juan David Mahecha Pulido²

Marco Aurelio Torres-Mora³

¹ Msc. Ciencias Ambientales, Estudiante de Doctorado en Ciencias Agrarias,

² Ing. Agrónomo, Estudiante de Maestría en Gestión Ambiental Sostenible,

³ Ph.D. Tecnología energética y ambiental para el desarrollo

¹²³ Grupo de Investigación en Gestión Ambiental Sostenible -GIGAS, Instituto de Ciencias Ambientales de la Orinoquia Colombiana -ICAOC, Facultad de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad de los Llanos, Campus Barcelona Villavicencio, Colombia.

¹ jtrujillo@unillanos.edu.co

² juan.mahecha@unillanos.edu.co

³ marcotororres@unillanos.edu.co

Resumen

Históricamente el suelo fue relacionado principalmente con la agricultura, lo que permitió cambios significativos en la producción de alimentos, además fue considerado con capacidad ilimitada para asimilar contaminantes sin causar efectos nocivos inmediatos sobre el ambiente. Sin embargo, en los últimos años se vienen replanteando los enfoques de estudio en busca de demostrar la importancia del suelo a través de reconocer sus funciones y los servicios del ecosistema. En este sentido, el propósito de este estudio fue analizar aspectos de las funciones del suelo, su capacidad de uso y los indicadores para evaluar su calidad, y con esto generar una línea base conceptual

que permita tener claridad para la formulación de acciones que conlleven a la sostenibilidad de este recurso.

Palabras clave: Degradación; funciones del suelo; índice de calidad de suelo; servicios ecosistémicos.

Abstract

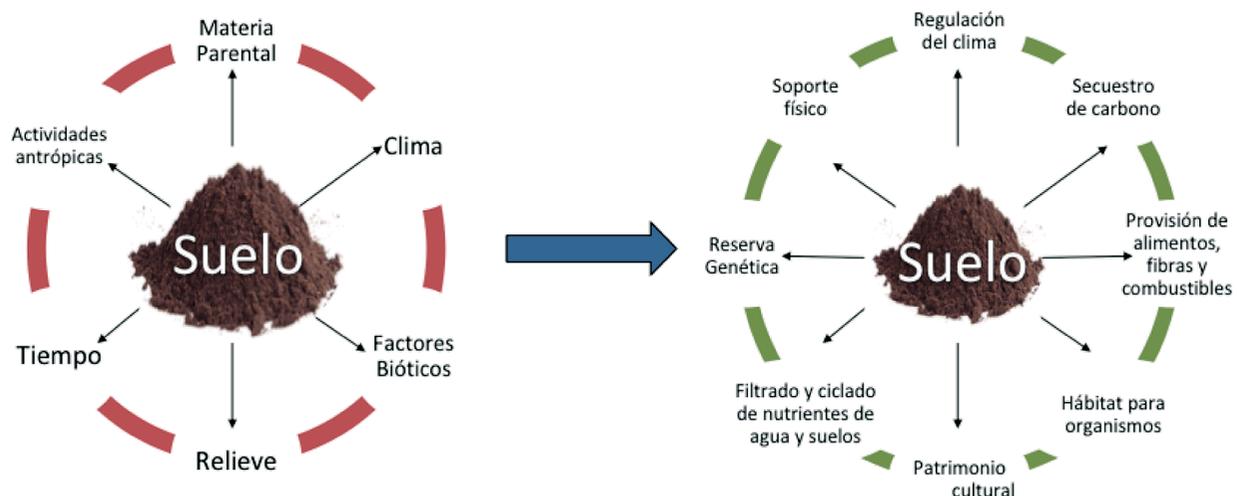
Historically, the soil was mainly related to agriculture, which allowed significant changes in food production, it was also considered with unlimited capacity to assimilate pollutants without causing immediate harmful effects on the environment. However, in recent years,

study approaches have been rethinking to demonstrate the importance of soil through recognizing its functions and ecosystem services. Hence, the purpose of this study was to analyse aspects of soil functions, the use capacity and indicators to assess quality, and

as a result generate a conceptual baseline that allows the formulation of clear actions that entail the sustainability of this resource.

Keywords: Ecosystem services; degradation; soil functions; soil quality index.

Resumen gráfico



Introducción

La ciencia del suelo es una ciencia holística, donde concurren la biología, la química, la geología, la física y otras disciplinas aplicadas como las ingenierías de la producción, que procuran enfrentar los desafíos del mundo moderno en la gestión de ese recurso (Bridges & Catizzone, 1996; Churchman, 2010; Brevik *et al.*, 2015). En la literatura se encuentran múltiples definiciones sobre qué es *suelo*, algunas sencillas como *es que la capa superficial de la tierra que sirve para el crecimiento de las plantas* (CEC, 2006), hasta otras de mayor complejidad que lo definen como *un sistema dinámico multifuncional resultado de las interacciones de factores bióticos y abióticos sobre un material parental con la capacidad de ofertar bienes y servicios* (Bouma *et al.*, 2012).

Históricamente, la ciencia del suelo se ha relacionado con la agricultura, lo que ha permitido

cambios significativos en el aumento y eficiencia de la producción de alimentos (Hartemink & McBratney, 2008). Al mismo tiempo, el suelo se consideraba con capacidad ilimitada para asimilar contaminantes sin causar efectos nocivos inmediatos sobre el ambiente (Gutiérrez *et al.*, 2016). Sin embargo, a mediados de la década de los 80s, el estudio de los suelos se enfocó en temas como el cambio climático, regulación de los recursos naturales y en servicios ecosistémicos (Tinker, 1985; Bridges & Catizzone, 1996), demostrando así la función fundamental del suelo frente a las problemáticas ambientales actuales (Herrick, 2000), aunque los suelos nunca han sido el foco específico de un acuerdo ambiental multilateral, (Keesstra *et al.*, 2016). En función a esto Keesstra *et al.* (2016), plantearon que una manera de demostrar la importancia de la ciencia del suelo debe ser a través del reconocimiento de sus funciones y los

servicios que este recurso desempeña dentro de los ecosistemas y agroecosistemas, especialmente los relacionados con la seguridad alimentaria, la escasez de agua, el cambio climático, la pérdida de biodiversidad y la amenazas para la salud, que bien administrados podrán contribuir para el cumplimiento de algunos objetivos del Desarrollo Sostenible.

Actualmente existe una clara competencia por el recurso suelo, donde su principal uso está enfocado en la producción de energía (agrocombustibles), alimentación humana (mayor demanda) y alimentación animal, lo que deja en riesgo aspectos fundamentales, tales como: protección de la biodiversidad, servicios ecosistémicos, seguridad energética, seguridad hídrica y la mitigación del cambio climático, actuales desafíos de la humanidad (Hartemink & McBratney, 2008; McBratney *et al.*, 2014). En respuesta a este panorama, en los últimos años se ha visto un aumento de acciones que redundan en la protección del recurso, especialmente enfocada en la generación de lineamientos normativos legales (Bone *et al.*, 2010). En Colombia, en el año 2016 se adopta la Política para la Gestión Sostenible del Suelo (MADS, 2016).

Por lo tanto, este artículo tiene como objetivo analizar las funciones, capacidad de uso e indicadores de calidad del recurso suelo, que proporcionen elementos conceptuales para la formulación de acciones que contribuyan en la gestión del suelo sostenible.

Recuperación bibliográfica

Funciones del suelo

Las funciones del suelo son consideradas como aquellas capacidades que tienen los suelos relacionadas con la agricultura, el ambiente, la protección de la naturaleza y la arquitectura del paisaje, que en detalle son: producción de biomasa y alimentos, ciclado de nutrientes, regulación hídrica, interacciones ambientales (almacenamiento, filtrado y transformación) hábitat biológico, reserva genética, fuente de materias primas, patrimonio físico y cultural, y plataforma de estructuras antrópicas (edificaciones y vías). Las propuestas sobre cuáles son las principales funciones del suelo han incorporado distintos aspectos en el transcurrir de los años (Tabla 1).

Tabla 1. Funciones asociadas al recurso suelo según algunos autores

Funciones	Referencia
<ul style="list-style-type: none"> • Proporcionar un medio para el crecimiento vegetal y la actividad biológica. • Regular el flujo y almacenamiento de agua en el medio. • Servir como un filtro y tampón ambiental para la inmovilización y degradación de compuestos peligrosos que puedan contaminar el agua. 	Larson & Pierce (1991)
<ul style="list-style-type: none"> • Sustener la productividad de las plantas y de los animales. • Mantener o mejorar la calidad del agua y del aire. • Apoyar la salud y la vida humana. 	Doran & Parkin (1994)
<ul style="list-style-type: none"> • Retención y suministro de agua. • Resistencia al estrés y perturbaciones. • Crecimiento de las plantas. 	Karlen <i>et al.</i> (1997)
<ul style="list-style-type: none"> • Relacionadas con: nutrientes, agua, sustancias tóxicas, patógenos, enraizamiento, estética del paisaje y con la estabilidad física. 	Harris <i>et al.</i> (1996)

Funciones	Referencia
<ul style="list-style-type: none"> • Regular el ciclo hidrológico • Eliminar desechos y materia orgánica muerta. • Soporte físico. • Retener y entregar nutrientes. • Renovación de la fertilidad del suelo. • Regular el ciclo de nutrientes. 	Daily (1997)
<ul style="list-style-type: none"> • Proporcionar soporte a las estructuras socioeconómicas. • Proteger los tesoros arqueológicos asociados a la habitación humana. • El flujo de agua y solutos. • Filtrado y regulador de contaminantes. • Ciclado de nutrientes. 	Seybold et al. (1997)

Fuente: Los Autores

Estos autores tienen puntos de encuentro en aspectos sobre la importancia del suelo para el ciclado de los nutrientes, la regulación hídrica y como filtro de contaminantes, factores que han conducido a que, en los últimos años el suelo se reconozca como factor clave para la producción de cultivos, la purificación del agua y de la atmósfera (Duval *et al.*, 2013; Mahecha-Pulido *et al.*, 2015). En definitiva, estas funciones de manera singular o integrada deben responder a las necesidades actuales de la sociedad (McBratney *et al.*, 2014). Lo anterior muestra la necesidad que el suelo conserve una "calidad" adecuada que permita además ofertar servicios ecosistémicos, considerados como los beneficios que obtiene la sociedad, como: la provisión de alimentos, agua, madera y fibras; la regulación del clima, las inundaciones, la enfermedad, los residuos y la calidad del agua; los servicios culturales con fines recreativos, estéticos y espirituales; beneficios y servicios de apoyo, tales como el ciclo de nutrientes (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). A nivel global se ha evidenciado la disminución de las funciones del suelo, debido a los usos insostenibles en las prácticas agrícolas, forestales y urbanísticas, que han ocasionado pérdida de materia orgánica, salinización/alcalinización, compactación,

perdida de estructura y contaminación, lo cual puede afectar directamente la oferta de estos de bienes y servicios (Blum, 2003; Lal, 2010; Zornoza *et al.*, 2015). En la Unión Europea se han identificado la erosión, la pérdida de la fertilidad, la salinidad, la acidificación, la disminución de carbono y la compactación como las principales amenazas de degradación del suelo (CEC, 2006), mientras que en Colombia, según el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM, los suelos presentan un 50% de degradación por erosión, 5% por salinización y el 24% susceptibles a la desertificación, al igual que se evidencian procesos de compactación, disminución de la fertilidad, sedimentación y contaminación (IDEAM, 2016).

Discusión de los hallazgos

Actualmente existe una tendencia a promover la conservación y el uso sostenible de los suelos. En este sentido, la capacidad de uso es una herramienta que permite clasificar los suelos a partir de sus atributos (Rossiter, 1996) y está definida tanto por aspectos que van desde lo cualitativo hasta lo cuantitativo. El clima, el relieve y el suelo son los aspectos naturales que determinan la capacidad de uso del recurso. En el clima intervienen la temperatura y la

lluvia (volumen y distribución en el año); en el relieve se introducen dos variables con la altitud, la cual se dinamiza con los patrones climáticos y las pendientes asociadas con la erodabilidad y la humedad; y finalmente el suelo que, de acuerdo con lo planteado por Jenny en 1941, es resultado de la interacción entre el clima, organismos, relieve, material parental y el tiempo (Jenny, 1994). Ahora bien, el factor antrópico también llega a definir la capacidad de uso del suelo debido a que modifica aspectos del paisaje en función de las actividades productivas y de la implementación de prácticas culturales.

Capacidad de uso y calidad de suelo

La definición de la calidad del suelo ha sido durante mucho tiempo una cuestión difícil, debido a que los suelos presentan una elevada heterogeneidad en sus propiedades, características y funciones, además, está directamente afectado por cómo se sobrepasa o no su capacidad de uso (Zornoza *et al.*, 2015). Este concepto ha evolucionado con el paso del tiempo y ha dejado de ser relacionado exclusivamente con la productividad agrícola (Bautista *et al.*, 2004), integrando otros aspectos como la sostenibilidad y la calidad ambiental (González, 2006; Jamioy, 2015), además de relacionarse con el uso dado (agrícola, forestal, urbano, industrial) (Gil-Sotres *et al.*, 2005; Duval *et al.*, 2013).

La sociedad debe asegurar que el suelo no se degrade y que se use de acuerdo con su capacidad para satisfacer las necesidades presentes y futuras. El uso inadecuado del suelo conduce, no solamente a la explotación ineficiente de los recursos naturales y al fenómeno de degradación, sino también a la pobreza y otros problemas sociales (Rossiter, 1996). La Organización para la Agricultura y la Alimentación de las Naciones Unidas (FAO), en la división de aguas y tierra (AGL), publicó el "*Marco*

para la Evaluación de la Tierra" (FAO, 1976), esquema que es el más utilizado en Colombia para definir tierras con fines agrícolas y forestales (Malagón-Castro, 1998).

Herrick (2000) indicó que se debe proponer un indicador de integración de la calidad ambiental que incluya la seguridad alimentaria y la viabilidad económica. Al respecto aún no existe un consenso, sin embargo, algunos autores se enfocan en que la calidad es aquel estado donde las condiciones naturales tienen influencia antrópica, mientras otros, están en la línea que es aquel estado donde el recurso mantiene una alta productividad y baja afectación al ambiente (Duval *et al.*, 2013), situaciones que, como estas, han llevado al surgimiento de múltiples definiciones. Sin embargo, la definición propuesta por Karlen *et al.* (1997) es la de mayor aceptación y menciona que "*la calidad es la capacidad de un tipo específico de suelo para funcionar, dentro de los límites naturales o de los agroecosistemas, para mantener la productividad de las plantas y de los animales, mantener o mejorar la calidad del agua y del aire y sostener la salud humana y el hábitat*". Por su lado, Doran *et al.* (1997) y Doran & Zeiss (2002) introdujeron el término de salud del suelo, y aunque no es clara la diferencia, éstos relacionan la calidad como la aptitud del suelo para cumplir una función específica, mientras que la salud, la refieren al estado general de este recurso en un tiempo particular. Para Brevik & Sauer (2015) la calidad del suelo se relaciona directamente con la calidad de los alimentos y de la salud humana.

Finalmente, algunos autores identifican dos aspectos claves para determinar la calidad del suelo; el primero asociado al tipo del suelo, los procesos pedogenéticos, los tipos de climas y el material parental; mientras que el segundo a la dinámica del suelo relacionada principalmente con las prácticas agrícolas. Ambos

aspectos se relacionan directamente con la calidad del suelo y pueden estimarse mediante indicadores biológicos, físicos y químicos (Doran, 2000; Alloway, 2013; Salome *et al.*, 2014).

Indicadores de calidad de suelo

El interés general por contar con una metodología para definir las prácticas de manejo que mitiguen la degradación ha aumentado en los últimos años (Zornoza *et al.*, 2015), donde el seguimiento de los cambios de las propiedades del suelo es esencial para evitar consecuencias no deseadas debido principalmente al cambio en el uso del suelo (Cherubin *et al.*, 2016).

La calidad de suelo no se puede medir directamente en el campo o en el laboratorio, sin embargo, puede inferirse indirectamente a través del uso indicadores (Zornoza *et al.*, 2015; Salome *et al.*, 2016) considerados como aquellas propiedades del suelo medibles que tienen mayor sensibilidad a los cambios en la función y los servicios ecosistémicos del suelo (Karlen *et al.*, 1997, Arshad & Martin 2002). Adicionalmente, mencionaron que los indicadores de calidad de suelo deben abarcar procesos ecosistémicos, integrar propiedades del suelo, ser accesible a múltiples usuarios y además deben ser sensibles a las prácticas culturales y al clima. Se pueden considerar una amplia gama de indicadores físicos, químicos y biológicos del suelo, sin embargo, debido a los altos costos, no es factible considerarlos todos (Cardoso *et al.*, 2013; Zornoza *et al.*, 2015).

De acuerdo con Burger & Kelting (1999), las propiedades físicas reflejan la limitación para el desarrollo de las raíces, emergencia de las plántulas, la infiltración, la retención de agua o el movimiento de la fauna; de estas las más evaluadas son la granulometría, la estabilidad estructural y la densidad aparente (Zornoza *et al.*, 2015).

Para el caso de la condición química, esta afecta las relaciones suelo-planta, la calidad del agua, la capacidad de amortiguación, la disponibilidad de nutrientes y de contaminantes, el carbono orgánico del suelo, este último considerado como uno de los indicadores de mayor importancia debido a que se relaciona con las demás propiedades. Asimismo, el pH, la conductividad eléctrica y los nutrientes indicadores de fertilidad agrícola son los de mayor aplicación (Brevik, 2010; Trujillo-González *et al.*, 2017).

Finalmente, los indicadores biológicos que desempeñan una función directa en los procesos de los ecosistemas, principalmente en el reciclaje de nutrientes y la agregación del suelo, son considerados los de mayor sensibilidad debido a que responden rápidamente a las perturbaciones y los cambios en el uso del suelo. Entre estos, los más empleados son el carbono y nitrógeno en biomasa microbiana, la actividad enzimática y los organismos como las lombrices y artrópodos, (Doran y Zeiss, 2000).

Aunque la mayoría de investigadores utiliza indicadores individuales para evaluar la calidad de los suelos, la tendencia debe encaminarse a combinarlos en expresiones donde se integren diferentes propiedades, a estas expresiones se les denomina índices de calidad de suelo (Karlen *et al.*, 2001). Algunos pueden ser simples tal como la relación carbono – nitrógeno (C/N) (Mataix- Solera *et al.*, 2009), pero emplear solo dos indicadores para crear un índice de calidad de suelo, puede que no proporcione la información suficiente sobre los procesos y el funcionamiento del suelo, por otro lado, el uso de algoritmos donde se integren distintos indicadores no ha sido generalizado, debido a que, el ideal es que sean formulados para condiciones y regiones específicas (Gil-Sotres *et al.*, 2005).

Conclusiones

La determinación de la calidad del suelo debe estar intrínsecamente relacionada con el uso del recurso, considerando que los requerimientos cambian si el uso es agrícola, forestal, urbano y/o industrial. Además, deben incluirse funciones como aumento de la productividad, propiedades fisicoquímicas y biológicas, la salud de las plantas, animales y seres humanos, entre otras. Para la generación de indicadores e índices de calidad de suelo se deben integrar propiedades físicas, químicas y biológicas, éstos deben formularse para las condiciones particulares de cada región, debido a que las condiciones edafoclimáticas varían de un lugar a otro, permitiendo que contribuya en la gestión integral del recurso.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Fondo Social de la Educación Superior de la Gobernación del Meta y al personal del Instituto de Ciencias Ambientales de la Orinoquia Colombiana-ICAOC (Universidad de los Llanos).

Literatura citada

- Alloway, Brian J. (2013) Heavy Metals in Soils, Trace Metals and Metalloids in Soils and their Bioavailability (3ra Ed.) United Kingdom.
- Arshad, M. A., Martin, S. (2002). Identifying critical limits for soil quality indicators in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88(2), 153-160. [http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00252-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00252-3)
- Bautista C., A.; Etcchevers, B.; Castillo, R.F. y Gutiérrez, C. (2004). La Calidad del suelo y sus indicadores. *Ecosistemas* 13 (2): pp. 90 - 97.
- Blum, W. E. (2003). European soil protection strategy. *Journal of Soils and Sediments*, 3(4), 242-242. <http://dx.doi.org/10.1007/BF02988670>
- Bone, J., Head, M., Barraclough, D., Archer, M., Scheib, C., Flight, D., & Voulvoulis, N. (2010). Soil quality assessment under emerging regulatory requirements. *Environment International*, 36(6), 609-622. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2010.04.010>
- Bouma. (2012). Hydropedology as a powerful tool for environmental policy and regulations; towards sustainable land use, management and planning. In: Lin, H. (Ed.), *Hydropedology: Synergistic Integration of Soil Science and Hydrology*. Academic Press, Elsevier B.V., pp. 483-512. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-386941-8.00015-0>
- Brevik, E. C. (2010). Soil health and productivity. *Soils, Plant Growth and Crop Production-Volume 1*, 106.
- Brevik, E. C., & Sauer, T. J. (2015). The past, present, and future of soils and human health studies. *Soil*, 1(1), 35.
- Brevik, E. C., Cerdà, A., Mataix-Solera, J., Pereg, L., Quinton, J. N., Six, J., & Van Oost, K. (2015). The interdisciplinary nature of SOIL. *Soil*, 1(1), 117.
- Bridges, E. M., & Catizzone, M. (1996). Soil science in a holistic framework: discussion of an improved integrated approach. *Geoderma*, 71(3), 275-287.
- Burger, J. A., & Kelting, D. L. (1999). Using soil quality indicators to assess forest stand management. *Forest Ecology and Management*, 122(1), 155-166.
- Cardoso, E.J.B.N., Vasconcellos, R.L.F., Bini, D., Miyauchi, M.Y.H., Santos, A.C., Alves, P.R.L.A., de Paula, A.M., Nakatani, A.S., Pereira, J.M. & Nogueira, M.A., (2013). Soil health: looking for suitable indicators. What should be considered to assess the effects of use and management on soil health? *Sci. Agric.* 70, 274-289.
- Cherubin, M. R., Karlen, D. L., Cerri, C. E., Franco, A. L., Tormena, C. A., Davies, C. A., & Cerri, C. C. (2016). Soil Quality Indexing Strategies for Evaluating Sugarcane Expansion in Brazil. *PloS one*, 11(3), e0150860.
- Churchman, G. J. (2010). The philosophical status of soil science. *Geoderma*, 157(3), 214-221.
- Commission of the European Communities (CEC). (2006). Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Thematic Strategy for Soil Protection.COM 231 Final, Brussels.
- Daily, G. (1997). *Nature's services: societal dependence on natural ecosystems*. Island Press.
- Doran, J. W. (2002). Soil health and global sustainability: translating science into practice. *Agriculture, ecosystems & environment*, 88(2), 119-127.

- Doran, J. W., & Zeiss, M. R. (2000). Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied Soil Ecology*, 15(1), 3-11.
- Doran, J. W., Safley, M., Pankhurst, C., Doube, B. M., & Gupta, V. V. S. R. (1997). Defining and assessing soil health and sustainable productivity. *Biological indicators of soil health.*, 1-28.
- Doran, J.W. and T.B. & Parkin. (1994). Defining and assessing soil quality. In J.W. Doran, D. C. Coleman, D.F. Bezdicek and B.A. Stewart, eds. *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. SSSA, Inc., Madison, Wisconsin, USA
- Duval, M. E., Galantini, J. A., Iglesias, J. O., Canelo, S., Martínez, J. M., & Wall, L. (2013). Analysis of organic fractions as indicators of soil quality under natural and cultivated systems. *Soil and Tillage Research*, 131, 11-19.
- FAO. (1976). A framework for land evaluation. *Soils Bulletin 32*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.
- Gil-Sotres, F., Trasar-Cepeda, C., Leirós, M. C., & Seoane, S. (2005). Different approaches to evaluating soil quality using biochemical properties. *Soil Biology and Biochemistry*, 37(5), 877-887
- González, V. (2006). Metodología, formulación y aplicación de un índice de calidad de suelos con fines agrícolas para castilla-la mancha, España. Tesis Doctoral. Universidad autónoma de Madrid.
- Greenland, D. J. (1991). The contributions of soil science to society-past, present, and future. *Soil Science*, 151(1), 19-23.
- Gutiérrez, C., Fernández, C., Escuer, M., Campos-Herrera, R., Rodríguez, M. E. B., Carbonell, G., & Martín, J. A. R. (2016). Effect of soil properties, heavy metals and emerging contaminants in the soil nematodes diversity. *Environmental Pollution*, 213, 184-194.
- Harris, R. F., Karlen, D. L., Mulla, D. J., Doran, J. W., & Jones, A. J. (1996). A conceptual framework for assessment and management of soil quality and health. *Methods for assessing soil quality.*, 61-82.
- Hartemink, A. E., & McBratney, A. (2008). A soil science renaissance. *Geoderma*, 148(2), 123-129.
- Herrick, J. E. 2000. Soil quality: an indicator of sustainable land management?. *Applied Soil Ecology*, 15(1), 75-83.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales –IDEAM. (2016). Monitoreo y seguimiento del estado de la calidad de los suelos. Recuperado de: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/monitoreo-seguimiento-estado-calidad-suelos> Consultado en Marzo 2016.
- Jamioy-Orozco, D., Menjivar Flores, J. C., & Rubiano Sanabria, Y. (2015). Chemical soil quality indicators in productive systems of Colombian Piedmont Eastern Plains. *Acta Agronómica*, 64(4), 302-307.
- Jenny, H. (1994). *Factors of soil formation: a system of quantitative pedology*. Courier Corporation.
- Karlen, D. L., Andrews, S. S., & Doran, J. W. (2001). Soil quality: current concepts and applications. *Advances in agronomy*, 74, 1-40.
- Karlen, D. L., Mausbach, M. J., Doran, J. W., Cline, R. G., Harris, R. F., & Schuman, G. E. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Science Society of America Journal*, 61(1), 4-10.
- Keesstra, S. D., Quinton, J. N., van der Putten, W. H., Bardgett, R. D., & Fresco, L. O. (2016). The significance of soils and soil science towards realization of the United Nations Sustainable Development Goals. *Soil*, 2(2), 111.
- Lal, R. 2010. Managing soils and ecosystems for mitigating anthropogenic carbon emissions and advancing global food security. *BioScience*, 60(9), 708-721.
- Larson, W.E. & F.J. Pierce. (1991). Conservation and enhancement of soil quality. *Evaluation of Sustainable Land Management in the Developing World*, International Board for Soil Research and Management, Bangkok, Thailand
- MADS. (2016). Política para la Gestión Sostenible del Suelo. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Bogotá, D.C.: Colombia., 94 p
- Mahecha-Pulido, J.D., Trujillo-González, J.M., & Torres-Mora, M.A. (2015). Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región del Ariari, Departamento del Meta. *Orinoquia*, 19(1), 118-122. <http://dx.doi.org/10.22579/20112629.345>
- Malagón-Castro, D. (1998). El recurso suelo en Colombia: Inventario y problemática. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 22(82), 13-52.
- Mataix-Solera, J., Guerrero, C., García-Orenes, F., Bárcenas, G. M., & Torres, M. P. (2009). Forest fire effects on soil microbiology. *Fire effects on soils and restoration strategies*, 5, 133-175.

- McBratney, A., Field, D. J., & Koch, A. (2014). The dimensions of soil security. *Geoderma*, 213, 203-213.
- Millennium Ecosystem Assessment: Ecosystems and Human Well-being: Synthesis, 2005. Island Press, Washington, DC, 2005.
- Molano, J. (1998). Biogeografía de la Orinoquia colombiana. Universidad Nacional de Colombia. Colombia
- Rippstein, G., Escobar, G., & Motta, F. M. (2001). Agroecología y biodiversidad de las sabanas en los Llanos Orientales de Colombia (No. 322). *Ciat*.
- Rossiter, D. G. (1996). A theoretical framework for land evaluation. *Geoderma*, 72(3), 165-190.
- Salomé, C., Coll, P., Lardo, E., Metay, A., Villenave, C., Marsden, C., ... & Le Cadre, E. (2016). The soil quality concept as a framework to assess management practices in vulnerable agroecosystems: A case study in Mediterranean vineyards. *Ecological Indicators*, 61, 456-465.
- Salome, C., Coll, P., Lardo, E., Villenave, C., Blanchart, E., Hinsinger, P., Marsden, C., Le Cadre, E., (2014). Relevance of use-invariant soil properties to assess soil quality of vulnerable ecosystems: the case of Mediterranean vineyards. *Ecol. Indic.* 43, 83-93.
- Sarmiento, G. (1994). Sabanas naturales, génesis y ecología. Sabanas Naturales de Colombia. Cali: Banco de Occidente, 17-56.
- Seybold, C. A., Mausbach, M. J., Karlen, D. L., & Rogers, H. H. (1997). Quantification of soil quality. Soil processes and the carbon cycle, 387-404.
- Tinker, P. B. (1985). Soil science in a changing world*. *Journal of soil science*, 36(1), 1-8.
- Trujillo-González, J.M., Mahecha-Pulido, J.D., Torres-Mora, M.A., Brevik, E.C., Keesstra, S.D. & Jiménez-Ballesta, R. (2017). Impact of Potentially Contaminated River Water on Agricultural Irrigated Soils in an Equatorial Climate. *Agriculture*, 7(7), 52; doi:10.3390/agriculture7070052
- Zornoza, R., Acosta, J. A., Bastida, F., Domínguez, S. G., Toledo, D. M., & Faz, A. (2015). Identification of sensitive indicators to assess the interrelationship between soil quality, management practices and human health. *Soil*, 1(1), 173.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

