

Estudio preliminar de variables químicas en suelos con procesos de revegetalización en el municipio de Villa de Leyva (Boyacá, Colombia)

Preliminary study of chemical variables in soils with processes of revegetalization in the municipality of Villa de Leyva (Boyacá, Colombia)

Andrea Angélica Bernal Figueroa¹, Mayra Eleonora Beltrán Pineda²,
Zulma Edelmira Rocha Gil³

Recibido: 7 de octubre de 2018 Aprobado: 13 de marzo de 2019

Resumen: El proyecto de investigación que origina este artículo tiene como objetivo analizar el contenido de materia orgánica (MO), pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y conductividad eléctrica (CE) en suelos ubicados en la vereda Ritoque Alto del municipio de Villa de Leyva (Boyacá-Colombia), en donde se adelantan procesos de revegetalización. De igual manera, se estudian algunas características químicas del suelo para evaluar a futuro el efecto del proceso de revegetalización y poder considerar una alternativa de manejo y restauración de áreas degradadas. Para ello se realizan seis muestreos en un predio donde se adelantan procesos previos de revegetalización con cuatro especies vegetales nativas con fines de restauración (y se cuantifican

las variables propuestas. Además, se presentan diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) en los parámetros MO y CE. Los resultados indican que el suelo evaluado presenta un contenido muy alto de MO, pH muy fuertemente ácido, CIC dentro de los límites normales y una baja CE, lo que sugiere la necesidad de aplicar algún tipo de enmienda de tal forma que el suelo pueda recuperar ciertas propiedades químicas e incidir positivamente sobre el proceso de recuperación adelantado en la zona.

Palabras clave: capacidad de intercambio catiónico (CIC), conductividad eléctrica (CE), materia orgánica (MO), pH, revegetalización.

1 Magíster en Ingeniería Ambiental. Docente del Programa Ingeniería Ambiental de la Universidad de Boyacá. Correo electrónico: aabernal@uniboyaca.edu.co

2 Doctora (c) en Biotecnología. Docente de la Facultad de Ciencias e Ingeniería de la Universidad de Boyacá. Correo electrónico: mebeltran@uniboyaca.edu.co.

3 Magíster en Ciencias Ambientales. Docente del programa de Ingeniería Ambiental. Universidad de Boyacá. Correo electrónico: zerocha@uniboyaca.edu.co.

Abstract: The present study was carried out with the objective of analyzing the organic matter content (OM), pH, cation exchange capacity (CEC) and electrical conductivity (EC), in soils located in the village Ritoque Alto of the municipality of Villa de Leyva (Boyacá-Colombia) where processes of revegetation have been advanced. Some chemical characteristics of the soil were studied to be able to evaluate in the future if the revegetation process has had any effect on them, and whether it can be considered as an alternative of management and restoration of degraded areas. For this, six samples were carried out in a site where previous processes of revegetation with four native plant, for restoration purposes (and the proposed variables were quantified. There were significant statistical differences ($p \leq 0.05$) in the OM and EC parameters. The results indicate that the evaluated soil has a very high OM content, very strongly acidic pH, CEC within normal limits, and a low EC, which suggests the need to apply some type of amendment in such a way that the soil can recover certain chemical properties, and with this to positively affect the process of recovery advanced in the area.

Keywords: cation exchange capacity (CEC), electrical conductivity (EC), matter content (OM), pH, revegetation.

Introducción

La restauración ecológica se define como “el proceso de asistir la recuperación de un ecosistema que se ha degradado, dañado, o destruido” (SER, 2004). Aguilar y Ramírez (2015) mencionan que Colombia es uno de los países tropicales más comprometidos con este proceso y se cuenta con avances significativos en el monitoreo de ciertas especies y grupos funcionales de especies, tanto vegetales como animales, para lograr un seguimiento significativo con un costo relativamente bajo. Al respecto, Vargas (2011) manifiesta que el manejo de ecosistemas por medio de la restauración ecológica toma fuerza como una solución para revertir la degradación de ecosistemas y la pérdida acelerada de biodiversidad. Sin embargo, debido al alto grado de degradación que presentan muchas áreas se

han tomado otras acciones como la rehabilitación, la reclamación o reemplazo y la revegetación (Vargas, 2007).

De acuerdo con Vargas (2007), la revegetación es un término utilizado para describir el proceso mediante el cual las plantas colonizan un área cuya cobertura vegetal original se ha removido por efecto de un disturbio, lo cual no necesariamente implica que la vegetación original se restablece, sino que algún tipo de vegetación ocupa el sitio. Dentro del estudio de estos procesos los suelos son esenciales, así como los elementos del paisaje, que se define como el entorno biofísico del ecosistema (Aguilar y Ramírez, 2015).

El suelo es un componente integral del ambiente, así como el agua y el aire, que constituye uno de los recursos naturales más importantes (Sheoran, Sheoran y Poonia, 2010; Arshad y Martin, 2002). El suelo realiza numerosas funciones vitales, entre las cuales se pueden mencionar: la producción de biomasa (alimentos, fibra y combustible), descomposición de materia orgánica, reciclaje de nutrientes, hábitat para numerosos organismos, etcétera (Garbisu, Becerril, Epelde y Alkorta, 2007). El mantenimiento de su calidad es fundamental para la sostenibilidad del ambiente, y aunque se han publicado varias investigaciones al respecto, el progreso en el seguimiento de su calidad es lento (Arshad y Martin, 2002). Este aspecto se debe considerar, ya que del adecuado manejo de este recurso depende la recuperación (Sheoran et al., 2010) y el funcionamiento de los ecosistemas naturales y sus servicios ecosistémicos (Doran, 2002).

Barrera y Valdés (2007) manifiestan que para fortalecer el estudio de la ecología de la restauración en Colombia, se hace necesario implementar experimentos que ayuden a entender cómo se ensamblan y funcionan los componentes de los ecosistemas y, en general, del ecosistema en proceso de restablecimiento, de forma que los resultados generados se puedan replicar o considerar en áreas que presenten las mismas problemáticas. En este sentido, el monitoreo y estudio de suelos se necesitan como parte del conocimiento y la evaluación de los cambios (positivos o negativos) en su estado a lo largo del

tiempo, para evaluar el impacto de prácticas de manejo (Arshad y Martin, 2002; Sheoran et al., 2010). La degradación de los suelos y la pérdida de sus servicios ecosistémicos son dos de los problemas ambientales más serios que enfrenta el planeta, por lo cual su restauración y monitoreo son esenciales (Lal, 1997).

Arshad y Martin (2002) señalan que es necesario identificar indicadores útiles para hacer un seguimiento a ecosistemas que se encuentren en procesos de restauración, que sean fiables en el tiempo y permitan evaluar la capacidad de recuperación de las funciones ambientales de los suelos. Al respecto, Pizano y Curiel (2015) señalan que, por la naturaleza del suelo, existe una enorme diversidad de indicadores de carácter tanto físico y químico como biológico y manifiestan la necesidad de seleccionar aquellos de los cuales se pueda extraer la mayor cantidad de información sobre el estado de recuperación. En ese sentido, afirman que los buenos indicadores deben ser fáciles de medir e interpretar en campo, ser muy sensibles a los cambios que sufre el suelo en procesos de degradación y recuperación y estar relacionados con procesos a nivel de ecosistema, entre otros aspectos (Pizano y Curiel, 2015).

Teniendo en cuenta lo anterior, en el presente estudio exploratorio se realiza un análisis preliminar del contenido de materia orgánica (MO), pH, capacidad de intercambio catiónico (CIC) y conductividad eléctrica (CE), en suelos donde se adelantan procesos de revegetalización en la vereda Ritoque Alto del municipio de Villa de Leyva (Boyacá, Colombia), con el fin de evaluar algunas características químicas del suelo y poder estudiar a futuro si el proceso de revegetalización ejerce algún efecto sobre ellas, y cuáles de estos procesos pueden considerarse una alternativa de manejo y restauración de áreas degradadas.

Metodología

Localización del área de estudio y muestreo.

El área de estudio se localiza en la vereda Ritoque Alto del municipio de Villa de Leyva, la cual forma parte de la provincia Ricaurte del departamento de Boyacá (Colombia); se encuentra a una altitud

promedio de 2.260 m.s.n.m., con coordenadas 5°37'16" N, 73°31'6" O, con una extensión de aproximadamente 1,52 ha. De acuerdo con el Sistema de Información Ambiental Territorial (SIAT, 2015), la zona tiene uso principal de conservación y restauración ecológica y de acuerdo con el Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC, 2016) la zona presenta erosión moderada. El paisaje predominante es árido con matorrales y presencia de la especie vegetal invasora *Melinis minutiflora*. En cuanto a características climatológicas, la distribución de lluvias en la zona es bimodal con promedio multianual de 960 mm, temperatura promedio de 16,5 °C, y humedad relativa entre 70 y 79 % (IDEAM, 2015).

En el área de estudio se realizaron seis muestreos con tres repeticiones donde se han adelantado procesos previos de revegetalización con cuatro especies vegetales nativas propias de la zona (*Baccharis macrantha* Kunth, *Baccharis latifolia* Ruiz & Pavón, *Crotalaria micans* Link, y *Myrsina coriacea* (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult.), como alternativa de restauración ecológica. Para la recolección de las muestras de suelo en cada terreno se empleó el método zigzag con una distancia entre puntos de cinco metros (USDA, 1999), utilizando el barreno en los vértices a una profundidad de 20 cm, y se tuvieron en cuenta las condiciones de terreno donde fuera posible la recolección de muestras. Por lo anterior, se tomaron muestras adicionales lo más cercanas a cada punto de muestreo hasta completar la cantidad de muestra necesaria para los análisis. Las muestras se conservaron a 4 °C para su posterior análisis fisicoquímico.

Análisis de laboratorio.

Se realizó la cuantificación de materia orgánica (MO) por el método Walkley y Black (1934); pH por método potenciométrico relación suelo-agua 1:1; CIC por acetato de amonio normal y neutro (IGAC, 2006) y CE con conductímetro, en el Laboratorio de Diagnóstico de Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC).

Análisis estadístico.

Se hizo un análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias estadísticas entre los muestreos en cada terreno. Para el parámetro CE

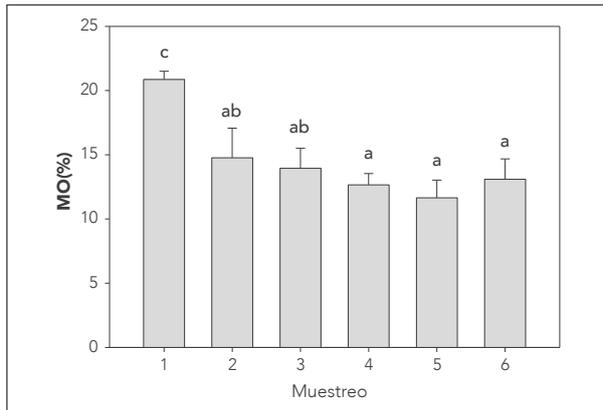
se aplicó la prueba no paramétrica Kruskal-Wallis por pares con un nivel de significancia $p \leq 0,05$, para detectar diferencias estadísticamente significativas entre muestreos, donde los datos no cumplieron con el supuesto de normalidad. Los análisis se realizaron con el programa Minitab® Release 14 Statistical Software. Las gráficas se elaboraron mediante el software SIGMAPLOT versión 10.0.

Resultados y discusión

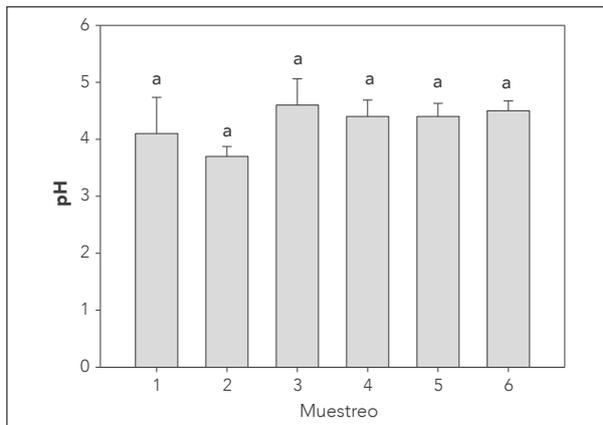
La materia orgánica es la principal fuente de nutrientes, como el N, P y K disponibles en suelos no fertilizados (Donahue, Miller y Shickluna, 1990), sus funciones en el suelo rigen procesos importantes del sistema suelo-planta e inciden sobre sus propiedades fisicoquímicas y biológicas (Navarro, Moral, Gómez y Mataix, 1995); para esta variable se presentan diferencias estadísticas significativas $p \leq 0,05$ entre muestreos ($p=0,0115$). Ghosh, Bajaj, Hassan y Singh (1983) señalan que un nivel superior a 0,75 % indica una buena fertilidad. Por su parte, Bertsch (2004) manifiesta que en suelos de clima frío se espera que su porcentaje sea superior a 5 %, o que esté entre 5 y 10 % (Villaruel, 1988), lo que indica que los porcentajes obtenidos presentan valores muy altos en la totalidad de muestreos realizados, y el mayor se registra en el muestreo 1 (Figura 1A).

La obtención de estos valores podría estar relacionada con la descomposición de la MO, ya que, entre otros factores, este proceso también depende de las características propias del suelo de estudio, pues donde un pH bajo limita el proceso de descomposición de materia orgánica (Motavalli, Palm, Parton, Elliott y Frey, 1995). Por lo tanto, en suelos ácidos de clima frío y húmedos la descomposición es lenta e incompleta (García, 2008). Con respecto a la fracción nitrogenada de la MO en suelos revegetalizados, varios autores (Hu, Fu y Jin, 2009; Fu, Shao y Wei, 2010; Cheng y An, 2015) identificaron que la concentración de N en los suelos se incrementa con el aumento del tiempo de revegetalización, que para el caso de este estudio es corto, teniendo en cuenta que las plantas fueron sembradas en el predio aproximadamente cinco años atrás.

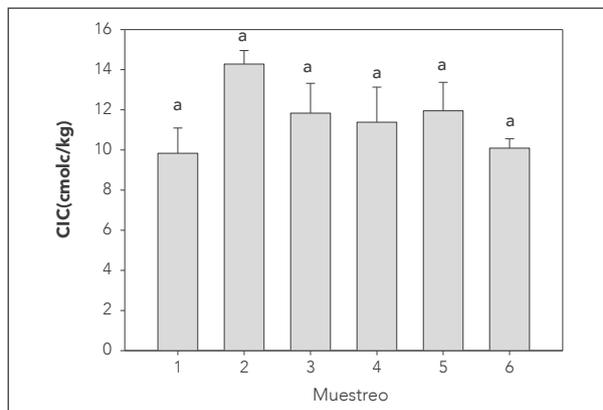
A) Materia orgánica en suelos revegetalizados



B) pH en suelos revegetalizados



C) CIC en suelos revegetalizados



D) CE en suelos revegetalizados

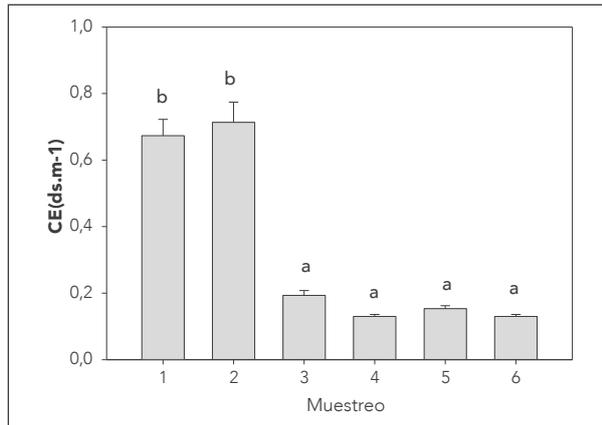


Figura 1. Medición de variables químicas en suelos revegetalizados en el municipio de Villa de Leyva: A) Materia orgánica (MO), B) pH, C) CIC (Capacidad de intercambio catiónico), y D) CE (Conductividad eléctrica). Promedios seguidos de letras distintas en la misma serie presentan diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Fuente: Elaboración propia

Con referencia al pH no se presentaron diferencias estadísticas significativas $p \leq 0,05$ ($p=0,565$); sin embargo, los valores obtenidos en los seis muestreos indican que el suelo se encuentra entre muy fuertemente ácido y extremadamente ácido (Pavón, 2003), lo cual, de acuerdo con Yáñez (1989), normalmente está asociado a una inadecuada estructura que causa limitaciones en la circulación de aire y agua, e impide la adecuada penetración de las raíces de las especies vegetales establecidas en la zona (Figura 1B). De igual forma, aumenta la toxicidad por elementos como el Mn y la asimilación del P disminuye al formarse combinaciones insolubles con el Fe y el Al. Por el contrario, los elementos menores (a excepción del molibdeno) son más asimilables en medio ácido (Yáñez, 1989; Fuentes, 1971; Villarroel, 1988).

Castro y Gómez (2004) manifiestan que valores de pH inferiores a 5,5 evidencian problemas de acidez que intervienen en el proceso de fijación de fosfatos, ya que al disminuir el pH o aumentar la acidez el P se fija y da lugar a compuestos insolubles de Fe y Al; asimismo, los autores señalan que la fijación de fosfatos es mayor cuando el pH es menor a 5, como en el caso de los suelos evaluados. Lo anterior, coincide con lo expuesto por Stuhmann,

Bergmann y Zech (1994) que indican que la degradación de los ecosistemas está asociada a un proceso de acidificación del suelo, que limita la disponibilidad de nutrientes para las plantas y que puede provocar en escenarios extremos la liberación masiva de elementos tóxicos para las plantas como Al o Fe.

De acuerdo con Castro (1998), en suelos ácidos las plantas presentan deficiencia de P debido a la fijación o insolubilización efectuada por parte del Al intercambiable; de igual forma, es importante mencionar que la acidez presentada en este suelo está asociada a una notable reducción en la actividad realizada por las bacterias heterótrofas y actinobacterias; además, afecta los procesos de nitrificación (Navarro y Navarro, 2003; Yáñez, 1989; Fuentes, 1971; Villarroel, 1988). Al respecto, Alves y Paz Ferreiro (2003) señalan que el pH del suelo tiene gran influencia sobre la naturaleza de la vegetación que éste soporta, así como en la disponibilidad de los principales oligoelementos; y además, determina la movilidad de los distintos elementos, lo cual en este caso es posible que repercuta negativamente sobre el proceso de revegetalización adelantado en la zona.

De igual forma, en la variable CIC no se presentaron diferencias estadísticas significativas $p \leq 0,05$ ($p=0,230$). Además, se registraron valores en un rango medio (Castro, 1998) en cinco de los seis muestreos (Figura 1C), probablemente porque esta variable depende del tipo y la cantidad de la fracción de arcilla presente en el suelo (Fuentes, 1971), la cual fue muy baja en los muestreos realizados, donde se encontró entre 5 y 11 %. En este mismo sentido, Fuentes (1971) señala que la capacidad total de intercambio disminuye con el incremento de Al y Fe en la fracción arcilla. Al respecto, Navarro (2004) manifiesta que con un pH por encima de 4,5 se puede asegurar que la fijación aniónica disminuye y se incrementa la catiónica.

Por último, para la CE se presentaron diferencias estadísticas significativas $p \leq 0,05$ entre muestreos ($p=0,008$), donde los resultados obtenidos indican que el suelo evaluado posee baja salinidad (Figura 1D). Al respecto, Barbaro, Karlanian y Mata (2014)

recomiendan que la CE de un sustrato sea baja, en lo posible menor a 1 dSm^{-1} , lo que facilita el manejo de fertilización y se evitan problemas por fitotoxicidad en las plantas. Por su parte, Espinoza, Slaton y Mozaffari (2012) manifiestan que los reportes de CE pueden variar drásticamente de parcela a parcela y a lo largo del tiempo y son fuertemente afectados por condiciones ambientales.

Pizano y Curiel (2015) señalan que, además de la selección adecuada de indicadores de restauración, los suelos no se deben considerar como elementos aislados sino como parte de sistemas complejos, considerando la fuerte interrelación entre los suelos y las plantas, lo cual determina procesos y ciclos a nivel del ecosistema; es decir, el monitoreo de los suelos debe ser, en cualquier caso, paralelo al monitoreo del crecimiento y el estado de salud de la vegetación establecida. Al respecto, Dossman (2009) menciona que el proceso de restauración debe tener en cuenta los servicios ecológicos del ecosistema que se pretende recuperar, para entenderlo como base fundamental en el restablecimiento de la funcionalidad del suelo, su capacidad de infiltrar agua y acoger nutrientes, para posteriormente adelantar procesos de revegetalización que actúen como motor de la restauración, formadora de suelo maduro y protectora contra la degradación.

En este sentido, la restauración con especies de plantas nativas potencialmente puede tener efectos positivos sobre la calidad del suelo y las comunidades microbianas (Beltrán, Rocha, Bernal y Pita, 2017; McKinley, Peacock y White, 2005); sin embargo, puede tomar décadas lograr acercarse a los niveles encontrados en el suelo previo al disturbio (McKinley *et al.*, 2005; Cao *et al.*, 2008; Minambiente, 2012). La magnitud de los cambios parece estar determinada en parte por el tiempo en que el área esté en proceso de restauración, ante lo cual es importante generar información base que permita evaluar a futuro los cambios registrados durante el proceso. Para el presente caso, no se tiene información previa que permita comparar los datos obtenidos; sin embargo, este estudio constituye una base para su evaluación y comparación futura.

Conclusiones

De forma general, se puede concluir que para el suelo evaluado en esta zona experimental, que cuenta con el establecimiento de plantas nativas desde hace cinco años, se presenta un contenido muy alto de MO, pH fuertemente ácido, CIC dentro de los límites normales y una baja CE, lo que sugiere la necesidad de aplicar algún tipo de enmienda, de tal forma que el suelo pueda recuperar ciertas propiedades químicas e incidir positivamente sobre el proceso de recuperación adelantado en la zona mediante alternativas de revegetalización.

En concordancia con los resultados observados, se puede considerar que los procesos de revegetalización con plantas nativas como *Baccharis macrantha*, *Baccharis latifolia*, *Crotalaria micans* y *Myrsina coriacea* en suelos degradados de clima frío, inciden sobre algunas características químicas de los suelos tales como: el contenido de materia orgánica, pH, capacidad de intercambio catiónico y conductividad eléctrica.

Finalmente, al realizar un proceso de restauración ecológica es fundamental tener en cuenta el estado de recuperación del suelo evaluando indicadores de calidad de tipo fisicoquímico y microbiológico. De esa forma, se tiene información que permita definir el sustrato en estudio para el adecuado desarrollo de la vegetación que se pretende establecer, la colonización de organismos edáficos y, por ende, la recuperación de la dinámica ecosistémica.

Referencias

- Aguilar G., y Ramírez, W. (Eds.) (2015). Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- Alves, M. y Paz, J. (2003). Variabilidad del pH de un suelo decapitado sometido a diferentes tratamientos de recuperación. En IX Conferencia Española de Biometría. La Coruña, España.

- Arshad, M. y Martin, S. (2002). Identifying critical limits for soil quality indicators in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, (88), 153-160.
- Barbaro, L., Karlanian, M. y Mata, D. (2014). Importancia del pH y la conductividad eléctrica (CE) en los sustratos para plantas. Presidencia de la Nación, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina.
- Barrera, J. y Valdés, L. (2007). Herramientas para abordar la restauración ecológica de áreas disturbadas en Colombia. *Universitas Scientiarum*, (12), 11-24.
- Beltrán, M., Rocha, Z., Bernal, A. y Pita, A. (2017). Microorganismos funcionales en suelos con y sin revegetalización en el municipio de Villa de Leyva, Boyacá. *Revista Colombia Forestal*, 20(2), 158-170. <http://dx.doi.org/10.14483/uidistrital.jour.colomb.for.2017.2.a05>
- Bertsch, F. (2004). El análisis de suelos. Una herramienta para diagnosticar los problemas nutricionales de los suelos: Ventajas y limitaciones. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Folleto. Recuperado de: <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/LSF/AnalisisSuelos.pdf>
- Cao, C., Jiang, D., Teng, X., Jiang, Y. Liang, W. y Cui, Z. (2008). Soil chemical and microbiological properties along a chronosequence of *Caragana microphylla* Lam. plantations in the Horqin sandy land of Northeast China. *Applied soil ecology*, (40), 78-85.
- Castro, H. y Gómez, M. (2004). El diagnóstico integral de la fertilidad del suelo a partir de indicadores analíticos. En Primer Taller Nacional sobre Indicadores de Calidad del Suelo. Palmira, Colombia.
- Castro, H. (1998). Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas. Tunja, Colombia: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Programa de Ingeniería Agronómica. Produmedios.
- Cheng, M. y An, S. (2015). Responses of soil nitrogen, phosphorous and organic matter to vegetation succession on the Loess Plateau of China. *Journal Arid Land*, 7(2), 216-223.
- Donahue, R., Miller, R. y Shickluna, J. (1990). Soils. An introduction to soils and plant growth (5th ed.). Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall.
- Doran, J. (2002). Soil health and global sustainability: Translating science into practice. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, (88), 119-127.
- Dossman, M. (2009). Valoración de los servicios ecológicos prestados por el suelo bajo distintas coberturas naturales. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.
- Espinoza, L., Slaton, N. y Mozaffari, M. (2012). Cómo interpretar los resultados de los análisis de suelos. Division of Agriculture, Research & Extension, University of Arkansas System (traducción de Leo Espinoza).
- Fu, X., Shao, M. y Wei, X. (2010). Soil organic carbon and total nitrogen as affected by vegetation types in Northern Loess Plateau of China. *Geoderma*, (155), 31-35.
- Fuentes, L. (1971). Interpretación y análisis de suelos. México: Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado de <http://goo.gl/olguQt>
- Garbisu, C., Becerril, J., Epelde, L. y Alkorta, I. (2007). Bioindicadores de la calidad del suelo: herramienta metodológica para la evaluación de la eficacia de un proceso fitorremediador. *Ecosistemas*, 16(2), 44-49.
- García, A. (2008). La materia orgánica (MOS) y su papel en la lucha contra la degradación del suelo. En Memorias del XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo (29-31 de octubre. Quito, Ecuador).
- Ghosh, A., Bajaj, J., Hassan, R. y Singh, D. (1983). Soil and water testing methods. A laboratory manual. Division of Soil Science and Agricultural Chemistry, IARI, New Delhi, 31-36.

- Hu, C., Fu, B. y Jin, T. (2009). Effects of vegetation restoration on soil microbial biomass carbon and nitrogen in hilly areas of Loess Plateau. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 20(1), 45-50.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2006). Métodos analíticos de laboratorio de suelos. (6.ª ed.). Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2015). Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion> [Consultado el 25 de agosto de 2015].
- Lal, R. (1997). Degradation and resilience of soils. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences*, 352(1356), 997-1008.
- McKinley, V., Peacock, A. y White D. (2005). Microbial community PLFA and PHB responses to ecosystem restoration in tall grass prairie soils. *Soil Biology & Biochemistry*, (37), 1946-1958.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia (Minambiente) (2012). Plan nacional de restauración. Restauración ecológica, rehabilitación y recuperación de áreas disturbadas. Bogotá: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
- Minitab Inc. (2003). MINITAB® Statistical Software, Release 14 for Windows. State College, Pennsylvania.
- Motavalli, P., Palm, C., Parton, W., Elliott, E. T. y Frey, S. (1995). Soil pH and organic C dynamics in tropical forest soils: Evidence from laboratory and simulation studies. *Soil biology and biochemistry*, 27(12), 1589-1599.
- Navarro, A. (2004). Degradación del suelo, degradación físico-química. En *Gestión y Conservación del suelo. Lección 3. Área de Edafología y Química Agrícola*. Universidad de Extremadura España. Recuperado de <https://goo.gl/V5xjqX>
- Navarro, P., Moral, H., Gómez, L. y Mataix, B. (1995). Residuos orgánicos y agricultura. Murcia, España: Universidad de Alicante, Secretariado de Publicaciones, Compobell, S.L.
- Navarro, S. y Navarro, G. (2003). Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. (2.ª ed.). Madrid: Mundi-Prensa.
- Pavón, A. (2003). Instalación de riego por goteo en una parcela de maíz. (Trabajo de grado de Especialista en Explotaciones agropecuarias). Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, Universidad de Castilla – La Mancha.
- Pizano, C. y Curiel, J. (2015). El monitoreo del suelo en los procesos de restauración ecológica: indicadores, cuantificadores y métodos. En M. Aguilar y W. Ramírez (Eds.), *Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres* (pp. 74-86). Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAvH).
- Sheoran, V., Sheoran, A. y Poonia, P. (2010). Soil reclamation of abandoned mine land by revegetation: A review. *International Journal of Soil, Sediment and Water*, 3(2), Article 13.
- Sistema de Información Ambiental Territorial (SIAT) (2015). Corporación Autónoma Regional de Boyacá (Corpoboyacá).
- Sistema de Información Ambiental de Colombia (SIAC) (2016). Info Nacional SIAC suelos. Recuperado de <http://sig.anla.gov.co:8083/>
- Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group (SER). (2004). *The SER International Primer on Ecological Restoration*. www.ser.org & Tucson: Society for Ecological Restoration International.
- Stuhmann, M., Bergmann, C. y Zech, W. (1994). Mineral nutrition, soil factors and growth rates of Gmelina arborea plantations in the humid lowlands of northern Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, (70), 135-145.

- Systat Software Inc. (SSI). (2003-2013). SigmaPlot Versión 10.0. [Software de computadora en CD-ROM]. United States of América. Recuperado de <https://goo.gl/524DJl>
- United States Department of Agriculture (USDA). (1999). Guía para la evaluación de la calidad y salud del suelo. Estados Unidos: USDA.
- Vargas, O. (Ed.). (2007). Guía metodológica para la restauración ecológica del bosque altoandino. Bogotá: Acueducto de Bogotá, Jardín Botánico, Secretaría Distrital de Ambiente, Grupo de Restauración Ecológica de Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia. Convenio Interinstitucional.
- Vargas, O. (2011). Restauración ecológica, biodiversidad y conservación. *Acta Biológica Colombiana*, 16(2), 221-246.
- Villarroel, J. (1988). Manual práctico para la interpretación de análisis de suelos en laboratorio. Serie Técnica N.º 10. Universidad Mayor de San Simón, Agroecología Universidad Cochabamba (AGRUCO), Bolivia.
- Walkley, A. y Black, I. (1934). An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, (37), 29-38.
- Yáñez, J. (1989). Análisis de suelos y su interpretación. *Horticultura*, (49), 75-89.

