



DINÁMICA ENTRE PROPIEDADES QUÍMICO-FÍSICAS Y BIOLÓGICAS DEL SUELO COMO RESPUESTA A DIFERENTES INSUMOS ORGÁNICOS

Ruth Milena Gómez Vargas*✉, Eliana Rocío Hernández Hoyos*, Marta Lucía Guardiola Perilla*, Carmen Rosa Bonilla Correa**

*Centro Internacional de Física (CIF) – Grupo de Biotecnología Ambiental,

**Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá – Facultad de Ciencias Agrarias

Palabras clave:
Materia Orgánica (MO), Propiedades del suelo, Insumos orgánicos.

RESUMEN

La MO es uno de los componentes más importantes del suelo, siendo necesaria para cumplir los requerimientos de fertilidad y teniendo efecto sobre sus propiedades químico-físicas y biológicas. Se buscó determinar las dinámicas y correlaciones entre estas propiedades debido al empleo de insumos orgánicos en suelo asociado al cultivo de caña panelera, Nocaima – Cundinamarca, dado que el contenido de MO aumenta por la adición de este tipo de insumos. Se evaluaron cuatro tratamientos, T0: control, T1: vermicompost, T2: gallinaza y T3: compost, y 20 repeticiones por parcela, utilizando un diseño de bloques completos al azar. Se cuantificó el efecto de los tratamientos en el mes 10 del ensayo, evaluándose 30 variables diferentes (pH, CO, contenido de elementos, CICE, acidez intercambiable, humedad gravimétrica, estabilidad estructural, densidad aparente, poblaciones microbianas cultivables y actividad enzimática). El contenido de CO presentó diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos, siendo mayor en el T2. El CO correlacionó de forma positiva y significativa con coeficientes de Pearson superiores a 0,65 con 17 de las 30 variables evaluadas y de forma negativa y significativa con 7, siendo claro que la adición de MO que afectó el contenido de CO tiene a su vez una relación con 24 de las variables. Se presentaron correlaciones entre las demás propiedades evaluadas, por lo que sus interacciones también se pueden ver afectadas por la MO. Los resultados encontrados permitieron establecer las posibles dinámicas presentadas en el suelo y justificar el empleo de insumos orgánicos teniendo en cuenta su efecto.

DYNAMICS BETWEEN CHEMICAL, PHYSICAL AND BIOLOGICAL SOIL PROPERTIES IN RESPONSE TO DIFFERENT ORGANIC INPUTS

Key words:
Organic matter (OM), Soil properties, Organic inputs.

SUELOS ECUATORIALES 47(1 y 2):53-60p
ISSN 0562-5351

ABSTRACT

OM is one of the most important soil properties, it is necessary to achieve soil fertility requirements and it has an effect on soil chemical, physical and biological properties. This study sought to determine the dynamics and correlations between chemical, physical and biological soil properties due to the use of organic inputs in soil with sugarcane crop, in Nocaima - Cundinamarca, since OM content increases by the addition of such inputs. Four treatments were evaluated T0: control T1: vermicompost, T2: chicken manure and T3: compost, with 20 repetitions per plot in a randomized complete block design. The effect of treatments was measured at month 10 of the test. 30 different variables were measured (pH, OC, elements content, CECE, exchangeable acidity, gravimetric moisture, structural stability, bulk density, culturable microbial populations and enzyme activity). The content of OC had statistically significant differences ($p \leq 0.05$) between treatments, being higher in T2. The OC correlated positively and significantly with 17 of the 30 variables evaluated, with Pearson coefficients higher than 0.65 and negatively with 7 being clear that adding OM that affected the OC content has also a relationship with 24 variables. Additionally, correlations between the other evaluated properties were observed, so their interactions can also be affected by the OM. Results allowed to establish the possible dynamics presented on soil and justify the use of organic inputs given their effect.

Rec.: 15.07.2016

Acep.: 30.11.2016

INTRODUCCIÓN

La reducción en la calidad y fertilidad del suelo se encuentra reflejada y relacionada con una disminución en el contenido de MO de éste (Dube, et al., 2012). Esta problemática es reconocida por ser uno de los factores principales que afecta negativamente la producción de los cultivos en ambientes tropicales, incluso a pesar del alto potencial de las variedades vegetales empleadas (Thierfelder, et al., 2013). Lo anterior se debe a que entre las propiedades del suelo el contenido de materia orgánica (MO) se considera uno de los componentes más importantes, éste se relaciona con el contenido de elementos, la capacidad de intercambio catiónico y aniónico (CIC – CIA), el pH, la estructura, la capacidad de retención de agua y la densidad, entre otras (Magdoff & Weil, 2004; González, et al., 2010).

En este contexto, las propiedades físicas del suelo, al igual que las químicas, deben ser entendidas en conjunto y formando un todo armónico y no individualmente, ya que entre ellas se establece una íntima relación (Triana, et al., 2003). De las dinámicas y relaciones presentadas dependerá que solo una proporción de la cantidad total de elementos en el suelo sea tomada y empleada por las plantas (Marschner & Rengel, 2012).

La MO también puede ser una fuente de energía de alta disponibilidad para la biota, estimulando la biodiversidad de los suelos, incrementando la actividad biológica y afectando la funcionalidad de los microorganismos, los que a su vez tienen un efecto sobre las propiedades químicas y físicas señaladas (Magdoff & Weil, 2004; González, et al., 2010). Teniendo en cuenta el papel de la MO en el suelo, cobra importancia el empleo de insumos orgánicos en los sistemas productivos, ya que este tipo de materiales promueven el mantenimiento e incluso el incremento de los contenidos de MO (Paul, 2007; Panda & Hota, 2008).

Debido a lo anterior se evaluaron insumos orgánicos como la gallinaza, el compost y el vermicompost, con la finalidad de determinar las dinámicas y correlaciones entre las propiedades químicas, físicas y biológicas en un suelo asociado al cultivo de caña panelera (*Saccharum officinarum* L.) en el municipio de Nocaima – Cundinamarca.

MATERIALES Y MÉTODOS

El ensayo se realizó en el municipio de Nocaima, Cundinamarca, ubicado entre las coordenadas 5° 0,5' 21,67" N y -74° 22' 21,67" O, 5° 05' 21,28" N y -74° 22' 22,18" O, 5° 0,5' 24,23" N y -74° 22' 22,74" O y 5° 0,5' 23,83" N y -74° 22' 22,89" O, entre los 1.402 y 1.427 msnm. La coordenadas corresponden a la unidad cartográfica MQBe, que de acuerdo al estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de

Cundinamarca, correspondiendo a un suelo Humic Eutrudepts (IGAC, 2000; USDA, 2010).

tratamientos evaluados fueron T0: control, T1: vermicompost (0,95 t ha⁻¹) – CO oxidable: 40,11%, T2: gallinaza (1,59 t ha⁻¹) – CO oxidable: 17,21% y T3: compost (2,29 t ha⁻¹) – CO oxidable: 18,56%. En toda el área del ensayo se aplicó cal dolomita marca Bolivariana de Minerales con una composición de CaO del 36% y MgO del 16%, en una dosis de 2,6 t ha⁻¹. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con tres bloques en función del gradiente de pendiente. Cada bloque contó con cuatro parcelas (100 m²), una para cada tratamiento, por lo que cada bloque contó con 400 m², siendo en total el área del ensayo de 1200 m².

La evaluación de las propiedades físico-químicas se llevó a cabo en el mes 10 del ensayo después de la aplicación de los tratamientos. De cada una de las parcelas donde se establecieron los tratamientos en los tres bloques del ensayo se tomó una muestra compuesta (Martínez, 2006).

Las muestras fueron analizadas en el laboratorio de Aguas y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia – Sede Bogotá. Los análisis realizados fueron: pH (1:1 – suspensión suelo:agua - potenciómetro), CO (% - Walkley - Black), N total (estimado a partir del CO – factor 0,0862), bases intercambiables (Ca, K, Mg y Na - meq 100 g⁻¹ extracción con NH₄OAc 1 M, pH 7), CIC efectiva – CICE (estimado por suma de bases y acidez intercambiable), acidez intercambiable (AI) (Extracción con KCl 1M), P disponible (mg Kg⁻¹ – Bray II), microelementos (Cu, Fe, Mn, Zn y B – mg Kg⁻¹ extracción con DTPA –extracción con fosfato monocálcico), NO₃ (mg Kg⁻¹ – extracción con KCl 1M/eliminación de NH₄⁺), NH₄⁺ (mg Kg⁻¹ – extracción con KCl 1M/destilación y valoración), humedad gravimétrica (Θg – secado a 105°C durante 24 h), estabilidad estructural (método yoder) y densidad aparente (pd - método del terrón parafinado).

Las propiedades biológicas se evaluaron en el mes 10 del ensayo después de la aplicación de los tratamientos. De cada una de las parcelas se tomó una muestra compuesta (Martínez, 2006). Todas las muestras fueron transportadas a 4 °C ± 2 °C y oscuridad y almacenadas bajo las mismas condiciones antes de su procesamiento (Pepper & Gerba, 2004; Martínez, 2006; Bloem, et al., 2006). Se realizó siembra en placa en superficie en los medios correspondientes a cada grupo de microorganismo a evaluar (Muñoz, et al., 2007). Para el recuento de hongos y levaduras se empleó el medio rosa de bengala (Merck, 1994), para actinomicetos el agar almidón amoniacal más nistatina (Goodfellow & Williams, 1983; Cardona, et al., 2009), para bacterias mesófilas totales agar plate count (Merck, 1994), para bacterias celulolíticas agar CMC (Ronald & Wood, 1982), para BFN de vida libre agar LG

(Döbereiner & Day, 1976) y para BSF agar Pikovskaya (Pikovskaya, 1948). El proceso se realizó por triplicado. Las cajas se incubaron de acuerdo al microorganismo y los resultados se expresaron en unidades formadoras de colonia por gramo de suelo (UFC g⁻¹) (Pepper & Gerba, 2004; Martínez, 2006; Bloem, et al., 2006).

La evaluación de la actividad enzimática también se realizó por triplicado. Para la actividad β – Glucosidasa se empleó como sustrato p-nitrofenil- β – D – glucopiranosido (Eivazi & Tabatabai, 1988; Turner, et al., 2002; Knight & Dick, 2004). La DHA se evaluó empleando cloruro de idonitrotetrazolio (INT) como sustrato (Von Mersi & Schinner, 1991; Bloem, et al., 2006). Por último para la evaluación de la actividad hidrolasa, se empleó FDA como sustrato (Bloem, et al., 2006; Muscolo, et al., 2014).

Previo al análisis estadístico fueron comprobados los supuestos de normalidad y homocedasticidad de varianzas para todas las variables evaluadas, lo anterior se realizó por medio de los tests de Shapiro – Wilk y Levene, respectivamente. Para establecer el efecto que el empleo de insumos orgánicos tuvo sobre el contenido de CO en el

suelo se llevó a cabo un análisis de ANOVA y una prueba de comparación de medias (HSD Tukey - $p \leq 0,05$). Lo anterior empleando el modelo de bloques completos al azar, siendo el bloque el gradiente de pendiente del área de estudio. Con el fin de establecer la correlación entre las variables evaluadas en el suelo se llevaron a cabo análisis de correlación de Pearson ($p \leq 0,05$). Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo empleando el paquete estadístico SAS (SAS Institute).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evaluación del empleo de insumos orgánicos sobre el contenido de CO del suelo:

En la tabla 1 se observa el efecto que cada uno de los tratamientos presentó sobre la variable CO del suelo en el mes 10 de evaluación después de la aplicación de insumos orgánicos.

Tabla 3. Efecto de insumos orgánicos (vermicompost, gallinaza, compost) sobre el contenido de CO de suelo asociado a caña panelera (*Saccharum officinarum* L.)

Variable	T0: Control	T1: Vermicompost	T2: Gallinaza	T3: Compost
CO (%)	4,08 ± 0,09 ^c	4,55 ± 0,19 ^b	5,91 ± 0,28 ^a	4,99 ± 0,26 ^b

CO (carbono orgánico). Los valores representan la media de un n=3 con su respectivo error estándar. Valores con letras diferentes presentan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$) de acuerdo a la comparación de medias de HSD de Tukey.

Estudios previos han evaluado el empleo de insumos orgánicos en suelo asociado a caña panelera, producidos tanto a partir de residuos de origen animal como de residuos de origen vegetal (Van Antwerpen, et al., 2003; Yadav, et al., 2009). En estos estudios, se han encontrado porcentajes de incremento en el contenido de CO que van desde 3,18% a 69,1 %. Se debe tener en cuenta que es ampliamente reconocido que el empleo de insumos orgánicos debido a su aporte de MO influencia el contenido de CO del suelo (Magdoff & Weil, 2004; Pezzolla, et al., 2015). Esta propiedad de los insumos orgánicos se debe a que los materiales residuales empleados con este fin son tratados antes de su empleo, lo que permite obtener fuentes de MO más estables con una concentración incrementada de moléculas orgánicas

recalcitrantes, mientras que se mantiene la concentración de elementos necesarios para la nutrición vegetal (Pezzolla, et al., 2015). En los resultados obtenidos es claro que el tratamiento con gallinaza presentó el mayor contenido de CO en relación a los demás tratamientos, pese a que este insumo no tenía el mayor contenido de CO, ni se aplicó en la mayor dosis como se señaló en materiales y métodos.

Evaluación de las correlaciones entre las propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo:

En las tablas 2, 3 y 4 se observan los coeficientes de correlación de Pearson entre el CO y las demás propiedades evaluadas en el suelo. Con las variables Na, Zn, B, densidad aparente, población de BFN y población de actinomicetos no se presentaron correlaciones.

Tabla 4. Coeficientes de correlación de Pearson con significancia (p) entre el CO del suelo y las variables químicas, físicas y biológicas del suelo asociado a caña panelera con cuatro tratamientos (T0: control, T1: vermicompost, T2: gallinaza, T3: compost).

	pH	N	Ca	K	Mg	AI	CICE	P	Cu	
CO	0,69		0,99	0,90	0,84	0,85	-0,76	0,87	0,79	-0,66
p	0,00	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,00

CO (carbono orgánico - %), N total (%), Ca (meq 100 g⁻¹), K (meq 100 g⁻¹), Mg (meq 100 g⁻¹), AI (acidez intercambiable - meq 100 g⁻¹), CICE (capacidad de intercambio catiónico efectiva - meq 100 g⁻¹), P (mg kg⁻¹), Cu (mg kg⁻¹). Los valores subrayados corresponden a correlaciones negativas o positivas superiores a 0,65 y estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

Tabla 5. Coeficientes de correlación de Pearson con su respectiva significancia (p) entre el CO del suelo y las variables químicas, físicas y biológicas del suelo asociado a caña panelera con cuatro tratamientos (T0: control, T1: vermicompost, T2: gallinaza, T3: compost).

	Fe	Mn	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	DPM	DGM	Øg	β - G	
CO		-0,76	-0,78	0,69	0,81	0,79	0,76	0,88	0,65
p	< 0,0001	< 0,0001	0,00	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,00

Fe (mg kg⁻¹), Mn (mg kg⁻¹), NH₄⁺ (amonio - mg kg⁻¹), NO₃⁻ (nitrato - mg kg⁻¹), DPM (diámetro ponderado medio - mm), DGM (diámetro geométrico medio - mm), Øg (humedad gravimétrica - %), β - G (Actividad β - Glucosidasa - µg de pNP g suelo seco⁻¹ h⁻¹). Los valores subrayados corresponden a correlaciones negativas o positivas superiores a 0,65 y estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

Tabla 6. Coeficientes de correlación de Pearson con su respectiva significancia (p) entre el CO del suelo y las variables químicas, físicas y biológicas del suelo asociado a caña panelera con cuatro tratamientos (T0: control, T1: vermicompost, T2: gallinaza, T3: compost).

	DHA	H	BMT	HF y L	BSF	BC
CO	0,82	0,77	0,68	-0,73	0,78	-0,80
p	< 0,0001	< 0,0001	0,00	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001

BMT (bacterias mesófilas totales - log UFC g suelo⁻¹), HF y L (hongos filamentosos y levaduras - log UFC g suelo⁻¹), BSF (bacterias solubilizadoras de fosfatos - log UFC g suelo⁻¹), BC (bacterias celulolíticas - log UFC g suelo⁻¹), DHA (Actividad deshidrogenasa - µg INTF g suelo seco⁻¹ 4 h⁻¹) y H (Actividad hidrolasa - µg de fluoresceína g suelo seco⁻¹ 0,5 h⁻¹). Los valores presentados corresponden a correlaciones negativas o positivas superiores a 0,65 y estadísticamente significativas ($p \leq 0,05$).

Las correlaciones con las formas de N y P se relacionan con que la MO es el principal componente de almacenamiento y reservorio para estos elementos y es la mineralización microbiana de ésta el proceso a través del cual estos elementos son liberados de forma continua a la fase acuosa o la solución del suelo (Marschner & Rengel, 2007; Sposito, 2008). Es por esto que el N también presentó una correlación positiva significativa con la actividad β-Glucosidasa (0,66), DHA (0,77) y actividad hidrolasa (0,80) y con grupos microbianos como las bacterias mesófilas totales (0,69), las bacterias solubilizadoras de fosfatos (0,74), los actinomicetos (0,83) y los hongos filamentosos y levaduriformes (0,90). Esta relación pudo deberse también a que después de la disponibilidad del C

para la actividad microbiana del suelo, el N es limitante para ésta, (Yu, et al., 2013; Pezzolla, et al., 2015). Particularmente en el presente estudio se observó una correlación positiva de las formas de N con las poblaciones de BFN (0,84) relacionada con la fijación biológica del elemento (Paul, 2007; Keuter, et al., 2014). La MO puede contener del 30% al 50 % del P total en la mayoría de los suelos (Rodríguez & Fraga, 1999). Y la mineralización del elemento, mediada también por los microorganismos lleva a formas disponibles como fosfatos (Marschner & Rengel, 2007). Esto explica la correlación positiva que este elemento presentó con las tres actividades enzimáticas evaluadas, β-Glucosidasa (0,81), DHA (0,89) y actividad hidrolítica (0,78) y con las bacterias mesófilas totales (0,65), hongos

filamentosos y levaduriformes (0,72), BSF (0,85) y BFN (0,83). Las correlaciones señaladas pueden deberse al papel que el P cumple en la célula microbiana como componente estructural y funcional (Paul, 2007).

En cuanto a la correlación directa del CO con la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE), ésta se puede deber al aporte de MO por parte de los insumos empleados, teniendo en cuenta que la MO es la responsable del 25% al 90% de la CIC total de los horizontes superficiales en los suelos minerales (Caravaca, et al., 1999; Oorts, et al., 2003), incluyendo la CIC variable (Tan & Dowling, 1984; Oorts, et al., 2003), siendo de importancia también la correlación de la CICE con el pH (0,81) puesto que las cargas variable son dependientes del pH (Bergaya, et al., 2013). Mientras que, la correlación positiva del CO con el pH del suelo se puede deber a los diversos grupos activos de la MO que aportan grados de acidez, a las bases intercambiables y al contenido de N presente en ésta. Esto coincide con la correlación negativa que se presentó con la acidez intercambiable en el presente estudio. Algunos autores han planteado también que este fenómeno se puede deber a un mecanismo de neutralización de la acidez por medio de la complejación de protones y Al mediante aniones orgánicos (Martínez, et al., 2008). Igualmente se debe tener en cuenta que el pH afecta las tasas de mineralización de la MO (Yao, et al., 2009), lo cual se relaciona con las correlaciones positivas del CO con las tres actividades enzimáticas evaluadas y con grupos microbianos como las bacterias mesófilas totales y las BSF, siendo determinante el efecto regulador del pH sobre la actividad biológica (Tian & Shi, 2014; Muscolo, et al., 2015) y también que el efecto del insumo sobre la actividad biológica depende de su composición (Bowles, et al., 2014; Xu, et al., 2015). Puntualmente, la correlación con las BSF podría estar relacionada con que la síntesis de ácidos orgánicos, involucrados en la solubilización de fosfatos (Rodríguez & Fraga, 1999; López-Ortega, et al., 2013) está asociada al metabolismo de algunos carbohidratos, por lo que la MO agregada al suelo puede aumentar la disponibilidad de C (Sánchez, et al., 2012). Mientras que con relación a la correlación negativa que se presentó con las bacterias celulolíticas, previamente ha sido reportado que los suelos más ricos en materiales orgánicos son habitados por bacterias con baja actividad

celulolítica y viceversa (Ulrich & Wirth, 1999; Yang, et al., 2014).

En el caso de la correlación negativa del CO con los contenidos de Cu, Fe y Mn existen investigaciones que sugieren que las reacciones de acomplejamiento con especies orgánicas modifican el comportamiento y por lo tanto la disponibilidad de estos elementos (Acosta, et al., 2008). Mientras que para las propiedades físicas del suelo evaluadas, el CO presentó correlaciones positivas con el DPM y el DGM, lo anterior posiblemente debido al papel de la MO en la formación de micro, meso y macroagregados (Taboada & Taboada, 2003; Paul, 2007). De la misma manera esta variable correlacionó directamente con la medición de la humedad gravimétrica del suelo, teniendo en cuenta que el aumento en el CO puede incrementar la capacidad de retención de agua del suelo (Karami, et al., 2012) y también que el contenido de agua regula indirectamente la mineralización de la MO por medio del control de la difusión de sustratos microbianos (Arnold, et al., 2015).

También se observaron diferentes relaciones entre las propiedades biológica evaluadas (datos no mostrados), siendo claros los complejos procesos de interacción que ocurren entre los organismos del suelo, afectándose tanto de forma positiva como negativamente estas variables (Paul, 2007; Taylor, et al., 2009; Keuter, et al., 2014)

De acuerdo a las correlaciones presentadas y a la discusión generada a partir de éstas, se alcanzó una aproximación al entendimiento de las dinámicas e interacciones entre propiedades químicas, físicas y biológicas que pueden estar ocurriendo como respuesta al empleo de insumos orgánicos en el suelo, las cuales se ven de forma importante afectadas por los contenidos de CO. Entonces de acuerdo a lo que ha sido mencionado previamente por otros autores (Magdoff & Weil, 2004; Allen, et al., 2011), para la evaluación del suelo es de importancia la integración de los tres tipos de propiedades lo que puede proveer información suficiente que permita implementar diferentes manejos con la finalidad de conseguir beneficios medioambientales y comerciales, justificando así el empleo de insumos orgánicos en los sistemas agrícolas.

REFERENCIAS

- Acosta, Y. y otros, 2008. Fraccionamiento de metales y materia orgánica en un suelo de la Península de Paraguaná, estado Falcón, Venezuela. *Multiciencias*, Volumen 8, pp. 39 - 47.
- Allen, D., Singh, B. & Dalal, R., 2011. Soil Health Indicators Under Climate Change: A Review Of Current Knowledge. En: B. Singh, A. Cowie & K. Chan, edits. *Soil Health and Climate Change*. Soil Biology. s.l.:Springer, p. 25 – 45.
- Arnold, C., Ghezzehei, T. & Asefaw, A., 2015. Decomposition of distinct organic matter pools is regulated by moisture status in structured wetland soils. *Soil Biology and Biochemistry*, Volumen 81, pp. 28 - 37.
- Bergaya, F., Lagaly, G. & Vayer, M., 2013. Chapter 2.11: Cation and anion exchange. En: F. Bergaya & G. Lagaly, edits. *Developments in clay science*. s.l.:Elsevier, pp. 333 - 359.
- Bloem, J., Hopkins, D. & Benedetti, A., 2006. Soil quality microbiological methods for assesing soil. Wallingford. Oxfordshire: CABI publishing CAB international. .
- Bowles, T., Acosta-Martínez, V., Calderón, F. & Jackson, L., 2014. Soil enzyme activities, microbial communities, and carbon and nitrogen availability in organic agroecosystems across an intensively-managed agricultural landscape. *Soil Biology and Biochemistry*, Volumen 68, pp. 252 - 262.
- Caravaca, F., Lax, A. & Albaladejo, J., 1999. Organic matter, nutrient contents and cation exchange capacity in fine fractions from semiarid calcareous soils. *Geoderma*, Volumen 93, pp. 161 - 176.
- Cardona, G., Peña, C. & Ruiz, M., 2009. Comunidades de actinomicetos en tres tipos de vegetación de la amazonia colombiana: abundancia, morfotipos y el gen 16s ADNr. *Revista de biología tropical*, 57(4), pp. 1119-1139.
- Döbereiner, J. & Day, J., 1976. Associative symbiosis in tropical grasses characterization of microorganisms and dinitrogen-fixinf sites. En: W. Newton & C. Nyman, edits. *Proc. 1st Symp. Nitrogen Fixation..* Pullman: Washington State University Press, p. 518 – 538.
- Dube, E., Chiduzza, C. & Muchaonyerwa, P., 2012. Conservation agriculture effects on soil organic matter on a Haplic Cambisol after four years of maize–oat and maize–grazing vetch rotations in South Africa. *Soil and Tillage Research* , Volumen 123, p. 21–28..
- Eivazi, F. & Tabatabai, M., 1988. Glucosidasas and galactosidasas in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, Volumen 20, p. 601 – 606.
- González, M. y otros, 2010. Influence of organic amendments on soil quality potential indicators in an urban horticultural system. *Bioresource technology*, Volumen 101, p. 8897–8901.
- Goodfellow, M. & Williams, S., 1983. Ecology of Actinomycetes. *Annual Review of Microbiology*, Volumen 37, pp. 189-216..
- IGAC, 2000. Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cundinamarca. Bogotá D.C.: Instituto Geográfico Agustín Codazi.
- Karami, A. y otros, 2012. Organic resource management: Impacts on soil aggregate stability and other soil physico - chemical properties. *Agriculture, ecosystems and environment*, Volumen 148, pp. 22 - 28.
- Keuter, A., Veldkamp, E. & Corre, M., 2014. Asymbiotic biological nitrogen fixation in a temperate grassland as affected by management practices. *Soil Biology and Biochemistry*, Volumen 70, pp. 38-46.
- Knight, T. & Dick, R., 2004. Differentiating microbial and stabilized β – Glucosidase activity relative to soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*, Volumen 36, p. 2089 – 2096.
- López-Ortega, M. y otros, 2013. Characterizatoin of diazotrophic phosphate solubilizing bacteria as growth promoters of maize plants. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 15(2), pp. 115 - 123.
- Magdoff, F. & Weil, R., 2004. *Soil Organic Matter in Sustainable Agrculture..* Boca Raton: CRC Press.
- Marschner, P. & Rengel, Z., 2007. *Soil Biology. Nutrient Cycling in Terrestrial Ecosystems*. Berlin: Springer.
- Marschner, P. & Rengel, Z., 2012. Chapter 12: Nutrient availability in soils . En: P. Marschner, ed. *Marschner’s mineral nutrition of higher plants*. s.l.:Elsevier, pp. 315 - 330.
- Martínez, E., Fuentes, J. & Acevedo, E., 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. *Journal of soil science and plant nutrition*, 8(1), pp. 68 - 96.
- Martínez, M., 2006. *Técnicas en Microbiología de Suelos y Lodos*. Proyecto CIC-FIUC. “Formación de técnicos para mejorar la fertilidad de Suelos”. s.l.:Javegraf.
- Merck, 1994. *Manual de medios de cultivo*. s.l.:s.n.

- Muñoz, A., López-Piñero, A. & Ramírez, M., 2007. Soil quality attributes of conservation management regimes in a semi-arid region of south western Spain. *Soil and Tillage Research*, Volumen 95, p. 255–265.
- Muscolo, A., Panuccio, M., Mallamaci, C. & Sidari, M., 2014. Biological indicators to assess short-term soil quality changes in forest ecosystems. *Ecological indicators*, Volumen 45, p. 416 – 423.
- Muscolo, A., Settineri, G. & Attinà, E., 2015. Early warning indicators of changes in soil ecosystem functioning. *Ecological Indicators*, Volumen 48, pp. 542 - 549.
- Oorts, K., Vanlauwe, B. & Merckx, R., 2003. Cation exchange capacities of soil organic matter fractions in a Ferric Lixisol with different organic matter inputs. *Agriculture ecosystems and environment*, Volumen 100, pp. 161 - 171.
- Panda, H. & Hota, D., 2008. *Handbook of Composite Organic Farming*. Delhi: Global Media..
- Paul, E., 2007. *Soil microbiology and biochemistry*. Third ed. Amsterdam: Elsevier.
- Pepper, I. & Gerba, C., 2004. *Environmental Microbiology. A laboratory manual*. second ed. s.l.:Elsevier.
- Pezzolla, D. y otros, 2015. Influence of exogenous organic matter on prokaryotic and eukaryotic microbiota in an agricultural soil. A multidisciplinary approach. *Soil Biology and Biochemistry*, Volumen 82, pp. 9 - 20.
- Pikovskaya, R., 1948. Mobilization of phosphorus in soil in connection with vital activity of some microbial species. *Mikrobiologiya*, Volumen 17, p. 363–370.
- Rodríguez, H. & Fraga, R., 1999. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology Advances*, Volumen 17, p. 319–339.
- Ronald, M. & Wood, P., 1982. Use of Congo Red-Polysaccharide Interactions in Enumeration and Characterization of Cellulolytic Bacteria from the Bovine Rumen. *Applied and Environmental Microbiology*, 43(4), p. 777 – 780.
- Sánchez, D., Gómez-Vargas, R., Garrido, M. & Bonilla, R., 2012. Inoculación con bacterias promotoras de crecimiento vegetal en tomate bajo condiciones de invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(7), pp. 1401 - 1415.
- Sposito, G., 2008. *The Chemistry of Soils*. Second ed. New York, USA.: Oxford University Press..
- Stirling, G. y otros, 2003. Organic Amendments enhance biological suppression of plant-parasitic nematodes in sugarcane soils. *Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane*, Volumen 25, pp. 1 - 14.
- Taboada, M. & Taboada, M., 2003. Estabilidad estructural de horizontes superficiales de suelos de prado y cultivo de la provincia de la coruña (NO, España). *Edafología*, 10(3), pp. 131 - 137.
- Tan, K. & Dowling, P., 1984. Effect of organic matter on CEC due to permanent and variable charges in selected temperate regions soils. *Geoderma*, Volumen 32, pp. 89 - 101.
- Thierfelder, C., Mwila, M. & Rusinamhodzi, L., 2013. Conservation agriculture in eastern and southern provinces of Zambia: Long-term effects on soil quality and maize productivity. *Soil and Tillage Research*, Volumen 126, p. 246–258.
- Tian, L. & Shi, W., 2014. Short-term effects of plant litter on the dynamics, amount, and stoichiometry of soil enzyme activity in agroecosystems. *European Journal of Soil Biology*, Volumen 65, pp. 23 - 29.
- Triana, M., Lara, R., Gómez, M. & Peñaloza, G., 2003. *Manejo integral de la fertilidad del suelo*. Publicación de la sociedad Colombiana de la ciencia del suelo. Primera ed. Bogotá D.C.: Editora Guadalupe Ltda.
- Turner, B., Hopkins, D., Haygarth, P. & Ostle, N., 2002. β - Glucosidase activity in pasture soils. *Applied Soil Ecology*, Volumen 20, p. 157 – 162.
- Ulrich, A. & Wirth, S., 1999. Phylogenetic diversity and population densities of culturable cellulolytic soil bacteria across an agricultural encatchment. *Microbial Ecology*, Volumen 37, pp. 238 - 247.
- USDA, 2010. *Claves para la Taxonomía de Suelos*. undécima ed. Montecillo: Departamento de agricultura de los Estados Unidos - Servicio de conservación de recursos naturales.
- Van Antwerpen, R., Haynes, R., Meyer, J. & Hlanze, D., 2003. Assessing organic amendments used by sugarcane growers for improving soil chemical and biological properties. *Proceedings of the South African Sugar Technologists Association*, Volumen 77, pp. 293 - 304.
- Von Mersi, W. & Schinner, F., 1991. An improved and accurate method for determining the dehydrogenase activity of soils with iodinitrotetrazolium chloride. *Biology and fertility of soils*, Volumen 11, pp. 216 - 220.

- Xu, Z. y otros, 2015. The variations in soil microbial communities, enzyme activities and their relationships with soil organic matter decomposition along the northern slope of Changbai Mountain. *Applied Soil Ecology*, Volumen 86, pp. 19 - 29.
- Yadav, R., Shukla, S., Suman, A. & Singh, P., 2009. Trichoderma inoculation and trash management effects on soil microbial biomass, soil respiration, nutrient uptake and yield of ratoon sugarcane under subtropical conditions. *Biology and Fertility of Soils*, Volumen 45, pp. 461 - 468.
- Yang, J. y otros, 2014. Community composition and cellulase activity of cellulolytic bacteria from forest soils planted with broad-leaved deciduous and evergreen trees. *Environmental Biotechnology*, Volumen 98, pp. 1449 - 1458.
- Yao, H., Bowman, D., Rufty, T. & Shi, W., 2009. Interactions between N fertilization, grass clipping addition and pH in turf ecosystems: Implications for soil enzyme activities and organic matter decomposition. *Soil Biology and Biochemistry*, Volumen 41, pp. 1425 - 1432.
- Yu, L., Nicolaisen, M., Larsen, J. & Ravnskov, S., 2013. Organic fertilization alters the community composition of root associated fungi in *Pisum sativum*. *Soil Biology and Biochemistry*, Volumen 58, pp. 36-41.