



EFFECTO DE LA RENOVACIÓN DE PRADERAS CON GRAMÍNEAS Y LEGUMINOSAS SOBRE LA CONCENTRACIÓN DE MICROORGANISMOS FUNCIONALES EN SUELOS ÁCIDOS

Estrella Cárdenas-Castro¹, Jorge Sánchez-Espinosa¹, Fredy Ariel Barrera-Cárdenas¹, Ana Isabel Tenjo-Morales², José Edilson Espitia-Barrera³

1 Facultad de Ciencias y Tecnologías, Universidad Santo Tomás. Bogotá D.C.
✉ cardenasvuad@usantotomas.edu.co

2 Departamento de Ciencias Básicas, Universidad de La Salle, Bogotá D.C.

3 Departamento de Ciencias Naturales y Educación Ambiental, Colegio de La Salle, Bogotá, Colombia.

Palabras Claves
praderas, leguminosa forrajera, gramíneas forrajeras, microorganismos del suelo, suelos ácidos.

RESUMEN

La microbiota del suelo es fundamental para el mantenimiento de la vida sobre la Tierra. En el presente estudio, se analizaron en suelos ácidos los efectos del laboreo y la renovación de parcelas con gramíneas y leguminosas sobre microorganismos fijadores de nitrógeno (MFN), actinomicetes y microorganismos solubilizadores de fosfatos (MSF). El suelo fue sometido a laboreo y se fertilizó con 257 kg/ha de cal dolomita y 428 kg/ha de fosfato Thomas. En las parcelas renovadas con gramíneas (PG) se sembraron cuatro especies de pastos y en parcelas leguminosa (PL) fue sembrada Cratylia argentea. No se realizó intervención al suelo de las parcelas control (PC). 24 meses después de la renovación de parcelas, se tomaron quince muestras de suelo por parcela. Para hacer el análisis microbiológico, se utilizó el método conteo en placa por siembra en superficie. En suelos de PG y PL el porcentaje del promedio de UFC/g de MFN fue del 81%, similar a las PC (82%); mientras que, en Actinomicetes fue menor del 16% y en MSF fue menor del 10%. El suelo de PG fue ligeramente favorable para Actinomicetes; mientras que el suelo de PL tuvo algún efecto positivo en los MSF.

EFFECT OF PASTURES RENEWAL WITH GRASSES AND LEGUMES ON FUNCTIONAL MICROORGANISMS' CONCENTRATION IN ACID SOILS

KEY WORDS:

grasslands, fodder legumes, feed grasses, soil microorganisms, acid soils.

SUELOS ECUATORIALES
49 (1 y 2): 1-8

ISSN 0562-5351
e-ISSN 2665-6558

ABSTRACT

The soil microbiota is essential for the maintenance of life on Earth. In the present study, the effects of tillage and renewal of plots with grasses and legumes on nitrogen-fixing microorganisms (NFM), Actinomycetes and phosphate solubilizing microorganisms (PSM) were analyzed in acidic soils. The soil was plowed and fertilized with 257kg ha⁻¹ of dolomitic limestone and 428kg ha⁻¹ of Thomas phosphate. Four grass species were planted in the grasses plots (GP). Cratylia argentea was planted in the legumes plots (LP). No intervention was performed on CP soils. 24 months after renewing and planting meadows with grasses and legumes, fifteen soil samples were obtained from each plot. The microbiological laboratory analysis was performed by the plate counting per surface seeding methods. The concentration of CFU/g soil was measured in plaques. In soils of GP and LP the average percentage of CFU/g of NFM was 81%, similar to the PC (82%); while, in Actinomycetes it was less than 16% and in PSM it was less than 10%. The GP soil was slightly favorable for Actinomycetes; while, the soil of LP had some positive effect on the PSM.

Rec.: 11.05.2019
Acep.: 20.06.2019

INTRODUCCIÓN

Los microorganismos del suelo son ecológicamente importantes, porque hacen parte de los ciclos biogeoquímicos del carbono, fósforo, nitrógeno, azufre y oxígeno. Estos elementos son esenciales para la nutrición de las plantas. Además, los microorganismos del suelo, están involucrados en la descomposición de la materia orgánica, la formación de asociaciones simbióticas, fijación de nitrógeno atmosférico, solubilización de fosfatos, producción de antibióticos y mantenimiento de un potencial de información genética amplio y todavía desconocido (Osorio, 2011; Schloter et al. 2018; Stott, 2019). De otra parte, algunos microorganismos que producen sustancias que promueven crecimiento vegetal han sido aislados de suelos cubiertos con pastizales en zonas tropicales. Estos suelos, pueden presentar alta salinidad o alta acidez (Loredo-Osti et al. 2004). Los microorganismos del suelo fijadores de nitrógeno (bacterias, actinomicetos y cianobacterias) son productores de enzimas como la nitrogenasa; la cual, transforma el nitrógeno atmosférico (N_2) en amonio (NH_4^+), dejándolo disponible en el suelo. Este producto es absorbido por las raíces de las plantas para la síntesis de proteínas y ácidos nucleicos. Los microorganismos fijadores de nitrógeno atmosférico actúan en forma libre o en asociaciones simbióticas con hongos (micorrizas) o con plantas (nódulos) (Ingham, 2000). En el suelo existen microorganismos fotosintéticos; los cuales actúan en forma libre en la fijación de N_2 atmosférico; tales como: *Rhodobacter*, algas verde-azules (*Azolla*, *Anabaena* y *Nostoc*). Estos microorganismos fijan el N_2 atmosférico en células especializadas denominadas heterocistes. Además, en el suelo existen también microorganismos heterótrofos no-fotosintéticos, principalmente de los géneros: *Clostridium* (anaeróbicos), *Azotobacter*, *Azospirillum* y *Beijerinckia* (aeróbicos); los cuales, tienen un gran potencial agronómico para suelos ácidos y de baja fertilidad. Utilizándolos en aplicaciones en cultivos de cereales (maíz, caña de azúcar, trigo, centeno y sorgo) y en cultivos de forrajes tropicales (De Felipe-Antón, 2004; Celaya-Michel & Castellanos-Villegas, 2011). Al respecto, Jurgensen and Davey (1971) señalan en su investigación la importancia de

Clostridium en la fijación de nitrógeno atmosférico en suelos ácidos.

Los actinomicetos son un grupo de microorganismos procariotas Gram-positivos, en su mayoría aerobios que forman parte de la población microbiana del suelo. Los actinomicetos en su actividad metabólica producen metabolitos secundarios, importantes como antibióticos; los cuales son de aplicación en medicina, veterinaria y agricultura. Las funciones ecológicas de estos microorganismos están implicadas en la descomposición de la materia orgánica y en el ciclo del carbono (Evangelista-Martínez et al. 2017). Se ha encontrado en suelos ácidos especies acidófilas principalmente del género *Streptomyces* (Zenova et al. 2011).

Los microorganismos solubilizadores de fosfatos (MSF) son componentes importantes de la microbiota del suelo, los más abundantes son bacterias y hongos. Algunos géneros de Bacterias solubilizadoras de fosfatos son: *Pseudomonas*, *Enterobacter* y *Bacillus*. Entre los hongos que presentan alta actividad en la solubilización de fosfatos, son bien conocidos los siguientes géneros: *Penicillium*, *Aspergillus* y *Mortierella*. Los MSF en su actividad metabólica ya sea por respiración oxidativa o por fermentación de azúcares, producen ácidos orgánicos (ácido glucónico, ácido oxálico, ácido cítrico, ácido láctico, ácido tartárico, ácido aspártico). La solubilización de fosfatos por estos microorganismos se da cuando liberan protones y ácidos orgánicos en el suelo. Se ha detectado que la producción de ácidos orgánicos por MSF, aumenta cuando existe amonio (NH_4^+) en la solución del suelo (Osorio, 2011). Esta observación fue confirmada en ensayos de laboratorio realizados con el hongo *Mortierella* sp por Habte & Osorio (2012); quienes en un medio se colocaron el hongo, roca fosfórica y amonio (NH_4^+) y en otro medio colocaron el hongo, roca fosfórica y nitrato (NO_3^-). El hongo liberó ácido oxálico y logro disolver la roca fosfórica en presencia de amonio. De otra parte, Angulo et al., (2012), aislaron y se determinaron la actividad fosfatasa de tres cepas de bacterias solubilizadoras de fosfatos de suelos de los llanos orientales de Colombia. García et al. (2012), aplicaron inoculaciones de estas tres cepas de bacterias en

suelos de Casanare para medir su efecto sobre el crecimiento de plantitas de vivero de *Elaeis guineensis* Jacq.

El pH del suelo es considerado como uno de los factores importantes para la composición y diversidad de comunidades microbianas del suelo (Cho, 2016). En un análisis de microorganismos de 88 muestras de suelo de Norte y Sur América realizado por Lauber et al., (2009); se encontró correlación positiva alta entre una gama de pH del suelo y la abundancia relativa de Acidobacteria, Actinobacteria, y Bacteroidetes. Encontraron que la abundancia relativa de Acidobacterias estuvo entre el 50% y 70% en suelos con pH entre 4 y 5; mientras que en pH por encima de 6 la abundancia relativa fue menor del 30%. Por el contrario la abundancia relativa de Actinobacterias fue menor del 10% en suelos con pH entre 4 y 5; mientras que en suelos con pH mayor de 6 la abundancia relativa de Actinobacterias estuvo entre el 20% y el 40%. Observaron similar comportamiento en Bacteroidetes.

Los suelos de la región de los llanos orientales de Colombia se originaron por sedimentación en el cuaternario. Actualmente se aprecian tres tipos de paisajes: piedemonte, llanuras aluviales y la altillanura. Los tipos de suelo dominantes en esta región, son: Oxisoles, Ultisoles y Espodosoles,

correspondientes a suelos transformados, poco fértiles, ferrosos y muy ácidos (Sánchez-Espinosa and Rubiano-Sanabria, 2015). En los llanos orientales es predominante el bioma de sabanas tropicales, este está cubierto con gramíneas de los géneros *Andropogon*, *Axonopus*, *Leptocoryphium*, *Paspalum* y *Trachypogon* (Malangón-Castro, 2003). Los suelos de piedemonte están ubicados en la base de la cordillera oriental y están formados principalmente por arcillas y conglomerados procedentes de la denudación de rocas de la cordillera. Estos son suelos ácidos con alto contenido de hierro y aluminio, presentan bajo contenido de bases de intercambio y bajo contenido de nitrógeno y fósforo (Sánchez-Espinosa, 2010).

El propósito de este trabajo fue analizar después de 24 meses el efecto del laboreo y la renovación de parcelas con gramíneas y leguminosas sobre la concentración de microorganismos fijadores de nitrógeno (MFN), actinomicetes y microorganismos solubilizadores de fosfatos (MSF) en suelos ácidos de piedemonte de los llanos orientales de Colombia. Este trabajo hizo parte del proyecto de investigación: "Determinación del impacto ambiental de dos sistemas silvopastoriles de producción de recursos forrajeros y de praderas tradicionales destinados al mantenimiento de bovinos productores de carne en el Piedemonte Casanareño 2008MARD-3511".

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Ubicación del área de estudio. El estudio se realizó con muestras de suelo de fincas ganaderas ubicadas en los municipios de Yopal y Aguazul, departamento de Casanare, Colombia; como sigue: finca Berlín 5°11'30"N y 72°32'5"W; finca Campo Alegre 5°21'37"N y 72°14'26"W; finca Cartagena 5°14'12"N y 72°18'14"W; finca La Arenosa 5°5'46"N y 72°18'15"W; finca Matapantano 5°19'30"N y 72°18'2"W. Altitud aproximada del área de estudio 325 msnm y la vegetación predominante es de gramíneas, para pastoreo del ganado.
2. Condiciones de clima y características químicas del suelo del área de estudio. La zona de los llanos orientales presenta una época seca Diciembre-Marzo y época lluviosa Abril-Noviembre con precipitación media anual entre 50 y 350 mm y

temperatura media (25-28°C) (Bustamante et al. 2013; IDEAM, 2014). En cuanto a las características químicas del suelo del área de estudio Páez-Martínez et al. (2014) y Cárdenas-Castro et al. (2016), realizaron un análisis químico del suelo en las mismas parcelas y fincas del presente trabajo. Algunos resultados después de 24 meses de renovación de parcelas con gramíneas y leguminosas, son los siguientes: en suelo de las parcelas renovadas sometidas a laboreo y fertilización, el contenido promedio de carbono orgánico estuvo entre 0.76 y 2%, el contenido promedio de Al entre 0.48 y 1.66 meq/100g, el contenido promedio de Fe entre 61.4 y 196.36 ppm, el contenido promedio de P entre 5.16 y 24.86 ppm y el pH promedio entre 4.8 y 5.2. Mientras que, en

- suelos de parcelas control el porcentaje promedio de carbono orgánico estuvo entre 1.0 y 1.86%, el contenido promedio de Al entre 0.7 y 3.03% meq/100g, el contenido promedio de Fe entre 112.3 y 220 ppm, el contenido promedio de P entre 2.9 y 14.9 ppm y el pH promedio entre 4.7 y 5.0.
3. El diseño de las parcelas de renovación fue realizado por Conde et al. (2012). El área de cada parcela para renovación con gramíneas fue de siete hectáreas en cada finca. El suelo para parcelas de renovación, se sometió labranza (arado y rastrillado); después de la labranza el suelo se fertilizó con 257 kg/ha de cal dolomita y 428 kg/ha de abono fosfato Thomas (registro nacional ICA No, 066). En las parcelas de renovación con gramíneas (PG) se utilizó una maquina sembradora de arroz para hacer la dispersión de semillas de una mezcla de cuatro especies de pastos: *Panicum máximum* Jacq (n.c. mombasa) (10,5 kg/ha), *Brachiaria brizantha* (Hochst. Ex A. Rich) Stapf (n.c toledo) (14 kg/ha), *Brachiaria decumbens* (Stapf) (3,5 kg/ha) y *Brachiaria dictyoneura* (Figari y De Not) Stapf.) (n.c. llanero) (14 kg/ha). El área de la parcela de leguminosa (PL) fue de 0,1 hectárea, en la cual se sembraron manualmente las semillas de *Cratylia argentea* (Desv) O. Kuntze realizando hoyos en el suelo a una distancia de 0.5 m. La parcela control (PC) no se les hizo ningún tratamiento de laboreo ni fertilización y contenía principalmente *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick.
 4. A los 24 meses después del establecimiento de las parcelas (PG) y (PL); se tomaron quince muestras de suelo superficial (0-10 cm) por parcela. Cada muestra se colocó en bolsa de polietileno estéril con capacidad de 1kg; todas las muestras se almacenaron en cajas de icopor para el transporte al laboratorio. Al día siguiente de la toma de las muestras de suelo, se realizó el análisis en el Laboratorio Nacional de Suelos del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). En el laboratorio se utilizó el método conteo en placa por siembra en superficie (AOAC, 1990; IGAC, 2006). Para los tres tipos de microorganismos: actinomicetes, fijadores de nitrógeno (MFN) y solubilizadores de fosfatos (MSF) se contabilizó el número de unidades formadoras de colonia por gramo de suelo (UFC/g).
 5. El análisis estadístico se realizó con el software R versión 3.5.1. Se hizo una prueba no paramétrica para comparación de muestras independientes Kruskal-Wallis (alfa=0,05), para probar diferencias significativas en los niveles promedios de las variables estudiadas (UFC/g, tipo de microorganismos, pH del suelo) con respecto a las parcelas analizadas. Para identificar en dónde habían diferencias se utilizó una prueba Tukey (alfa=0,05). Para medir el grado de relación entre las variables, se utilizó el coeficiente de concordancia no paramétrico de Kendall (alfa=0,05), con el cual se probó la correlación entre las variables.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A los dos años después de la renovación de parcelas, se encontró que el promedio de UFC/g suelo de MFN en los tipos de parcelas renovadas y en la parcela control fue alto, comparado con las UFC/g de suelo de actinomicetes y MSF (Tabla 1). El porcentaje de UFC/g de MFN en las parcelas renovadas y en las parcelas control estuvo entre 81

y 82%, mientras que el porcentaje de UFC/g de actinomicetes fue del 16% en PG, 8% en PL y 10% en PC. En cuanto al porcentaje de UFC/g de MSF fue del 3% en PG, 10% en PL y 4% en PC.

Tabla 1. Promedio de microorganismos del suelo, después de 24 meses de renovación de parcelas con pastos y legumbres.

Parcelas	MFN UFC/g	Actinomicetes UFC/g	MSF UFC/g	pH
Gramineas (PG)	3.32E+06	6.44E+05	1.27E+05	4.3 ± 0.05
	±	±	±	
Leguminosa (PG)	5.39E+05	5.57E+04	1.33E+04	4.3 ± 0.07
	±	±	±	
Control (PC)	2.74E+06	2.79E+05	3.53E+05	4.2 ± 0.04
	±	±	±	
	2.31E+05	3.45E+04	3.53E+04	
	3.28E+06	5.85E+05	1.51E+05	
	±	±	±	
	6.13E+05	4.87E+04	1.54E+04	

MFN= microorganismos fijadores de Nitrógeno. MSF= microorganismos solubilizadores de Fosfatos

La prueba de Kendal ($n=15$, $\alpha=0,05$) produjo un coeficiente de correlación positivo 40,2% de UFC/g entre Actinomicetes y MFN; mientras que Actinomicetes presento una correlación inversa (-52%) de UFC/g con MSF. Se observó también correlación negativa baja (-28%) de UFC/g entre MFN y MSF. En cuanto al pH tuvo correlación positiva baja con microorganismos tipo Actinomiceto (19%), con microorganismos fijadores de nitrógeno (31%) y con microorganismos solubilizadores de fosfatos (12%).

La prueba de Kruskal-Wallis ($n=15$, $\alpha=0,05$), mostro que no hay diferencias significativas ($p=$

0,623) entre los promedios de UFC/g suelo de MFN con respecto a los dos tipos de parcelas renovadas y las parcelas control (Figura 1). La prueba de Tukey ($\alpha=0,05$) mostro que no existen diferencias significativas del promedio de UFC/g suelo entre PL y PC ($p=0,597$), entre PL y PG ($p=0,572$) y entre PG y PC ($p=0,9989$). Como se observa en la Figura 1, los MFN mostraron la mayor concentración en UFC/g en los tres tipos de parcelas; lo cual sugiere que ni la labranza del suelo ni la renovación de las parcelas afectaron a estos microorganismos. Probablemente la mayoría de pastizales de sabanas se han adaptado a condiciones de alta acidez del suelo, dada la

actividad de los microorganismos de vida libre fijadores de nitrógeno atmosférico; concordante con Mantilla-Paredes et al. (2009) quienes analizaron estos microorganismos en suelos ácidos cubiertos de pastizales en la Amazonía.

La prueba de Kruskal-Wallis ($n=15$, $\alpha=0,05$) mostro diferencias significativas ($p=0,0344$) entre los promedios de UFC/g suelo de Actinomicetes con respecto a los tres tipos de parcelas (Figura 1). La prueba de Tukey ($\alpha=0,05$) mostro diferencias significativas entre los promedios de UFC/g suelo de Actinomicetes en PL y PC ($p=0,0291$) y entre PL y PG ($p=0,0123$); mientras que entre PG y PC ($p=0,8186$) no se observaron diferencias significativas en el promedio de UFC/g. El promedio de UFC/g de los microorganismos actinomicetes en suelos de PL fue significativamente menor (Fig. 1); comparado con los suelos de PG y PC. Probablemente en la parcela de leguminosa en donde se observó mayor número de UFC/g de MSF produjeron algún efecto sobre los actinomicetes en los suelos de las parcelas de leguminosa, acorde con la correlación inversa de -52% entre actinomicetes y MSF demostrada con la prueba de Kendal.

La prueba de Kruskal-Wallis ($n=15$, $\alpha=0,05$) mostro diferencias significativas ($p=0,006$) entre el promedio de UFC/g suelo de MSF con respecto a los tres tipos de parcelas (Figura 1). La prueba de Tukey ($\alpha=0,05$) mostro diferencias significativas del promedio de UFC/g suelo de MSF entre PG y PC ($p=0,00001$) y entre PL y PG ($p=0,00002$); mientras que entre PG y PC ($p=0,589$) no se observaron diferencias significativas. Como se observa en la Figura 1, se encontró mayor cantidad de UFC/g suelos de MSF en suelos de parcelas de leguminosa; se supone que el suelo de parcelas de leguminosa favorece el incremento de microorganismos solubilizadores de fosfatos; en comparación con los suelos de parcelas renovadas con gramíneas y parcelas control de gramíneas. Estos resultados sugieren que los MFN de la parcela leguminosa; probablemente liberaron amonio al medio del suelo como lo demostraron Habte & Osorio (2012); o quizás por el fertilizante de fosforo agregado al suelo en el proceso de labranza, que fue aprovechado por los MSF para incrementar sus poblaciones en los suelos de parcelas de leguminosa.

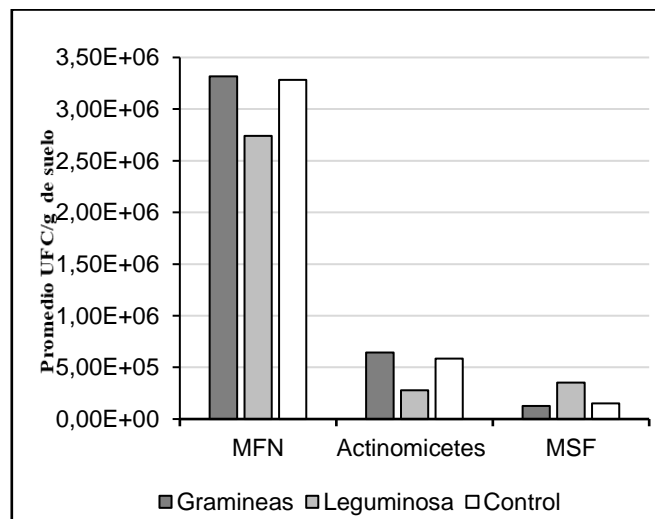


Figura 1. Promedio de UFC g-1 de suelo de microorganismos funcionales en dos tipos de parcelas tratadas y una parcela de control. MFN = microorganismos fijadores de nitrógeno; MSF = microorganismos solubilizadores de fosfato.

En este trabajo solo se presentan observaciones preliminares; por consiguiente, es necesario realizar investigación sobre renovación de praderas con asociaciones gramíneas-leguminosas y hacer un seguimiento prolongado a

grupos de microorganismos funcionales asociados con la cobertura vegetal; con la finalidad de establecer la evolución de estos microorganismos importantes en la fertilidad de suelos ácidos.

AGRADECIMIENTOS

Al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, a la Universidad de La Salle y al Comité Departamental de Ganaderos de Casanare por la financiación del proyecto "Determinación del impacto ambiental de dos sistemas silvopastoriles de producción de

recursos forrajeros y de praderas tradicionales destinados al mantenimiento de bovinos productores de carne en el Piedemonte Casanareño 2008MARD-3511".

REFERENCIAS

ANGULO-CORTES J, GARCÍA-DIAZ A, PEDROZA AM, MARTÍNEZ-SALGADO MM, GUTIÉRREZ-ROMERO V (2012). Diseño de un medio para la producción de un co-cultivo de bacterias fosfato solubilizadoras con actividad fosfatasa. *Universitas Scientiarum* 17(1): 43-52.

AOAC. (1990). *Official Methods of Analysis*. 15th Edition. Association of Official Analytical Chemists (AOAC). INC. Washington D.C. USA. 771pp.

BUSTAMANTE-LOZANO A.M, PÁEZ-MARTÍNEZ A, ESPITIA-BARRERA JE, CÁRDENAS-CASTRO E (2013) Análisis de datos meteorológicos para identificar y definir el clima en Yopal, Casanare. *Rev. Med. Vet.* 25: 85-92.

CÁRDENAS-CASTRO E, PÁEZ-MARTÍNEZ A, BUSTAMANTE-LOZANO AM (2016) Determinación de la calidad del suelo después de un tratamiento para renovación de praderas en cinco fincas ganaderas del Departamento de Casanare. En: *Memorias del XVIII Congreso Colombiano de la Ciencia del Suelo*. ISBN: 978-958-8598-15-4. Editores Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. 606-612p.

CELAYA-MICHEL H, CASTELLANOS-VILLEGAS AE (2011) Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana* 29(3): 343-356.

CHO SJ, KIM MH, LEE YO (2016) 2016. Effect of pH on soil bacterial diversity. *J. Ecol. Environ.* 40:1-9

CONDE A, BETANCOURT L, CASTELLANOS AF, CASTIBLANCO S, PAREJA RI, MORENO D, PARDO S, GONZÁLEZ R (2012) Implementación de Modelos Silvopastoriles en el Piedemonte Casanareño. Editorial Universidad De La Salle, Bogotá. ISBN: 978-958-8572-58-1. 55p.

DE FELIPE-ANTON MR (2004) Interacciones microorganismos-suelo-planta en la preservación del Medio Ambiente y la Salud. *An R Acad Nac Farm* 70:743-776.

EVANGELISTA-MARTÍNEZ Z, QUIÑONES-AGUILAR EE, RINCÓN-ENRÍQUEZ G (2017) Potencial biotecnológico de las actinobacterias aisladas de suelos de México como fuente natural de moléculas bioactivas: compuestos antimicrobianos y enzimas hidrolíticas. *Temas Cien & Tec* 21(63): 39-51.

GARCÍA A, ANGULO J, MARTÍNEZ MM, GUTIÉRREZ V (2012) Effect of phosphate-solubilizing bacteria and compost on the nutritional characteristics of the oil palm crop (*Elaeis guineensis* Jacq.) in Casanare, Colombia. *Agromonía Colombiana* 30(2): 274-281.

HABTE M, OSORIO NW (2012) Effect of Nitrogen Form on the Effectiveness of a Phosphate-Solubilizing Fungus to Dissolve Rock Phosphate. *J. Biofertil. Biopestici.* 3(5):127. doi:10.4172/2155-6202.100012

IDEAM (2014) Atlas Climatológico de Colombia 1981-2010. Precipitación Media Total Yopal-Casanare. Disponible en: <http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>

IGAC (2006). Métodos analíticos del laboratorio de suelos. 6ª ed., Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), subdirección de Agrología, Imprenta Nacional de Colombia, Bogotá D.C.

INGHAM ER (2000). The living Soil: Bacteria. In: Tugel, A.J., A.M. Lewandowski, and D. HappevonArb, eds. *Soil Biology Primer*. Ankeny, IA: Soil and Water Conservation Society. Available: <http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/soils/health/biology/> [access date July 30 2019].

JURGENSEN MF, DAVEY CB (1971) Nonsymbiotic nitrogen-fixing micro-organisms in forest and tundra soils. *Plant Soil* 34: 341-356.

LAUBER CL, HAMADY M, KNIGHT R, FIERER N (2009) Pyrosequencing-Based Assessment of Soil pH as a Predictor of Soil Bacterial Community Structure at the Continental Scale. *Appl Environ Microbiol* 75(15): 5111–5120.

LOREDO-OSTI C, LÓPEZ-REYES L, ESPINOSA-VICTORIA D (2004) Bacterias promotoras del crecimiento vegetal asociadas con gramíneas: una revisión. *TERRA Latinoamericana* 22(2): 225-239.

MALAGÓN-CASTRO D (2003) Ensayo Sobre Tipología de Suelos Colombianos. Énfasis en Génesis y Aspectos Ambientales. *Revista Acad Colomb Ci Exact* 27(104): 319-341.

MANTILLA-PAREDES AJ, CARDONA GI, PEÑA-VELEGAS CP, MURCIA U, RODRÍGUEZ M,

ZAMBRANO MM (2009) Distribución de bacterias potencialmente fijadoras de nitrógeno y su relación con parámetros fisicoquímicos en suelos con tres coberturas vegetales en el sur de la Amazonia colombiana. *Rev. Biol. Trop.* 57 (4): 915-927.

OSORIO N (2011). Microorganismos del suelo y su efecto sobre la disponibilidad de nutrientes en suelos ácidos del trópico. *Suelos Ecuat.* 41(1): 74-91.

PAEZ-MARTINEZ A, BUSTAMANTE LOZANO AM, ESPITIA-BARRERA JE, CARDENAS-CASTRO E (2014) Análisis del componente suelo en sistemas silvopastoriles establecidos y sistemas tradicionales en fincas ganaderas de piedemonte casanareño. *Rev. Cien. Ani.* 8: 9–19.

SÁNCHEZ-ESPINOSA J (2010) Los suelos de Colombia, 486-552 pp. En: Burbano-Orjuela H., F. Silva-Mojica (ed) *Ciencias del suelo, principios básicos*. Segunda edición. Soc. Col. Ci .Suelo. Bogotá.

SÁNCHEZ-ESPINOSA J, RUBIANO-SANABRIA Y (2015) Procesos específicos de formación en Andisoles, Alfisoles y Ultisoles en Colombia. *Rev. EIA* 12(2): 85-97.

SCHLOTTER M, NANNIPIERI P, SØRENSEN SJ, VAN ELSAS JD (2018) Microbial indicators for soil quality. *Biol. Fertil. Soils* 54:1-10.

STOTT DE (2019) Recommended Soil Health Indicators and Associated Laboratory Procedures. Soil Health Technical Note No. 430-03. U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.

ZENOVA, GM, MANUCHAROVA NA, ZVYAGINTSEV DG (2011) Extremophilic and Extremotolerant Actinomycetes in Different Soil Types. *Eurasian Soil Science*, 44(4): 417-436. DOI: 10.1134/S1064229311040132.