

Biomasa y actividad microbiana de suelos de nidos de *Acromyrmex rugosus* (Formicidae: Hymenoptera) en la reserva campesina La Montaña, Atlántico, Colombia

Yaremis Meriño-Cabrera¹, Leidy García-Correa¹, Neis Martínez-Hernández², Roger Valle-Molinares²

¹Semillero Investigación Insectos (NEOPTERA) del Caribe colombiano, Grupo Biodiversidad del Caribe colombiano, Programa de Biología, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad del Atlántico, Ciudadela universitaria, km 7 vía Puerto Colombia, Barranquilla, Colombia.

²Grupo de Investigación Biodiversidad del Caribe colombiano. Programa de Biología, Facultad de Ciencias Básicas, Universidad del Atlántico, Ciudadela universitaria, km 7 vía Puerto Colombia. Barranquilla, Colombia. E-mail: yaremisbmc@gmail.com

Resumen

MERIÑO-CABRERA Y, GARCÍA-CORREA L, MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ N, VALLE-MOLINARES R. 2014. Biomasa y actividad microbiana de suelos de nidos de *Acromyrmex rugosus* (Formicidae: Hymenoptera) en la reserva campesina La Montaña, Departamento del Atlántico, Colombia. ENTOMOTROPICA 29(3): 159-171.

Se evaluó la biomasa y actividad microbiana de suelos de las estructuras biogénicas de *Acromyrmex rugosus* en la Reserva Campesina La Montaña (RCM), Atlántico, Colombia; mediante los métodos de Fumigación-Extracción y tasa de respiración basal, respectivamente. De igual manera, se determinaron parámetros físicos (textura, temperatura del suelo y ambiente, humedad del suelo y ambiente y pH) y químicos (bases intercambiables: K⁺, Ca⁺², Mg⁺²). Se determinó que no existen diferencias significativas (p > 0,05) entre la biomasa y actividad microbiana de los nidos al compararlos con los suelos circundantes. Se atribuye al bajo tiempo de establecimiento de los nidos, tal como se evidenció en los análisis de textura del suelo, y al realizar el estudio en una época específica del año.

Palabras clave adicionales: Entisol, estructura-biogénica, fumigación-extracción.

Abstract

MERIÑO-CABRERA Y, GARCÍA-CORREA L, MARTÍNEZ-HERNÁNDEZ N, VALLE-MOLINARES R. 2014. Biomass and microbial activity in soils of nests of *Acromyrmex rugosus* (Formicidae: Hymenoptera) in the rural reserve La Montaña, Atlántico Department, Colombia. ENTOMOTROPICA 29(3): 159-171.

The biomass and microbial activity of soil biogenic structure of *Acromyrmex rugosus* (Formicidae) were evaluated in the rural reserve La Montaña, Atlántico Department, Colombia. The microbial biomass was determined through Fumigation-Extraction method and the microbial activity by means of basal soil respiration rate. Physical and chemical properties, like soil texture, temperature, soil moisture and pH, as well as chemistry (K⁺, Ca⁺², Mg⁺²), were also measured. It was found that there are no significant differences (p > 0.05) between the biomass and microbial activity of ants nests when comparing them with the surroundings oils. We attribute this to short age of the nests, as evidenced by soil texture analysis, and to the specific season of the year, in which the study was carried out.

Additional key words: Biogenic-structure, entisol, fumigation-extraction.

Introducción

La dinámica de los nutrientes puede ser significativamente afectada por la actividad de la fauna edáfica, entre los que se destacan las hormigas y termitas, como bioperturbadores de gran importancia para los procesos del suelo y la disponibilidad espacial del recurso trófico. Las hormigas, pueden participar en dichos procesos mediante la creación de estructuras biogénicas, característica esencial que las incluye dentro de los ingenieros del ecosistema (Jouquet et al. 2006, Jones et al. 1994).

Entre los cambios que estos insectos causan en los ambientes edáficos se destacan la alteración de la porosidad, el drenaje, la composición química, y la actividad y abundancia de los microorganismos. Específicamente, los nidos de hormigas pueden presentar menos contenido de agua, mayor porosidad, alta abundancia de hongos y bacterias (aunque las poblaciones de actinomicetos tienden a disminuir) y los valores de pH tienden a la neutralidad en comparación con los suelos circundantes (Frouz y Jilková 2008)

La mayoría de las investigaciones sobre como las hormigas afectan las propiedades y aspectos biológicos del suelo, se basan en el papel que cumplen estos insectos en la modificación de las propiedades químicas, tales como pH y nutrientes, entre los que se incluye carbono (C), nitrógeno (N) y bases intercambiables (K^+ , Mg^{+2} , Ca^{+2} y Na^+) y en la dinámica de descomposición de la materia orgánica (Jilková et al. 2011). Otros análisis se enfocan en como grupos de microorganismos específicos pueden ser inhibidos o estimulados directamente (con la secreción de antibióticos y la acumulación de desechos) e indirectamente con la modificación del suelo como hábitat, teniendo como ejemplo que en hormigueros ricos en nutrientes, como los del género *Pogonomyrmex*, se ha demostrado que las micorrizas presentan menor abundancia. En el caso del género *Acromyrmex*, este es un ejemplo de hormigas asociada a hongos, los

cuales cultiva (jardines de hongos) y emplea como recurso alimenticio. Y se ha señalado que estas hormigas, con el fin de defender sus jardines, tienen un mutualismo con bacterias que producen antibióticos con actividad específica aparente contra microparásitos específicos, como *Escovopsis* spp. (Currie et al. 1999, 2003).

A pesar de lo anterior, son escasos los estudios sobre los nidos de hormigas del género *Acromyrmex*, en torno a las modificaciones o efectos que estas producen en las propiedades biológicas como biomasa y actividad microbiana, como parámetros importantes que determinan el equilibrio de la productividad de los ecosistemas (Singh y Ghoshal 2010). De igual manera, dado que los valores de biomasa y actividad microbiana son susceptibles a cambios, ya sea por el manejo agronómico (prácticas de labranza, aporte de fertilizantes inorgánicos y uso de pesticidas) o por variaciones en las características físico-químicas del medio, se convierten en indicadores claves de fertilidad y calidad del suelo (Yang et al. 2007).

Se debe destacar que a nivel del Caribe Colombiano, la información en cuanto a este tema es escasa y en su mayoría está restringida a investigaciones no publicadas. Así mismo, la mayoría de estos estudios en Colombia, se han basado en los efectos de los manejos agrícolas sobre la biomasa y actividad microbiana (Vallejo et al. 2012), dejando de lado la búsqueda de nuevas estrategias, que no sólo reduzcan la pérdida de las condiciones físico-químicas y biológicas del suelo, sino que de manera natural, y sin afectar otras propiedades esenciales, lleven al aumento de la biomasa y actividad de los microorganismos. En el caso concreto de *A. rugosus*, en Colombia no existen revisiones recientes de esta especie y en cuanto a nivel mundial, las investigaciones se concentran en Brasil, existiendo diferentes estudios que indican las características externas e internas de las estructuras biogénicas de esta especie (Verza et al. 2007), el origen del parasitismo social de

algunas especies de *Acromyrmex*, donde incluyen *A. rugosus* (Sumner et al. 2004) y otros estudios relacionados a como la comunicación entre las hormigas obreras de esta especie, influyen el tipo de planta transportada hacia los nidos para el cultivo de los hongos (Pérez- Lachaud et al. 2010).

Este tipo de hormigas, mediante la construcción de sus nidos mejoran la penetración de las raíces de las plantas, la capacidad de cambio catiónico y la remoción de suelo, aumentando la fertilidad y facilitando la recuperación del bosque en áreas degradadas (Della-Lucia 2003). Teniendo en cuenta lo anterior esta especie podría beneficiar las condiciones del suelo y contribuir a la gama de estrategias empleadas en el mejoramiento de los ecosistemas edáficos.

Con el fin de contribuir al conocimiento de este tema y plantear nuevas estrategias para la mejora de los procesos productivos, se evaluó la biomasa y actividad microbiana de suelos de las estructuras biogénicas de *Acromyrmex rugosus* (Formicidae) en la Reserva Campesina La Montaña (RCM), Atlántico, Colombia.

Materiales y Métodos

Fase de campo

En el fragmento de bosque seco tropical (Bs-T) localizado en la Reserva Campesina La Montaña (RCM) (10° 46' 02,6" N y 75° 02' 34" O), se realizó un muestreo en septiembre de 2012, correspondiente a la época de lluvia en el área de estudio. En el fragmento se muestrearon un total de 10 nidos o estructuras biogénicas de la hormiga *A. rugosus* (NA). Teniendo en cuenta la entrada principal de cada estructura biogénica, se tomaron cuatro muestras siguiendo la ubicación de los puntos cardinales para obtenerse un total de 500 g de suelo. Además, se tomó otra muestra de suelo sin presencia de nido (SN), de igual peso, a una distancia de 2m de la entrada principal de cada estructura siguiendo la metodología propuesta por Wu et al. (2010).

La profundidad para la extracción de la muestra de suelo osciló entre 9 a 10 cm (Madureira et al. 2013). La toma de la muestra se realizó empleando un nucleador de suelo, obteniéndose un total de 20 muestras para todo el estudio. Cada muestra de 500 g fue almacenada en bolsas Ziploc® (2 lbs) y conservadas en un recipiente con hielo, con el propósito de detener cualquier actividad microbiana y procesos de mineralización.

Fase de laboratorio

El procesamiento de las muestras fue realizado en el Laboratorio de Biogeoquímica de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Para cada muestra, se determinó el pH mediante una suspensión de Cloruro de Calcio (CaCl_2 0.01 M), usando un electrodo de vidrio. Para el análisis de textura, se empleó el método de Bouyoucos, determinando los porcentajes de limo, arcilla y arena en las muestras de suelo (Bouyoucos1962). Por otro lado, las bases intercambiables (BI) (K^+ , Ca^{+2} y Mg^{+2}) fueron extraídas mediante una solución de Acetato de Amonio ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1N) y su cuantificación se realizó mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica. Para determinar la biomasa microbiana del suelo (BM) se empleó el método Fumigación-Extracción (fumigación con cloroformo y extracción con una solución de K_2SO_4), el cual consiste en la cuantificación del C- CO_2 producido por las muestras de suelo (fumigado con cloroformo y no fumigado). El Carbono orgánico total se determinó mediante el método de oxidación del Dicromato ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) propuesto por Vance et al. (1987). La actividad microbiana se determinó mediante el método de respiración basal (BAS) por titulación, siguiendo el protocolo propuesto por Stozky (1965).

Análisis de datos

Se emplearon análisis de tipo descriptivos para los datos de los parámetros analizados (biomasa microbiana, actividad microbiana y parámetros

físicos). Además, se realizaron pruebas de t-pareadas con el fin de determinar si existían diferencias significativas entre los distintos suelos analizados (suelo con nidos y sin nidos) en función de los distintos parámetros estudiados. Se realizó un Análisis de Componentes principales (ACP) de tipo R (en función de los coeficientes de correlación) para cada tipo de suelo (Nidos de *A. rugosus*=NA y suelos en ausencia de estos= SN) (Pla 1986). Para todo el procedimiento estadístico se emplearon los programas Microsoft Excel 2007 y el paquete estadístico PAST 1.63 (Hammer et al. 2001).

Resultados y Discusión

pH de suelo

Los valores de pH, en las muestras de suelo de referencia (SN), como en los suelos de nidos de *A. rugosus*, se encuentran dentro del rango señalado para Colombia (IGAC 2012) (Figura 1); en donde aproximadamente el 85 % de los suelos tienen valores de pH menores a 5,5 y el 57,6 % tiene pH > 5. Esto debido a que presentan una evolución avanzada, alta lixiviación de bases y bajo contenido de minerales meteorizables (IGAC 2012). En la región Caribe Colombiana, estudios realizados sobre Tipología de Suelo, también indican valores de pH superiores a 5,6; similares a los obtenidos en esta investigación (Malagón 2003). Así mismo, en el departamento del Atlántico y específicamente para el municipio de Juan de Acosta, se ha señalado que los suelos de esta zona se caracterizan por ser ligeramente ácidos, con un rango de valores de 5,3-6,5 (IGAC 2012). Estos resultados son consistentes con lo encontrado en esta investigación, específicamente para los suelos SN, donde el 70 % de las muestras evaluadas mostraron valores de pH dentro del intervalo indicado en la literatura.

En el caso de las muestras NA, el 50 % de los datos estuvo dentro del intervalo señalado previamente, mientras que el 50 % restante

mostró valores cercanos a la neutralidad (Figura 1); estos resultados sugieren que las hormigas de esta especie no están ejerciendo un efecto sobre el pH del suelo, ya que en suelos caracterizados como ácidos, los valores de pH en las estructuras biogénicas de estos insectos tienden a aumentar (Seeger y Filser 2008). Este resultado se podría atribuir a las características del suelo del área de estudio, debido a que son suelos de tipo inceptisol y entisol, los cuales se caracterizan por un alto contenido de arcillas, mineral con una alta relación superficie-volumen, que determina su capacidad de retención de nutrientes; pero, estos suelos también están definidos por un bajo contenido de materia orgánica (IGAC 2012), reduciendo su fertilidad, lo que puede anular el efecto de las hormigas sobre el suelo, ya que se ha señalado que las características del suelo pueden influenciar en el efecto que tienen las hormigas cortadoras de hojas sobre las propiedades edáficas (Madureira et al. 2013). Por lo tanto, las informaciones sobre el efecto positivo de las hormigas cortadoras de hojas sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo, debe ser tomado con cautela, debido a que estos efectos podrían depender de la clase de suelo.

Bases Intercambiables

Las concentraciones de bases intercambiables en los suelos NA y SN ($Mg^{+2} > Ca^{+2} > K^+$) descritas en este estudio, muestran al magnesio (Mg^{+2}) como la de mayor porcentaje de saturación en el suelo (Figura 1B, 1C, 1D). Este resultado no coincide con lo señalado en otras investigaciones, ya que el Mg^{+2} intercambiable es por lo general del orden del 5 %, valor considerablemente menor que el calcio (80 %) y mayor que el del potasio (cerca del 4 %). De igual manera, estudios a nivel del bosque seco tropical, indican una relación característica de las bases catiónicas $Ca^{+2} > Mg^{+2} > K^+$ (Yamashita et al. 2010). Los valores observados ($Mg^{+2} > Ca^{+2} > K^+$) en esta investigación, se deben posiblemente a la presencia de rocas como vermiculita, paligorskita y sepiolita, en el material parental

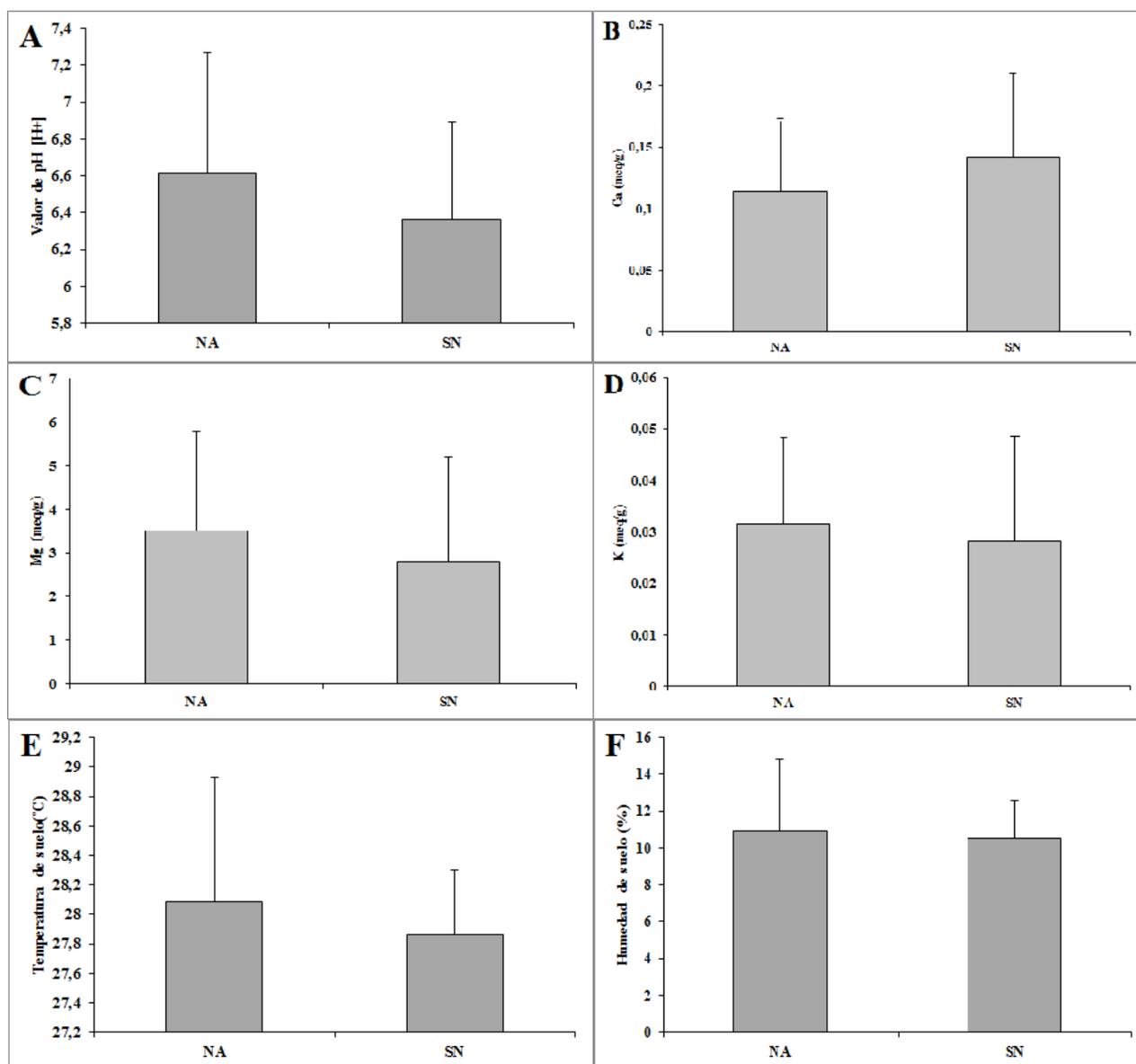


Figura 1. Valores promedios de pH (A); Ca⁺² (B); Mg⁺² (C); K⁺ (D); Temperatura del suelo (E) y Humedad del suelo (F), en los suelos de nidos de *A. rugosus* (NA) y suelos en ausencia de estos (SN).

del suelo estudiado, las cuales al sufrir procesos de hidrólisis aumentan los aportes de magnesio en el suelo (Mikkelsen 2010). Además, considerando los informes del IGAC (2012), en el departamento del Atlántico y específicamente el municipio de Juan de Acosta, los suelos se caracterizan por un alto porcentaje de sales de magnesio en comparación con el resto de bases intercambiables. Este instituto señala

concentraciones de Mg⁺² de 11,23 meq/100g-suelo, Ca⁺² de 10,43 meq/100g-suelo y K⁺ de 0,7 meq/100g-suelo (Mg⁺² > Ca⁺² > K⁺), lo cual coincide con los valores encontrados en esta investigación.

Biomasa y actividad microbiana y su relación con los parámetros analizados

Para los suelos NA, los valores de BM oscilaron entre 80,17- 482,60 µg C/g suelo,

con un promedio de 295,06 $\mu\text{g C/g}$ suelo ($\pm 182,74$) (Figura 2). Para los suelos SN, el rango encontrado fue de 12,25 - 744,92 $\mu\text{g C/g}$ suelo, con un promedio de 309,19 $\mu\text{g C/g}$ suelo ($\pm 200,3$) (Figura 2). Con respecto a la tasa de respiración basal (BAS), se registró un rango entre 0,194 a 0,609 $\mu\text{g C-CO}_2/\text{g suelo.h}$ y un promedio de 0,357 ($\pm 0,14$) $\mu\text{g C-CO}_2/\text{g suelo.h}$ en los suelos NA (Figura 2). Para los suelos SN, los valores de BAS oscilaron entre 0,170 y 0,538, con un promedio de 0,336 $\mu\text{g C-CO}_2/\text{g suelo.h}$ ($\pm 0,16$).

La comparación de los resultados de BM y BAS en los suelos estudiados, es limitada debido al poco número de investigaciones realizadas en el Bs-T de Colombia. La mayoría de los estudios analizan la variación de estos parámetros (BM y BAS) en función de los diferentes usos del suelo (aplicación de vinaza, cultivos etc.) (Vallejo et al. 2012), por lo que las comparaciones no serían adecuadas debido a las diferencias en las condiciones del área.

A nivel mundial, los análisis de biomasa y actividad microbiana en el bosque seco tropical (Singh et al. 2010), no pueden ser comparados con este estudio; porque a pesar de ser la misma zona de vida, la abundancia y composición florística de la vegetación es diferente, causando variaciones en las propiedades del suelo. Ante las consideraciones anteriores, esta investigación aporta nueva información referente a los suelos de bosque seco tropical en Colombia.

Sin embargo, se ha indicado para los suelos tropicales secos, que las concentraciones de biomasa microbiana oscilan entre 300 - 400 $\mu\text{g/g}$ Suelo (Joergensen y Castillo 2001), rango dentro del cual se encuentran los valores hallados en este estudio. Como se pudo observar en los resultados, también se registraron valores entre 107-128 $\mu\text{g/g}$ suelo, lo cual no es inusual dentro de este tipo de ecosistemas con cambios pronunciados de temperatura y concentración de humedad durante el año, según lo corrobora

resultados de Nigeria, Costa Rica y Japón (Joergensen y Castillo 2001).

La falta de diferencias para BM, BAS, pH y bases intercambiables entre la muestra de suelos extraída de nidos de *A. rugosus* y los suelos circundantes (Cuadro 1), puede explicarse a la poca variación de las variables ambientales entre puntos de muestreo en el área de estudio. Se ha indicado que las diferencias entre micrositios (nidos y suelo de los alrededores) se generan a lo largo del año. Por ejemplo, Gonzalez-Polo et al. (2004), analizaron la biomasa y actividad microbiana en nidos de *Camponotus punctulatus* en pasturas subtropicales en Argentina y encontraron que a través de los sucesivos muestreos, los micrositios se diferencian y agrupan dependiendo del mes del año, considerando que las variaciones en la temperatura y humedad ambiental influyen sobre la biomasa y actividad de los microorganismos.

Por otro lado, Witford et al. (2012), al igual que este estudio, no encontraron diferencias entre los nidos de hormiga (*A. cockerelli*, *M. depilis* y *P. rugosus*) y los suelos circundantes en función de la biomasa y la diversidad microbiana del suelo en un ecosistema seco de México y lo atribuyen a las lluvias y a la humedad del suelo, por ser factores limitantes que afectan la microflora en sistemas áridos y semiáridos (Wichern y Jorgensen 2009). De igual manera, plantean que las diferencias en calidad y cantidad de sustratos, puede no resultar en diferencias en la biomasa microbiana en estos ambientes secos, por lo que sugieren que muchos de los efectos positivos encontrados en otros estudios (Stadler et al. 2006), pudo haber sido diferente o ausente en otra parte del año.

En el establecimiento de nidos de hormigas, algunos autores señalan presencia o ausencia (Madureira et al. 2013) de modificaciones de las características del suelo a causa de la actividad de estos insectos. En este estudio en particular, no se encontraron diferencias entre los suelos de nidos y suelos circundantes, pero puede esperarse que

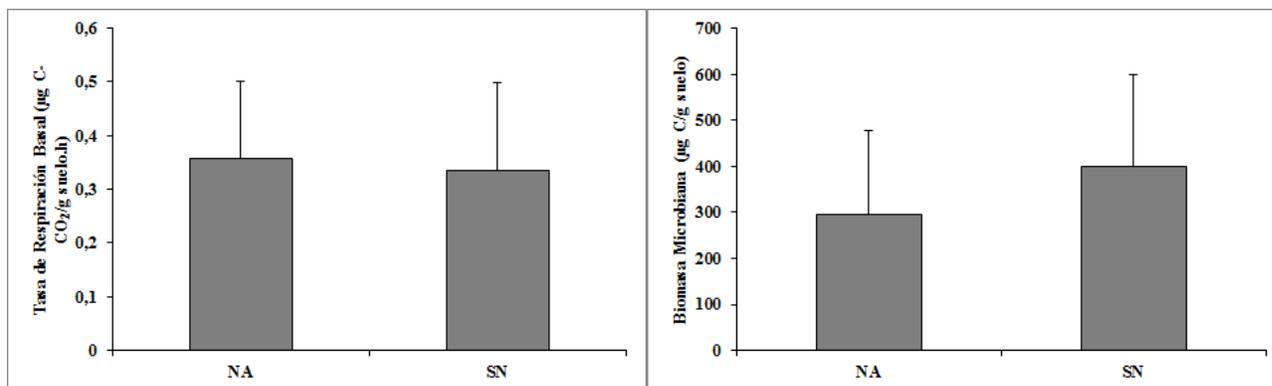


Figura 2. Valores promedios y desviación estándar para los parámetros de (A): Actividad microbiana ($\mu\text{g C-CO}_2/\text{g suelo}$) y (B): Biomasa microbiana ($\mu\text{g C/g suelo}$) determinadas en los suelos de nidos de *A. rugosus* (NA) y suelos en ausencia de estos (SN).

los valores de BM, BAS, bases intercambiables y pH varíen en los suelos analizados, haciéndose diferenciables en otra época del año. Por lo tanto, es posible plantear que en estudios puntuales referentes a este tema, se analice la estacionalidad o variación temporal del proceso, así como el efecto del clima y las interacciones de los grupos funcionales característicos en la determinación de diferencias entre micrositios (NA y SN).

Otro aspecto que puede estar explicando la no existencia de diferencias entre los suelos NA y SN, en función de los parámetros analizados, es la edad de los nidos. Es posible que los nidos que fueron utilizados sean jóvenes, lo que hace que las discrepancias con el suelo de los alrededores disminuyan. Esto se ve reforzado por investigaciones anteriores, en las que se ha planteado que los cambios en las propiedades de los nidos se debe a la actividad de las hormigas y que la mayoría de estos cambios se incrementan con el tiempo de establecimiento de las estructuras biogénicas (Whitford et al. 2008).

La comparación de los suelos analizados por medio del análisis textural, permite corroborar lo expuesto anteriormente. Al no encontrarse diferencias significativas en los porcentajes de arena, limo y arcilla de los suelos SN y NA (Cuadro 1), se plantea que los nidos de *A. rugosus*

son nidos jóvenes, debido a que en el proceso de construcción de los montículos, a medida que el tiempo transcurre, se da la floculación de las partículas del suelo de la estructura biogénica, dejando sólo las entradas específicas y generando una alta compactación en la cima de los montículos (0-10 cm de profundidad), causando pequeñas diferencias en la textura de los suelos del nido y circundantes (Nkem et al. 2000).

Al realizar el análisis de componentes principales (ACP) en los suelos NA, se determinó que el 81,42 % de la variación de los datos se encuentran en los tres primeros componentes. El componente 1 presenta la correlación más alta (40,33 %) (Figura 3) y por lo tanto es donde están las variables con mayor efecto sobre el comportamiento de los datos. En este caso, las variables que tienen mayor peso son BAS, BM, Ca^{+2} , porcentaje arcilla (Arc) y Limo (Lim), lo que demuestra que son propiedades estrechamente relacionadas y que se presentan aisladas de las demás propiedades físicas y químicas (Cuadro 2). Es importante resaltar que el Mg^{+2} , K^+ y el porcentaje de arena, presentó correlaciones negativas, mientras que el porcentaje de limo y arcilla se correlacionó positivamente con la actividad y biomasa microbiana (Figura 3). Esta correlación negativa entre la concentración

Cuadro 1. Valores de la prueba t-pareada (t) del pH, las bases intercambiables (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^{+}), textura del suelo y la biomasa (BM) y actividad microbiana (BAS) entre suelos de nidos de *A. rugosus* (NA) y en ausencia de estos (SN).

Variabes	N	t	p
pH	9	1,16	0,277
[Ca^{+2}]	9	1,05	0,324
[Mg^{+2}]	9	0,78	0,450
[K^{+}]	9	0,61	0,550
T. S	9	1,49	0,174
Arena	9	-0,1374	0,8941
Arcilla	9	-0,9565	0,3668
Limo	9	0,9423	0,3736

de potasio en el suelo y la biomasa y actividad microbiana (Cuadro 2) se debe a que el potasio a pesar de ser un elemento que juega numerosos roles en la nutrición vegetal, no está incorporado en la estructura de los compuestos orgánicos. En cambio, permanece en forma iónica en solución en la célula (K^{+}) o actúa como un activador para las enzimas celulares (Delgado-Higuera 2002); por lo que una alta biomasa microbiana puede estar revelando una mayor incorporación de potasio al espacio intracelular y por lo tanto se genera una disminución en la concentración de esta base en el suelo (Delgado-Higuera 2002).

La relación directa entre la biomasa microbiana con los porcentajes de limo y arcilla e inversa con los porcentajes de arena en el suelo (Cuadro 2, Figura 3), es posible que sean estos parámetros los que mejor expliquen el comportamiento de la biomasa en el suelo. Lo anterior se debe a que los microorganismos son reserva lábil de nutrientes tanto en la arena como en el limo, pero son más abundantes en el suelo limoso, donde los microbios del suelo poseen mayor protección contra el estrés hídrico y los depredadores. De esta forma, se puede explicar que la biomasa microbiana del suelo es generalmente menor en suelos arenosos en comparación con suelo limoso (Franzluebbers et al. 1996). Con relación al segundo componente para NA, se explica un 29,69 % de la variabilidad total (Cuadro 2). Las mayores correlaciones con valores positivos las

muestran el Ca^{+2} , humedad del suelo (HS) y pH. En el tercer componente, solo se aporta un 11,39 % de la variación de los datos, donde las variables como BAS y K^{+} son las que tienen el mayor peso (Cuadro 2).

Con el ACP para los suelos SN, se determinó que el 79,06 % de la variación de los datos se encuentran en los tres primeros componentes, donde el 1 presenta la correlación más alta (30,18 %) (Figura 4) y por lo tanto es quien afecta en mayor proporción el comportamiento de los datos. En este caso, las variables que más aportan de manera directa son el porcentaje de limo (Lim); mientras que en sentido inverso se encuentran las variables Mg^{+2} y arena (Figura 4, Cuadro 2). En este caso, se observó que tanto la BM como BAS, tiene poco peso en este componente, caso distinto a lo encontrado en los suelos NA, donde la BM se relacionó con el comportamiento de los valores de BAS en el suelo. Con relación al segundo componente para SN, se explica un 27,76 % de la variabilidad total, donde las variables que más aportan de manera directa son Ca^{+2} , K^{+} , HS y pH; mientras que en este mismo componente se muestra que los valores de TS pueden estar relacionados inversamente al comportamiento de las variables mencionadas anteriormente (Figura 4). El Componente 3, con valores de variación del 21,12 %, mostró que BAS y BM son las propiedades que mejor representan este

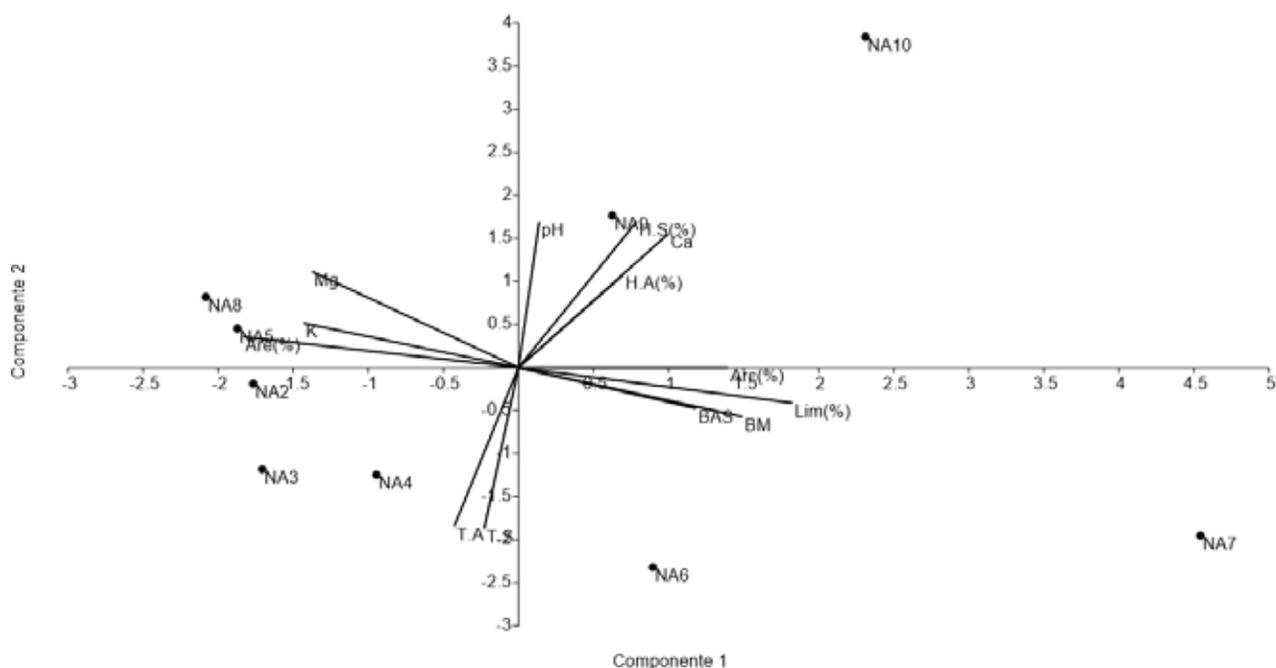


Figura 3. Análisis de Componentes principales (ACP) para las variables ambientales (humedad y temperatura de suelo, humedad y temperatura ambiental y pH), bases intercambiables (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+), textura del suelo (Arena= Are, arcilla= Arc y limo= Lim) y la biomasa (BM) y actividad microbiana (BAS) en suelos con presencia de nidos de *A. rugosus*.

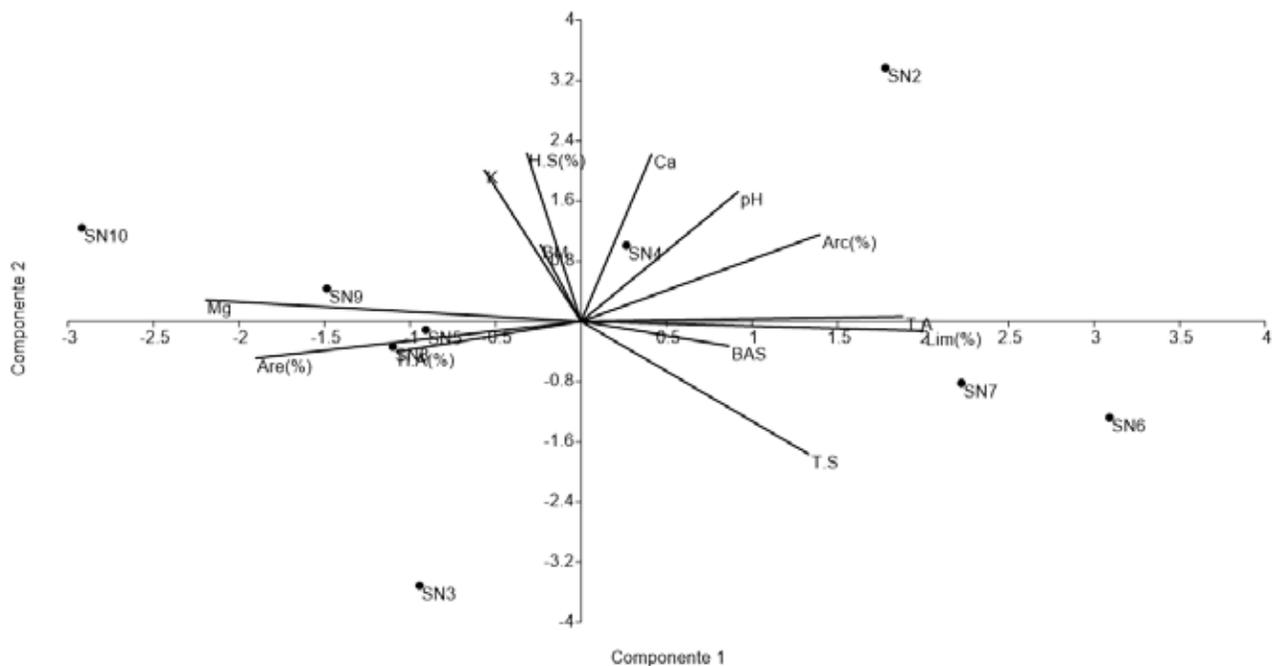


Figura 4. Análisis de Componentes principales (ACP) para las variables ambientales (humedad y temperatura de suelo, humedad y temperatura ambiental y pH), bases intercambiables (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+), textura del suelo y la biomasa y actividad microbiana en suelos en ausencia de nidos de *A. rugosus*.

Cuadro 2. Autovalor, varianza explicada (Var. Total), varianza acumulada (Var. Acum) y vectores de combinación de variables para los cuatro primeros componentes, mediante el Análisis de Componentes Principales (ACP) para los suelos asociados (NA) como no asociados (SN) a nidos de *A. rugosus* en la RCM, Atlántico, Colombia. Abreviaturas: Biomasa Microbiana (BM), Actividad Microbiana (BAS), Humedad del Suelo (H.S), Humedad Relativa (H.A), Temperatura del Suelo (T.S), Temperatura Ambiente (T.A), Arena (Are), Arcilla (Arc), Limo (Lim).

Variables	NA				SN			
	CP1	CP2	CP3	CP4	CP1	CP2	CP3	CP4
Autovalor	5,243	3,860	1,481	0,956	3,924	3,609	2,746	1,343
Var.Total (%)	40,331	29,693	11,394	7,351	30,182	27,760	21,123	10,332
Var. Acum (%)	40,331	70,024	81,418	88,769	30,182	57,942	79,065	89,397
BAS	0,629	-0,217	0,660	0,277	0,357	-0,129	0,830	0,201
BM	0,793	-0,260	-0,231	-0,210	-0,099	0,405	0,681	0,497
Ca ⁺⁺	0,530	0,709	0,149	0,290	0,170	0,879	0,129	-0,045
Mg ⁺⁺	-0,730	0,508	0,109	-0,274	-0,904	0,113	-0,040	0,262
K ⁺	-0,761	0,235	0,556	0,116	-0,233	0,797	0,139	-0,445
H. S (%)	0,419	0,774	-0,321	-0,199	-0,131	0,886	-0,285	0,043
H. A (%)	0,371	0,492	-0,283	0,592	-0,446	-0,160	-0,369	0,769
T.S	-0,121	-0,852	-0,408	0,265	0,549	-0,697	0,237	0,102
T.A	-0,227	-0,839	0,261	0,200	0,775	0,026	0,525	-0,032
pH	0,073	0,773	0,085	0,197	0,379	0,681	0,414	0,288
Are (%)	-0,974	0,163	-0,088	0,077	-0,784	-0,193	0,560	-0,163
Arc (%)	0,742	0,000	0,465	-0,343	0,576	0,457	-0,528	0,266
Lim (%)	0,970	-0,188	0,005	-0,017	0,824	-0,050	-0,494	0,054

*Valores mayores 0,5 (Valor absoluto) aparecen en negrilla

componente. Sin embargo, también se observó que ambas variables se presentaron aisladas de las bases intercambiables y pH, sugiriendo poca influencia en los componentes principales y en las propiedades evaluadas para este tipo de suelo (Figura 4, Cuadro 2). Adicional a lo anterior, se observó que para este tipo de suelo (SN), los valores para las bases intercambiables, propiedades físicas del suelo y pH fueron bajos en este componente, lo que indica que estas propiedades presentaron correlación baja con los demás atributos, así como poca representatividad en los componentes principales analizados. Se puede deducir que la ubicación de las variables en el plano indica que los cambios en los valores de BM y BAS, son independientes a las variaciones

del pH, parámetros ambientales del suelo y a los valores de bases intercambiables (Figura 4).

La BM y BAS en los suelos pueden correlacionarse de manera directa o indirecta, reflejando las diferentes respuestas de los microorganismos a los cambios en los nutrientes y aportes de energía en el suelo (Gonzalez-Polo et al. 2004). La existencia de correlación entre las variables de BM y BAS reflejado en los suelos SN, evidenciado en los resultados anteriores, se puede explicar debido a que en algunos puntos de muestreo se encontraron valores altos de biomasa, que indican una mayor actividad de los microorganismos. Según Rogers y Tate (2001), lo anterior puede ser atribuido a la estimación de la biomasa microbiana por el método de fumigación, el cual no distingue

entre microorganismos activos e inactivos. Así mismo, Toyota et al. (1996) indican que los valores de biomasa microbiana estimados están influidos fuertemente por las estructuras que pueden sobrevivir a la fumigación, planteándose que en algunos sitios de muestreo en los suelos SN, toda la biomasa microbiana estimada esté metabólicamente activa y por lo tanto exista un patrón de correlación característico.

La variación anual en los patrones de lluvias y las variables ambientales, como temperatura y humedad ambiental, pueden impulsar cambios en la disponibilidad de alimentos y en las actividades de sostenimiento de los nidos de hormigas. En este caso, la BM y BAS no presentan ninguna correlación con los parámetros ambientales como TA, TS, HA y HS (Figura 3 y 4), debido a la poca variación de estos parámetros entre micrositos en el área de estudio, considerando que esta investigación se realizó en una época puntual del año. Con respecto a las muestras de suelos de nidos (Figura 3), de igual manera no existe correlación entre las variables ambientales BM y BAS, ya que el almacenamiento de material vegetal que realizan las hormigas del género *Acromyrmex* para el cultivo de sus hongos, amortiguan los cambios en la cantidad y calidad de residuos que puedan entrar al nido y con ello las variaciones en los valores de biomasa y actividad microbiana (Wagner et al. 2004), independientemente de los cambios que se presenten en el exterior de estas estructuras biogénicas.

De este análisis de componentes principales, se puede plantear que los suelos NA inciden en la variabilidad de los factores biológicos (BM y BAS), químicos (nutrientes y pH) y físicos (Textura de suelo); mientras que en los suelos SN, la biomasa y la actividad microbiana no están relacionadas a ningún factor físico o químico analizado. Este resultado puede atribuirse a que las modificaciones físicas en la textura del suelo que las hormigas realizan en las estructuras biogénicas y los efectos que

tienen en la dinámica de nutrientes, pueden influenciar la cantidad y actividad biológica de los microorganismos del suelo (Frouz y Jilková 2008).

Aunque no se presentaron diferencias entre SN y NA, en función de todos los parámetros analizados a lo largo de este estudio, estos cambios observados en el patrón de correlación, puede dar indicio de cuáles son los parámetros principales, que podrían ser modificados por la actividad de las hormigas en otra época del año (seca) y que a su vez son los que están directamente relacionados con la modificación de los valores de biomasa y actividad microbiana en los nidos de esta especie de hormiga.

Conclusiones

En esta época del año y bajo las condiciones del Bs-T, no se encontraron diferencias significativas para la biomasa y actividad microbiana entre muestras de suelo con y sin nidos de *A. rugosus*. Sin embargo, el ACP sugiere que la presencia de nidos de esta hormiga tiene un efecto sobre relación de la biomasa microbiana (BM) y la respiración basal (BAS) con las propiedades físico-químicas del suelo.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín por la ayuda prestada en todo el proceso de fase experimental, especialmente al Profesor Juan Diego León Peláez y su equipo de trabajo del Laboratorio de Biogeoquímica, A la Universidad del Atlántico, por facilitar las instalaciones e implementos usados en este proceso, a Edgar Ortiz Ruiz, Diana Serna López y los compañeros del semillero NEOPTERA por su colaboración en la fase de campo.

Referencias

- BOUYOUCOS G. 1962. Hydrometer method improved for making particle size analyses of soils. *Agronomy Journal* 54: 464-465.
- CURRIE C, BOT A, BOOMSMA J. 2003. Experimental evidence of a tripartite mutualism: bacteria protect ant fungal gardens from specialized parasites. *Oikos* 101: 91-102.
- CURRIE C, SCOTT J, SUMMERBELL R, MALLOCH D. 1999. Fungus-growing ants use antibiotic-producing bacteria to control garden parasites. *Nature* 398: 701-704.
- DELGADO-HIGUERA M. 2002. Los Microorganismos del Suelo en la Nutrición Vegetal. Investigación ORIUS Biotecnología. [Internet]. Julio 2014. Disponible en: <http://www.oriusbiotecnologia.com/site/index.php?id=20.63.0.0.1.0>.
- DELLA-LUCIA T. 2003. Hormigas de importancia económica en la región Neotropical. pp.337-349 En: Fernández F. (ed). Introducción a las hormigas de la región Neotropical. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Bogota D.C.. Colombia. 424 p.
- FRANZLUEBBERS A, HANEY J, HONS R, ZUBERER D. 1996. Active fractions of organic matter in soils with different texture. *Soil Biology & Biochemistry* 28: 1367-1372.
- FROUZ J, JILKOVÁ V. 2008. The effect of ants on soil properties and processes (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News* 11: 191-199.
- GONZALEZ-POLO M, FOLGARAIT P, MARTÍNEZ A. 2004. Evaluación estacional del efecto de los nidos de *Camponotus punctulatus* sobre la biomasa y la actividad microbiana en una pastura subtropical de Argentina. *Ecología Austral* 14: 149-163.
- HAMMER D, RYAN P. 2001. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica* 4(1): 9. [Internet]. Available from: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm.
- [IGAC] INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI. 2012. Suelos del Atlántico. Bogotá, Colombia.
- JÍLKOVÁ V, MATEJÍČEK L, FROUZ J. 2011. Changes in the pH and other soil chemical parameters in soil surrounding wood ant (*Formica polyctena*) nests. *European Journal of Soil Biology* 47: 72-76.
- JOERGENSE R, CASTILLO X. 2001. Interrelationship between microbial and soil properties in young volcanic ash soil of Nicaragua. *Soil Biology and Biochemistry* 33: 1581-1589.
- JONES C, LAWTON H, SHACHAK M. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69: 373-386.
- JOUQUET P, DAUBER J, LAGERLÖF J, LAVELLE P, LEPAGE M. 2006. Soil invertebrates as ecosystem engineers: intended and accidental effects on soil and feedback loops. *Applied Soil Ecology* 32: 153-164.
- MADUREIRA M, SCHOEREDER J, TEIXEIRA M, SOBRINHO T. 2013. Why does *Atta robusta* (Formicidae) not change soil features around their nests as other leaf-cutting ants do?. *Soil Biology & Biochemistry* 57: 916-918.
- MALAGÓN D. 2003. Ensayo sobre tipología de suelos Colombianos - énfasis en génesis y aspectos ambientales. Academia Colombiana de Ciencias XXVII (104).
- MIKKELSEN R. 2010. Soil and fertilizer magnesium. *Better crops* 94(2): 26-28.
- NKEM J, LOBRY DE BRUYN L, GRANT C, HULUGALLE R. 2000. The impact of ant bioturbation and foraging activities on surrounding soil properties. *Pedobiología* 44: 609-621.
- PÉREZ-LACHAUD G, LÓPEZ-MÉNDEZ J, BEUGNON G, WINTERTON P, LACHAUD J. 2010. High prevalence but relatively low impact of two eucharitid parasitoids attacking the Neotropical ant *Ectatomma tuberculatum*. *Biological Control* 52: 131-139.
- PLA L. 1986. Análisis Multivariado: Método de Componentes Principales. Instituto Interamericano de Estadística. Secuencia General de la OEA Washington. D.C. 89 p.
- ROGERS B, TATE R. 2001. Temporal analysis of the soil microbial community along a toposequence in Pineland soils. *Soil Biology & Biochemistry* 33: 1389-1401.
- SEEGER J, FILSER J. 2008. Bottom-up down from the top: honeydew as a carbon source for soil organisms. *European Journal of Soil Biology* 44(5-6): 483-490.
- SINGH P, GHOSHAL N. 2010. Variation in total biological productivity and soil microbial biomass in rain fed agroecosystems: Impact of application of herbicide and soil amendments. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 137: 241-250.

- SINGH J, SINGH D, KASHYAP A. 2010. Microbial Biomass C, N and P in disturbed dry Tropical Forest Soils. India. *Pedosphere* 20(6): 780–788.
- SUMNER S, AANEN D, DELABIE J, BOOMSMA J. 2004. The evolution of social parasitism in *Acromyrmex* leaf-cutting ants: a test of Emery's rule. *Insectes Sociaux* 51: 37–42.
- STADLER B, SCHRAMMB A, KALBITZC K. 2006. Ant-mediated effects on spruce litter decomposition solution chemistry and microbial activity. *Soil Biology & Biochemistry* 38: 561–572.
- STOTZKY G. 1965. Microbial respiration. In: C Black, D Evans, L Ensminger, J While & F Clarck (eds). *Methods of Soil Analysis. Part 2*. Madison, United States of America. pp.1550-1572.
- TOYOTA K, KITZ K, YOUNG I. 1996. Survival of bacterial and fungal populations following chloroform-fumigation: effects of soil matric potential and bulk density. *Soil Biology & Biochemistry* 28: 1545-1547.
- VANCE E, BROOKES P, JENKINSON D. 1987. An extraction method for measuring soil microbial biomass C. *Soil Biology & Biochemistry* 19(6): 703-707.
- VALLEJO V, ARBELIA Z, TERÁN B W, LORENZC N, DICKC R, ROLDANA F. 2012. Effect of land management and *Prosopis juliflora* (Sw.) DC trees on soil microbial community and enzymatic activities in intensive silvopastoral systems of Colombia. *Agriculture Ecosystems and Environment* 150: 139-148
- VERZA S, FORTI L, LOPES J, HUGHES W. 2007. Nest architecture of the leaf-cutting ant *Acromyrmex rugosus rugosus*. *Insectes Sociaux* 54: 303-309.
- WAGNER D, JONESA B, GORDON D. 2004. Development of harvester ant colonies alters soil chemistry. *Soil Biology & Biochemistry* 36: 797–804.
- WHITFORD W, BARNES G, STEINBERGER Y. 2008. Effects of three species of Chihuahuan desert ants on annual plants and soil properties. *Journal of Arid Environments* 72: 392–400.
- WHITFORD W, GINZBURG O, BERG N, STEINBERGER Y. 2012. Do long-lived ants affect soil microbial communities?. *Biology and Fertility of Soils* 48: 227–233.
- WICHERN F, JOERGENSE R. 2009. Soil microbial properties along a precipitation transect in Southern Africa. *Arid Land Research and Management* 23: 115–126.
- WU H, LU X, WU D, YIN X. 2010. Biogenic structures of two ant species *Formica sanguinea* and *Lasius flavus* altered soil C, N and P distribution in a meadow wetland of the Sanjiang Plain, China. *Applied Soil Ecology* 46: 321–328.
- YAMASHITA N, OHTA S, SASE H, LUANGJAME J, VISARATANA T, KIEVUTTINON B. 2010. Seasonal and spatial variation of nitrogen dynamics in the litter and surface soil layers on a tropical dry evergreen forest slope. *Forest Ecology and Management* 259: 1502–1512.
- YANG Y, WANG H, TANG J, CHEN X. 2007. Effects of weed management practices on orchard soil biological and fertility properties in southeastern China. *Soil and Tillage Research* 93: 179–185.