




Hormigas, Camino Andakí (Huila-Caquetá). Foto: Daniel Castro



Riqueza y abundancia de organismos del suelo en el gradiente altitudinal Andino-Amazónico del Camino Andakí, Caquetá (Colombia)

Clara P. Peña-Venegas^{1*}, Daniel Castro ¹, Daniela León ¹

Resumen

El suelo es considerado el ecosistema más diverso de la Tierra, albergando aproximadamente el 15% del total de especies de organismos vivos del planeta. Sin embargo, es también uno de los ambientes menos estudiados desde su biodiversidad. Son pocos los estudios sobre la diversidad de los organismos que habitan los suelos, y mucho más limitados los que han estudiado los suelos amazónicos. Aun cuando hay avances importantes en los inventarios de diversos grupos de organismos edáficos en la región amazónica, falta información de cómo varían estas comunidades en la transición andino-amazónica, lo cual limita el entendimiento sobre el rol que cumplen según la altitud y los suelos existentes. El presente trabajo estudió los dos grupos de organismos edáficos que más biomasa aportan al suelo, a lo largo del Camino Andakí: la macrofauna edáfica y los hongos formadores de micorrizas arbusculares. Se registraron 300 morfoespecies de macrofauna edáfica distribuidas en 22 grupos taxonómicos, 25 órdenes y 52 familias; y 85 taxones virtuales de hongos formadores de micorrizas arbusculares. Se destacan dos nuevos géneros de termitas descritos recientemente (*Echinotermes biriba* y *Rustitermes boteroi*); y 32 taxones virtuales de hongos formadores de micorrizas arbusculares nuevos para la región amazónica. La Expedición Colombia-BIO a la Biodiversidad en la Transición Andino-Amazónica del Departamento de Caquetá. Un escenario de paz en el postconflicto, permitió evidenciar la alta biodiversidad que existe en los suelos de la transición andino-amazónica de Colombia, ampliar los inventarios de

la biodiversidad colombiana, y entender mejor los procesos que regulan la composición de las comunidades biológicas de los suelos amazónicos a lo largo de un gradiente altitudinal.

Palabras clave: Altitud, ingenieros del ecosistema, diversidad, micorrizas, suelos amazónicos.

Abstract

Soil is considered the most diverse ecosystem on Earth and is home to approximately 15% of the planet's total species of living organisms. However, it is also one of the least studied environments from the point of view of its biodiversity. Few studies have been done on the diversity of soil-dwelling organisms, and even more limited studies have been devoted to the study of Amazonian soils. While there is significant progress in the inventories of various groups of edaphic organisms in the Amazon region, there is a lack of information in regards to how these communities vary in the Andean-Amazonian transition area, limiting the understanding of their role based on altitude and existing soils. This work studied the two groups of soil organisms that contribute the most biomass to the soil along the Andakí Trail: edaphic macrofauna, and fungi that form arbuscular mycorrhizals. Three hundred morphospecies of edaphic macrofauna distributed in 22 taxonomic groups, 25 orders and 52 families were registered; and 85 virtual taxa of fungi that form arbuscular mycorrhizals. Two new termite genera recently described stand out (*Echinotermes biriba* y *Rustitermes boteroi*),

¹ Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, sede Leticia. Avenida Vásquez Cobo Calle 15 y 16, Leticia, Amazonas. Teléfono: 57 8 5925480. Fax: 57 8 5927181

* Autor de correspondencia: cpna@sinchi.org.co

and 32 virtual taxa of fungi that form arbuscular mycorrhizals, new for the Amazon region. The *BIO Camino Andakí* expedition allowed to make evident the high biodiversity existing in the soils of Colombia's Andean-Amazon transition area, to expand the inventories of Colombian biodiversity, and to better understand the processes

that regulate the composition of the biological communities of Amazonian soils along an altitude gradient.

Keywords: Altitude, Ecosystem Engineers, Diversity, Mycorrhizals, Amazonian Soils.

INTRODUCCIÓN

Históricamente, las expediciones biológicas se han concentrado en realizar inventarios de organismos que habitan sobre la superficie de la tierra. La Expedición Colombia-BIO a la Biodiversidad en la Transición Andino-Amazónica del Departamento de Caquetá. Un escenario de paz en el postconflicto, tuvo el acierto de incluir el estudio de los organismos que viven bajo el suelo, logrando ofrecer información sobre su biodiversidad y sus cambios a lo largo del recorrido.

Hasta ahora el suelo sigue siendo poco conocido, y especialmente desde su componente biológico, aun cuando es considerado el ecosistema más diverso del planeta, con aproximadamente el 15% de las especies de organismos de la Tierra (FAO 2015). Los organismos del suelo proveen diversos servicios ambientales como el ciclaje de nutrientes, el mantenimiento de la fertilidad y estructura del suelo, intervienen en los ciclos biogeoquímicos del carbono, nitrógeno y del fósforo, y establecen importantes relaciones con las plantas, vitales para su nutrición, salud y desarrollo. Todo ello garantiza la estabilidad de los ciclos del agua, el clima, los nutrientes, y de los ecosistemas.

Los suelos amazónicos son en general muy evolucionados, con una alta acidez y una baja fertilidad natural. Por ello, la nutrición de las plantas no depende de la fase mineral del suelo sino del ciclaje de nutrientes que realizan los organismos que viven en él. En la transición andino-amazónica se encuentran suelos y paisajes diversos. En las zonas más altas, los suelos reciben sedimentos de los Andes que les confieren una mayor fertilidad. Sin embargo, por la altura y la baja temperatura, los procesos de ciclaje son más lentos. Entre más se desciende de la cordillera de los Andes y se acerca a las planicies amazónicas, los suelos presentan una mayor acidez, mayores tasas de descomposición de la materia orgánica, y una menor fertilidad, lo cual crea un mosaico de ambientes para el desarrollo de la vida que se traduce en una alta diversidad de organismos edáficos.

Los organismos del suelo se pueden dividir en macro y microorganismos. Los macro-organismos, son organismos que a simple vista se pueden observar en el suelo, al igual que las perturbaciones que causan en el él (galerías, coprolitos y agregados). Dentro de éstos macro-organismos se encuentra la macrofauna edáfica, referida principalmente a los artrópodos (adultos y fases larvales), oligoquetos y nematodos. Estos son los encargados de las primeras etapas de fraccionamiento, alocación y descomposición de la materia orgánica, creando

microambientes aptos para que actúen los microorganismos (Barros *et al.*, 2001; Bignell *et al.*, 2012; Decaëns *et al.*, 1999; Mathieu *et al.*, 2005; Velásquez *et al.*, 2012). Además de su rol en la descomposición de la materia orgánica, la macrofauna también participa activamente en la estructura y composición del suelo, en especial algunos organismos llamados "Ingenieros del ecosistema" como lo son las lombrices, termitas y hormigas (Culliney, 2013; Decaëns *et al.*, 1999; Lavelle, 1997).

Los microorganismos por su parte, son de tamaño muy pequeño (medidos en micras) y no pueden ser observados a simple vista. Los microorganismos son los principales conductores de los ciclos biogeoquímicos y de los procesos de mineralización en el suelo, asegurando el reciclaje de elementos orgánicos esenciales como el carbono y el nitrógeno (Torsvik y Øvreås 2002). Además, establecen relaciones benéficas con las plantas las cuales han desarrollado a lo largo de la evolución para asegurar su supervivencia y permanencia en el ecosistema (Bever *et al.* 2010). Dentro de los microorganismos están los hongos, los cuales junto con la macrofauna constituyen los organismos edáficos que más biomasa aportan al suelo. Los hongos aportan una biomasa de hasta 600 µg por gramo de suelo (Busse *et al.* 2002). Se han descrito alrededor de 1.5 millones de especies de hongos en el mundo (Hawksworth 2001), pero su número total podría ser 20 veces mayor. Dentro de los hongos, está el Phylum Glomeromycota al que pertenece un grupo de hongos que forma una asociación simbiótica con las plantas denominada micorriza arbuscular. A través de esta asociación las plantas pueden acceder a fuentes de nutrientes limitados en el suelo como el fósforo. También permite reducir el estrés a las plantas en tiempos de sequía y reduce la incidencia de patógenos en raíz. Dada la baja fertilidad de los suelos amazónicos, el fósforo está generalmente en bajas concentraciones. Por ello, esta asociación constituye uno de los mecanismos más importantes en la nutrición de las plantas de este ecosistema, en donde más del 80% de las plantas que crecen en la Amazonia la establecen (Peña-Venegas *et al.*, 2006; Moyersoen, 1993).

Son pocos los estudios sobre las comunidades de organismos que habitan los suelos amazónicos (Peña-Venegas y Cardona, 2010; Moreira *et al.*, 2008). Se estima que la biomasa de macrofauna edáfica en la Amazonia puede estar entre 16 y 59 g/m² (Barros *et al.*, 2002). Se ha encontrado que los grupos taxonómicos más abundantes son las hormigas, las termitas, los coleópteros, las lombrices de tierra, los milpiés y las arañas (Kalif *et al.*, 2001; Barros *et al.*, 2004; Ackerman *et al.*, 2009;

Suárez *et al.*, 2015). En la cuenca amazónica, la comunidad de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) se caracteriza por la dominancia de los géneros *Glomus* y *Acaulospora*, que representan más del 50% de la comunidad fúngica (Stürmer y Siqueira, 2008; Peña-Venegas, 2010).

Aun cuando existen algunos avances en los inventarios de algunos grupos de organismos edáficos de la región amazónica, no existen reportes de cómo varían estas comunidades en la transición andino-amazónica. El presente estudio tuvo como principal objetivo el realizar inventarios de macro y microorganismos edáficos en la transición andino-amazónica siguiendo el Camino Andakí, entre los 1.800 y 500 msnm, para los dos grupos que más biomasa aportan al suelo: la macrofauna edáfica y los hongos formadores de micorrizas arbusculares.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

El área de estudio correspondió al Camino Andakí. Para el muestreo de organismos del suelo se realizaron colectas en 11 puntos cada 125 metros sobre el nivel del mar, desde los 1875 hasta los 500 msnm (Figura 1). En cada uno de los puntos se localizaron zonas con cobertura natural, o lo menos intervenida posible, donde se realizaron las colectas.

Muestreo de suelos

El esquema de muestreo para cada uno de los 11 puntos se resume en la figura 2. Según la altitud seleccionada se ubicó un punto de muestreo, delimitando una hectárea como área de estudio. En cada área de estudio se colectó una muestra de suelo compuesta de 500 g, colectando aproximadamente 100 g de 5 sub-muestras a una profundidad de 0-20cm. Estas muestras fueron usadas para el análisis fisicoquímico de los suelos como un indicador de las condiciones edáficas en las que viven los diversos organismos.

Para el muestreo de macrofauna edáfica, en cada una de las áreas de estudio, se siguió la metodología del Tropical Soil Biology and Fertility Programe (TSBF) (Anderson y Ingram, 1993). Dentro del área de estudio se delimitó una parcela de 60 x 60 m en donde se ubicaron 5 puntos para obtener un monolito de 25 x 25 x 30 cm. En cada monolito se tomaron muestras a cuatro profundidades diferentes: hojarasca, 0 a 10 cm, 10 a 20 cm y 20 a 30 cm. Con ayuda de palines se obtuvieron los volúmenes de suelo de cada profundidad para ser analizados en campo. De cada muestra, poco a poco se fue realizando la captura manual (con pinzas y pinceles) de todo tipo de artrópodos hasta procesarla completamente. Los artrópodos colectados fueron preservados en alcohol al 70% y etiquetados para su posterior limpieza e identificación en los laboratorios del Instituto SINCHI en Leticia.

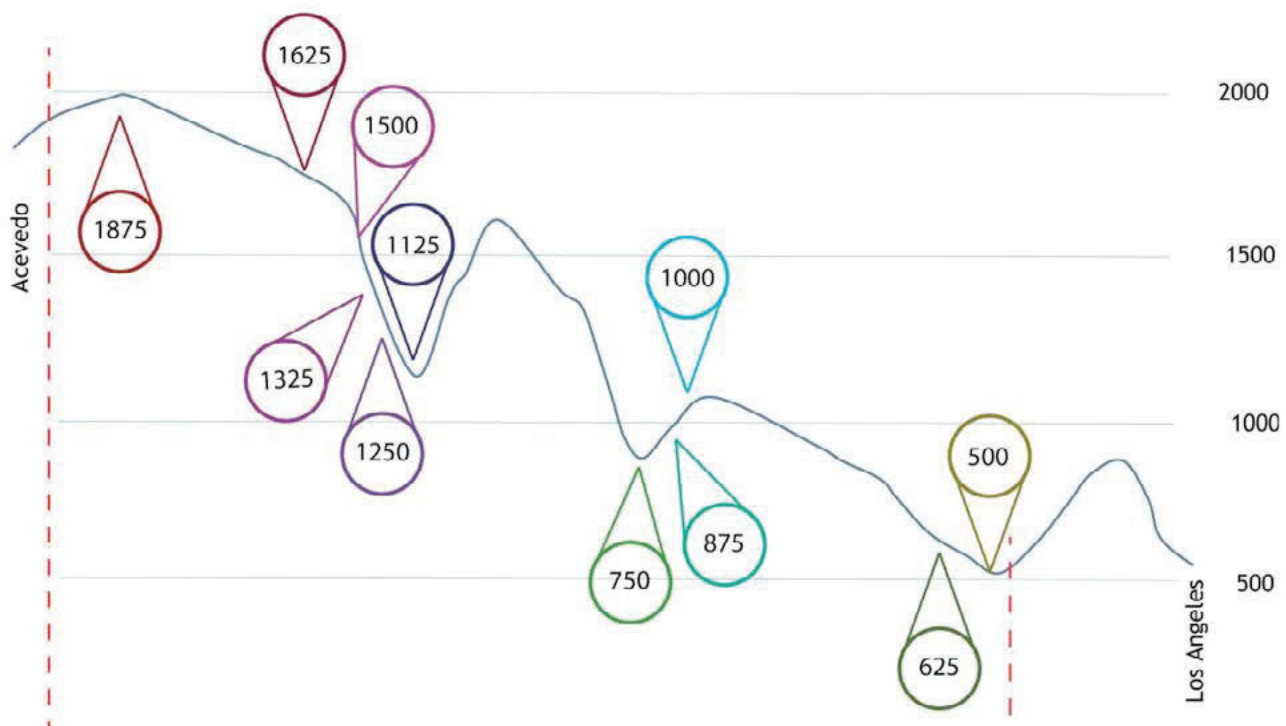


Figura 1. Puntos de muestreo sobre el Camino Andakí donde se hicieron las colectas de organismos del suelo.

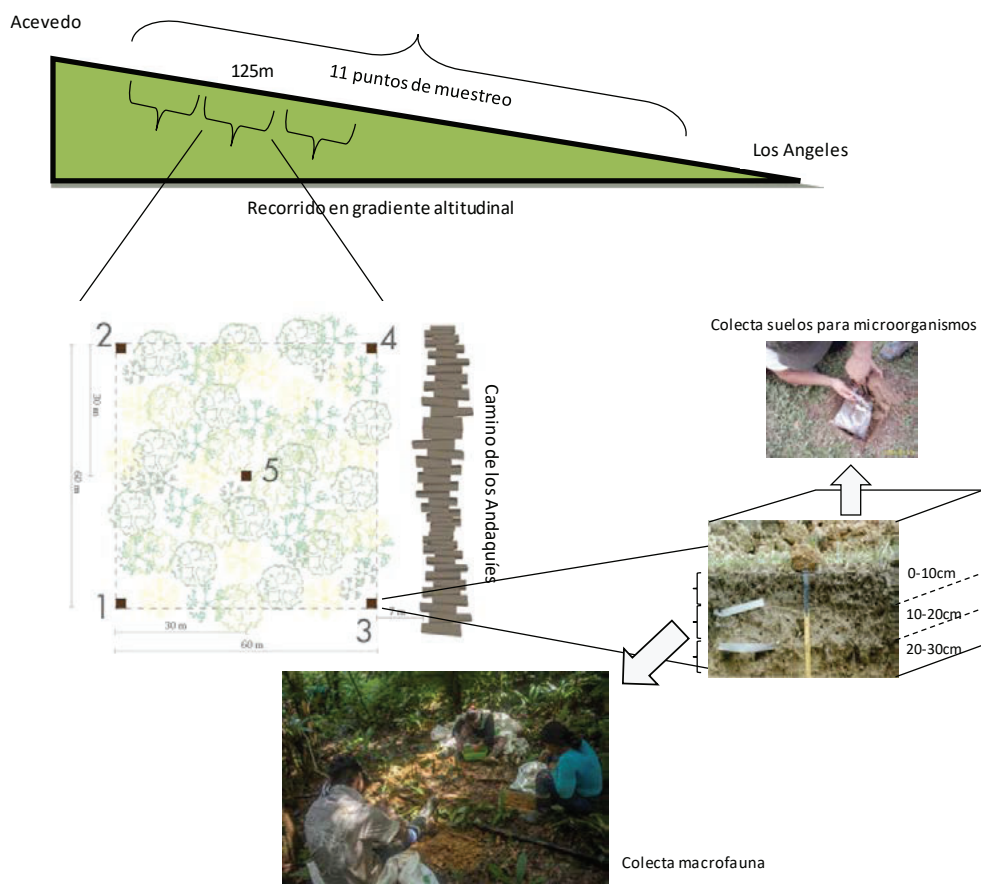


Figura 2. Esquema de la metodología de campo usada para estudiar los diferentes organismos del suelo.

Para el muestreo de hongos formadores de micorrizas arbusculares, en cada uno de los cinco puntos de muestreo, se colectaron en bolsas plásticas cinco (5) sub-muestras del suelo superficial (0-20 cm), retirando la capa de hojarasca superficial si estaba presente. Las muestras de suelo fueron transportadas posteriormente al laboratorio de microbiología del Instituto SINCHI en Leticia y al laboratorio de Recursos Genéticos y Biotecnología de Instituto SINCHI en Bogotá para su respectivo análisis.

ANÁLISIS DE LABORATORIO

Análisis fisicoquímico de suelos

Las muestras de suelo fueron analizadas fisicoquímicamente en los laboratorios de Agrilab en Bogotá. Estos análisis incluyeron: textura (por Bouyoucos), carbono orgánico (por Walkley-Black), pH (por saturación), fósforo asimilable (por Bray II), potasio, calcio, magnesio y sodio (por extracto en acetato de amonio), aluminio intercambiable (por extracción con cloruro de potasio), hierro, magnesio, hierro y zinc (por Mehlich I).

Determinación de macrofauna edáfica

Los especímenes colectados fueron separados individualmente con un pincel o pinza y colocados en un vial con alcohol al 70% limpio. Luego se procedió a la descripción morfológica de cada individuo, comparándola con claves dicotómicas para poder establecer el mayor nivel taxonómico que fuera posible. Cada espécimen se catalogó en un grupo taxonómico con relación a su función en el ecosistema y su jerarquía taxonómica. Las hormigas y las termitas debido a su gran importancia ecológica en el suelo se identificaron hasta especie o se morfotiparon en géneros o subfamilias según el máximo nivel de resolución taxonómico posible. Los arácnidos, miriápodos y demás artrópodos se identificaron como mínimo, en la mayoría de los casos a nivel de orden, utilizando claves taxonómicas y descripciones de especies para este fin (Krishna and Araujo 1968; Mathews 1977; Brandão 1990; Fernández 1991, 2003b, 2003a; Constantino 2002, 1992, 2000; Constantino y De Souza 1997; De Andrade y Baroni 1999; Borrow *et al.* 2000; Kury 2000; Sendra 2001; Adis 2002; Edmonds y Zidek 2004; LaPolla 2004; Wild 2005; Jocqué y Dispenaar-Schoeman 2006; Wolf 2006; Adams

y Longino 2007; Longino y Fernández 2007; Feitosa y Brandão 2008; Jimenez *et al.* 2008; Longino 2009; Sosa-Calvo *et al.* 2009; Bourguignon *et al.* 2010; Thyssen 2010; Bourguignon *et al.* 2016; Ortiz y Fernández 2011; Vaz-De-Mello *et al.* 2011; Rocha *et al.* 2012; Schmidt y Shattuck 2014; Vega-Román 2015; Castro *et al.* 2018, 2020).

Determinación de hongos formadores de micorrizas arbusculares

Para la determinación de hongos formadores de micorrizas arbusculares, se usaron dos técnicas de laboratorio: a) una determinación taxonómica a partir de la recuperación de esporas de HMA de las muestras de suelo y la identificación de características morfológicas particulares asociadas a géneros y especies; y b) una determinación taxonómica por técnicas moleculares, a partir del aislamiento del ADN presente en el suelo y el uso de iniciadores específicos para la obtención de secuencias de ácidos nucleicos específicas de géneros y especies de HMA.

Para la determinación taxonómica a partir de características morfológicas de las esporas, se tomaron 10 g de suelo de cada muestra (por triplicado), y se separaron las esporas de HMA por medio de un tamizado húmedo seguido de una centrifugación en gradiente de sacarosa (Gerdemann y Nicolson, 1964). Luego de aisladas las esporas, se realizaron montajes en lactoglicerol con reactivo del Melzer de más o menos 10 esporas de cada morfotipo para evaluar sus características. Esta información fue recogida a través de dibujos y fotos. La determinación taxonómica de los morfotipos se realizó con base en vouchers de referencia descritos en la página web del International Collection of (vesicular-) Arbuscular Mycorrhizal Fungi INVAM (<http://invam.wvu.edu>); en el catálogo de Peña-Venegas *et al.* (2006); y en el catálogo de Schenck y Perez (1988). Dado que no todos los HMA esporulan, y algunos sólo esporulan bajo ciertas condiciones (Sanders, 2004; Landis *et al.*, 2004), se usó adicionalmente la determinación de estos hongos por técnicas moleculares.

Para la determinación taxonómica de HMA por técnicas moleculares se realizó la extracción de todo el ADN presente en el suelo a partir de 5 g de suelo seco, usando el kit NucleoSpin® Soil de Macherey-Nagel. Del ADN extraído se amplificaron los fragmentos de ADN que se unían de forma específica con los iniciadores NS31 y AML2 (Simon *et al.*, 1992; Lee *et al.*, 2008) unidos a secuencias A y B, tal como fue descrito por Öpik *et al.* (2013) para la obtención de secuencias específicas de ADN de HMA. Así, se obtienen cadenas de ADN de aproximadamente 560 pares de bases, característicos del genoma de este grupo de hongos, las cuales son separadas por medio de una electroforesis en agar 1.5 % en 0.5 TBE, y cuantificado por Qubit®.

Del ADN obtenido de cada muestra, se tomaron 1.7 µg para su secuenciación por la técnica Illumina MiSeq, lo que permite

leer la composición de bases de las cadenas, las cuales son particulares para cada género y especie de HMA.

Análisis bioinformático para secuencias de hongos formadores de micorrizas arbusculares

Las secuencias obtenidas en la secuenciación y que tenían un tamaño mayor a 170 pares de bases fueron analizadas bioinformáticamente para limpiarlas y obtener secuencias de buena calidad que permita compararlas con las secuencias reportadas en bases de datos de acceso libre para géneros y especies de HMA. A las secuencias se le eliminaron las secuencias de los iniciadores y de las quimeras usando el programa UCHIME v7.0.1090 (Edgar *et al.*, 2011). Ya limpiadas, las secuencias se cotejaron con las reportadas en la base de datos MaarjAM con el programa BLAST v2.5.0 (Camacho *et al.*, 2009) y usando una técnica de selección abierta inespecífica de unidades taxonómicas (Bik *et al.*, 2012). Se consideraron secuencias iguales cuando el porcentaje de similitud entre la secuencia obtenida y la registrada en la base de datos MaarjAM fue $\geq 97\%$; y un alineamiento no menor a 95%. Las secuencias que no fueron similares a ningún taxon virtual de los reportados en la base de datos MaarjAM, fueron cotejadas con las secuencias publicadas en la base de datos INSDC (International Nucleotide Sequence Database Collaboration), usando como criterio de aceptación 90%.

Análisis de datos

Las variables fisicoquímicas de suelo y el número de esporas de HMA fueron evaluadas por medio del test de Spearman para calcular si existía o no una correlación entre éstas variables y la altitud. Los test de Spearman fueron realizados con el programa R (R core Project, 2020).

Para el evaluar la riqueza de especies de macrofauna se realizaron técnicas de rarefacción y extrapolación (R/E) basadas en la incidencia, las cuales se realizaron mediante dos metodologías: el tamaño de la muestra y la cobertura. El enfoque de la R/E basada en el tamaño de la muestra compara las estimaciones de diversidad con respecto al tamaño de la muestra (Número de unidades muestrales, 20 en el caso de este estudio por cada sitio muestreado), mientras que la R/E basada en la cobertura compara la riqueza de especies de un grupo de conjunto de ensamblajes basados en muestras de igual integridad (cobertura igual) (Chao *et al.*, 2014). Las curvas de rarefacción se extrapolaron para duplicar las unidades muestrales de cada sitio de muestreo, por lo tanto, se extendió el tamaño de la muestra a 40, configurando a 40 knots y 100 repeticiones de arranque para estimar los valores de confianza del 95%. Los resultados se obtuvieron de iNext online (Chao *et al.*, 2016; Hsieh *et al.*, 2016), disponible en <https://chao.shinyapps.io/iNEXTonline/>.

Resultados

Variación fisicoquímica de los suelos a lo largo del Camino Andakí

Los resultados muestran que la acidez del suelo no varió considerablemente a lo largo del Camino Andakí, manteniendo en promedio un pH de 4.5 ± 0.3 . Por el contrario, se pudo evidenciar un cambio gradual en la textura (arena $p=0.002$, limo $p=0.02$; test de Spearman) y algunas variables químicas de los suelos a lo largo del Camino Andakí en relación con la altitud (Figura 3; Tabla 1). Las zonas más altas se caracterizaron por una textura más arenosa de sus suelos, mientras los suelos de

las zonas bajas tenían una textura más arcillosa. La capacidad de intercambio catiónico ($p=0.01$; test de Spearman), la acidez intercambiable ($p=0.002$; test de Spearman), el carbono orgánico ($p=0.02$; test de Spearman) y el hierro ($p=0.01$; test de Spearman) presentaron correlaciones positivas significativas, siendo mayores a mayor altitud donde los suelos tienen en general una mayor fertilidad. El fósforo disponible tuvo una correlación negativa con la altura, pero las diferencias no fueron significativas ($p=0,01$; test de Spearman). En las zonas más bajas, los suelos se caracterizaron por tener menor fertilidad, pero una mayor disponibilidad de fósforo, aun cuando nunca superó los 13 mg/kg, considerada ésta como una disponibilidad baja de fósforo para las plantas.

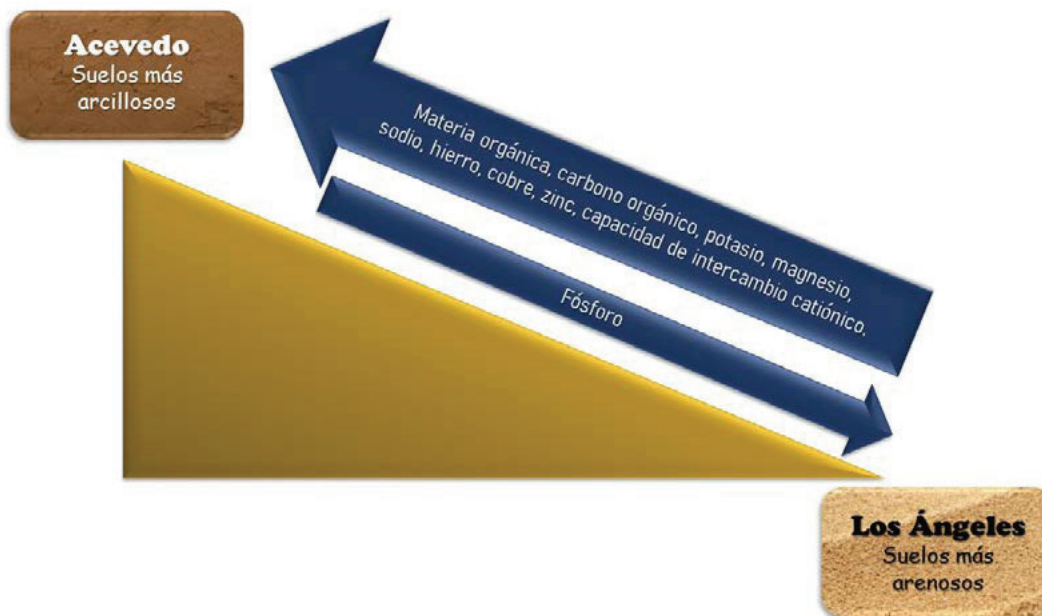


Figura 3. Representación gráfica de los cambios en la composición del suelo a lo largo del Camino Andakí.

Tabla 1. Composición fisicoquímica de los suelos en un gradiente altitudinal en la transición andino-amazónica del Camino Andakí.

ALTITUD (msnm)	pH	CO	Arena	Limo	Arcilla	K	Ca	Mg	Na	A.I.	Fe	Mn	Cu	Zn	B	P	S	CIC
500	4,8	3,16	38	36	26	121	196	42	25,3	154	255	63	1,5	3,2	0,34	11	21	3,5
625	4,41	4,37	34	46	20	81,9	130	28,8	25,3	230	325	7,3	2,1	1,5	0,37	13	40	3,8
750	4,84	4,13	32	50	18	70,2	128	27,6	23	136	395	5,3	2,3	1,1	0,37	6,2	21	2,7
875	4,62	3,4	46	38	16	78	138	32,4	23	165	295	18	3	1,9	0,37	8,6	18	3,1
1000	4,38	3,55	38	46	16	101	116	36	23	324	405	7,7	3	2	0,44	9,8	27	4,8
1125	4,9	10,52	30	52	18	89,7	150	44,4	23	169	736	12	3,2	2,4	0,41	7,2	27	3,3
1250	4,37	10,01	28	52	20	129	312	62,4	80,5	485	359	5,7	2,1	4	0,47	11	26	8,1
1325	4,1	5,56	16	48	36	226	158	42	46	608	401	9,6	2,1	6,5	0,44	5,2	31	8,7
1500	4,13	4,85	18	54	28	117	186	38,4	34,5	538	464	16	5,8	2,7	0,41	8	27	7,7
1625	4,33	6,29	20	54	26	125	164	42	34,5	683	424	11	2	3,7	0,24	9,1	24	9,2
1875	4,78	5,64	18	48	34	113	150	38,4	29,9	530	480	75	3	2,4	0,27	5,9	19	7,4
Diferencias significativas		*	*	*						*	*							*

pH-H₂O por potenciometría; CO: Carbono orgánico (%) por Walkley-Black; Arena, limo y arcilla (%) por Boyoucos; K (potasio), Ca (calcio), Mg (Magnesio) y Na (Sodio) en ppm por Absorción atómica; A.I. (Acidez intercambiable en ppm con KCl por volumetría; Fe (Hierro), Mn (Manganeso), Cu (Cobre) y Zn (Zinco) en ppm por Mellich I; B (Boro) y S (Azufre) en ppm con Ca(OH)PO₄; P (fósforo) en ppm por Bray II.

Variación de la abundancia de las comunidades de organismos edáficas con relación a la altitud

La abundancia relativa de la macrofauna edáfica a lo largo del gradiente altitudinal no presentó cambios significativos o tendencias crecientes o decrecientes. Sin embargo, los dos grupos taxonómicos más importantes de macrofauna edáfica (hormigas y termitas) denominados “ingenieros del ecosistema” estuvieron inversamente relacionada con la altura ($p \leq 0.001$; test de Spearman), presentando abundancias cada vez mayores a medida que la altura disminuía. Por el contrario, la abundancia de esporas de HMA estuvo directamente relacionada con la altitud, presentando abundancias mayores a mayores alturas (Figura 4).

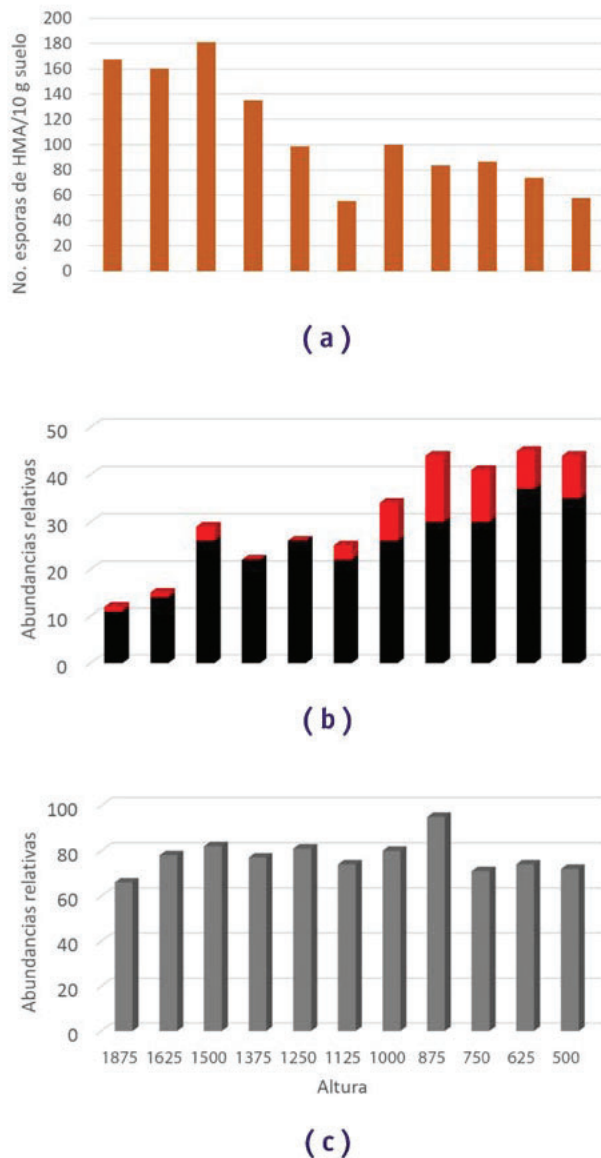


Figura 4. Abundancia de (a) hongos formadores de micorrizas arbusculares, (b) ingenieros del ecosistema (hormigas en negro, termitas en rojo) y (c) macrofauna edáfica en general con respecto a la altitud en el Camino Andakí.

Riqueza de la macrofauna edáfica

Se procesaron 2059 individuos de 22 grupos taxonómicos. En total se encontraron especímenes de siete clases diferentes de artrópodos, con 25 órdenes diferentes (Tabla 2). Los grupos taxonómicos de mayor abundancia fueron las hormigas (32,7%), los coleópteros (11,4%), las arañas (10,8%), las formas inmaduras (7,8%) y las termitas (5,9%). La riqueza y abundancia de estos grupos estuvo relacionada directamente entre sí (Figura 5).

Se observó un comportamiento asintótico en la acumulación de especies en todos los sitios de muestreo, los sitios muestreados en las alturas de 1.375 m, 1125 m, 1250 m y 625 m presentaron el menor número de especies, el rango de número de especies promedio se ubicó entre 20 y 30 especies por sitio de muestreo. Los resultados de la curva de rarefacción y extrapolación basada en el tamaño de la muestra demuestran que el número de especies observados podrían duplicarse aumentando el número de unidades muestrales, por lo que la riqueza de especies puede estar en promedio entre 30 y 40 especies por sitio de muestreo (Figura 6 a, d, g). La cobertura de muestra estimada sugirió que la riqueza en toda la ecorregión estudiada estaba bien representada con un porcentaje de cobertura de muestra superior al 80% (Figura 6 b, e, h). Por otro lado, la riqueza de especies observadas en cada altura estudiada del gradiente

Tabla 2. Abundancia, riqueza y densidad (individuos/ metro cuadrado) de los Ordenes de macrofauna edáfica en suelos de la transición Andino-Amazónica.

CLASE	ORDEN	ABUNDANCIA RELATIVA	RIQUEZA DE ESPECIES	IND/m ²
Arachnida	Araneae	91	47	29.67
	Ixodida	1	1	2.62
	Opiliones	20	9	6.11
	Pseudoscorpionida	7	3	2.04
	Schizomida	3	2	0.87
	Trombidiformes	7	2	2.33
Chilopoda	Geophilomorpha	19	4	7.27
	Scolopendromorpha	15	5	5.82
Collembola	Entomobryomorpha	9	3	3.20
	Poduromorpha	1	1	0.29
Diplopoda	Glomeridesmida	5	1	1.45
	Polydesmida	21	6	8.15
Entognatha	Stemmiulida	3	2	0.87
	Diplura	26	2	8.44
Insecta	Blattodea	105	30	257.16
	Coleoptera	151	47	49.45
	Dermaptera	6	4	1.75
	Hemiptera	17	12	4.95
	Hymenoptera	280	92	185.60
	Lepidoptera	3	1	0.87
	Mantodea	1	1	0.29
	Orthoptera	26	8	9.31
	Phasmatodea	5	5	1.45
	Malacostraca	Isopoda	15	3

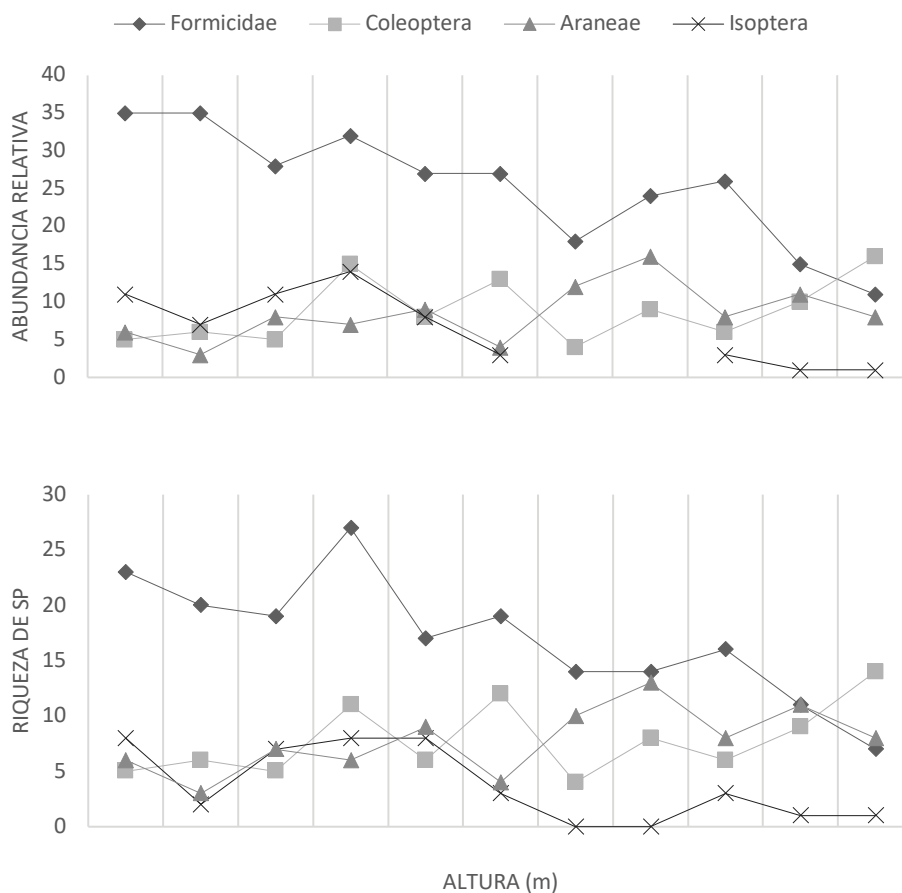


Figura 5. Abundancia y riqueza de especies de los principales grupos taxonómicos de la macrofauna edáfica.

altitudinal alcanzó un porcentaje importante. El número de especies observadas fue en casos mayor al 90% (alturas 1.875 m, 1.000 m, 875 m y 500 m). En el resto de las alturas el porcentaje de cobertura fue superior al 80% (Figura 6 c, f, i).

Los grupos con mayor detalle taxonómico fueron las hormigas y las termitas, siendo los grupos con la mayor densidad (Tabla 2). Los dos grupos representan el 75% de la densidad total de individuos por metro cuadrado, siendo las termitas el de mayor densidad con la representatividad del 44%. Los coleópteros representaron el 8% y las arañas el 5% de la densidad total. Dentro de las hormigas se encontraron 9 subfamilias diferentes. La subfamilia más abundante fue Myrmicinae con 136 ocurrencias (49%), seguida de las subfamilias Ponerinae (21%) y Formicinae (18%). Se lograron identificar 41 géneros y 97 especies de hormigas diferentes, de los cuales el género *Pheidole* fue el más abundante con 73 ocurrencias (26%), siendo muy dominante con respecto al segundo (*Nylanderia*) y tercer género (*Camponotus*) con 22 y 21 ocurrencias respectivamente. Hubo además 12 géneros que solo aparecieron una vez en todas las muestras procesadas: *Leptogenys*, *Eciton*, *Stenammas*, *Gnamptogenys*, *Azteca*, *Hylomyrma*, *Dolichoderus*, *Proceratium*, *Cryptopone*, *Procryptocerus*, *Aphaenogaster* y *Pseudoponera*.

Se destacan especies abundantes como: *Megalomyrmex foreli*, *Tranopelta gilva*, *Sericomyrmex bandari*, *Ectatomma lugens*, *Rosopone becculata*, *Odontomachus meinerti* y *Acropyga cj. Exsanguis* (Tabla 3, Figura 7).

Las termitas son insectos sociales del orden Blattodea. Se identificaron especímenes de dos familias de termitas: Termitidae y Rhinotermitidae. Dentro de Termitidae, la subfamilia Apicotermitinae fue la más abundante y diversa con 7 especies, representando el 62% de todas las termitas encontradas. La segunda subfamilia en importancia fue Syntermitinae que representó el 25% de las termitas encontradas, siendo un grupo de termitas que se alimenta de la interfase suelo-madera. Por el contrario, la familia Rhinotermitidae solo tuvo una ocurrencia. Se pudieron identificar 18 especies y las de mayor abundancia fueron: *Rustitermes boteroi*, *Anoplotermes meridianus* y *Mapinguaritermes grandidens*. Adicionalmente los inventarios arrojaron dos especies nuevas para la ciencia: *Echinotermes biriba* Castro & Scheffrahn, 2018 y *Rustitermes boteroi* Constantini, Castro & Scheffrahn, 2020. Estas termitas pertenecen a un grupo de termitas que viven y se alimentan exclusivamente de suelo (Subfamilia Apicotermitinae), y en el neotrópico carecen de la casta de soldados en sus colonias (Tabla 3).

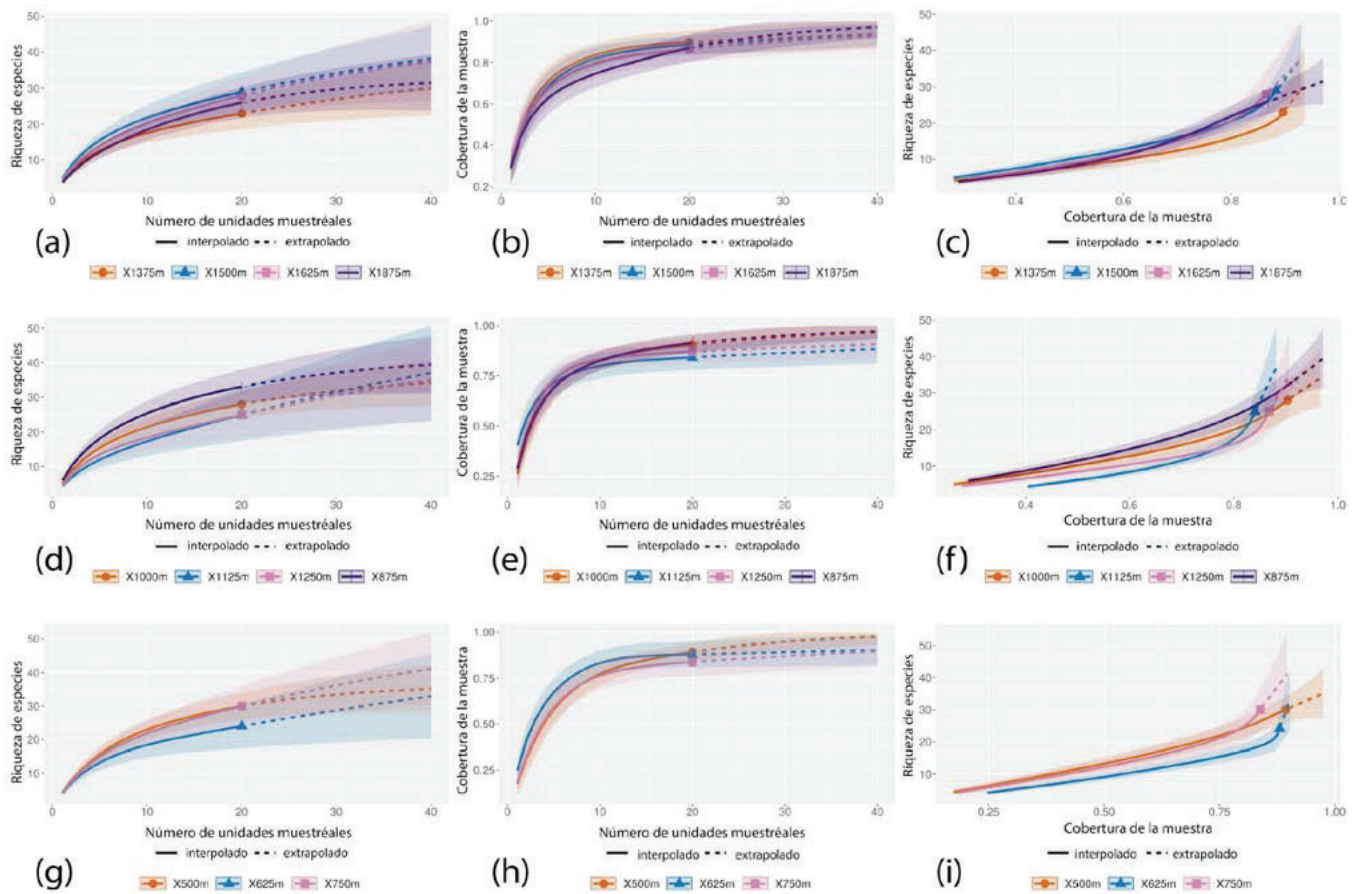


Figura 6. Rarefacción y extrapolación basada en el tamaño de la muestra (a), (d), (g); curva de completitud de la muestra, comportamiento asintótico de la cobertura de la muestra en función de la muestra tamaño (b), (e), (h); y rarefacción basada en la cobertura (c), (f), (i) para cada uno de los sitios muestreados.



Figura 7. Hormiga de la especie *Eciton hamatum*, especie colectada en el Camino Andakí.

Tabla 3. Listado de especies de hormigas y termitas de suelo colectadas en la transición andino-amazónica en el Camino Andakí, Caquetá.

Familia/subfamilia/tribu/sp	Altura											Total
	500	625	750	875	1000	1125	1250	1375	1500	1625	1875	
FORMICIDAE												
Amblyoponinae												
Amblyoponini												
<i>Prionopelta antillana</i> Forel, 1909		1							1			2
Dolichoderinae												
Dolichoderini												
<i>Dolichoderus rugosus</i> (Smith, F., 1858)	1											1
Leptomymecini												
<i>Azteca</i> sp				1								1
<i>Linepithema</i> sp1	1		2	1					3			7
<i>Linepithema</i> sp2											3	3
S.I												
Dolichoderinae sp1		1										1
Dorylinae												
<i>Eciton hamatum</i> (Fabricius, 1782)												
			1									1
<i>Neivamyrmex hetschkoii</i> (Mayr, 1886)	1				1							2
Ectatomminae												
Ectatommini												
<i>Ectatomma lugens</i> Emery, 1894		3		1								4
<i>Ectatomma ruidum</i> (Roger, 1860)		1										1
<i>Gnamptogenys striatula</i> Mayr, 1884		1										1
Typhlomymecini												
<i>Typhlomymex clavicornis</i> Emery, 1906									1			1
<i>Typhlomymex major</i> Santschi, 1923									2			2
<i>Typhlomymex pusillus</i> Emery, 1894										2		2
<i>Typhlomymex</i> sp			1									1
Formicinae												
Camponotini												
<i>Camponotus femoratus</i> (Fabricius, 1804)		3										3
<i>Camponotus nitidior</i> (Santschi, 1921)			2									2
<i>Camponotus rapax</i> (Fabricius, 1804)				2								2
<i>Camponotus rufipes</i> (Fabricius, 1775)		1										1
<i>Camponotus</i> sp1	1	5					1					7
<i>Camponotus</i> sp2		1		1								2
<i>Camponotus</i> sp3				1								1
<i>Camponotus</i> sp4		1										1
<i>Camponotus</i> sp5			1									1
<i>Camponotus</i> sp6			1									1
Gigantiopini												
<i>Gigantiops destructor</i> (Fabricius, 1804)			2	1								3
Lasiini												
<i>Acropyga cf. exsanguis</i> (Wheeler, W.M., 1909)	1	1		2								4
<i>Acropyga</i> sp									1			1
<i>Nylanderia</i> sp1						1	2	1	1	1		6
<i>Nylanderia</i> sp2			1		1	1	1	1		1		6
<i>Nylanderia</i> sp3					1	1	1	3		1	1	8
<i>Nylanderia</i> sp4						1					1	2
Myrmicinae												
Attini												
<i>Acromyrmex aspersus</i> (Smith, F., 1858)									1			1
<i>Acromyrmex rugosus</i> (Smith, F., 1858)											1	1
<i>Atta colombica</i> Guérin-Méneville, 1844	2											2
<i>Cyphomyrmex minutus</i> Mayr, 1862	1											1
<i>Cyphomyrmex rimosus</i> (Spinola, 1851)						1				1		2
<i>Octostruma impressa</i> Palacio, 1997							1					1

Familia/subfamilia/tribu/sp	Altura											Total
	500	625	750	875	1000	1125	1250	1375	1500	1625	1875	
<i>Octostruma</i> sp								1				1
<i>Procryptocerus scabriusculus</i> Forel, 1899							1					1
<i>Sericomyrmex bondari</i> Borgmeier, 1937	1	1		1	2							5
<i>Trachymyrmex</i> sp1	1	1		1	1							4
<i>Trachymyrmex</i> sp2									1			1
<i>Tranopelta gilva</i> Mayr, 1866	2	1		2	2							7
Cephalotini												
<i>Cephalotes atratus</i> (Linnaeus, 1758)				2								2
Crematogastrini												
<i>Crematogaster limata</i> Smith, F., 1858	2	1										3
<i>Crematogaster longispina</i> Emery, 1890					1			1				2
<i>Crematogaster</i> sp	1											1
Pheidolini												
<i>Pheidole</i> sp1	7		3	1	3	1						15
<i>Pheidole</i> sp2				1			1	4	3	1	1	11
<i>Pheidole</i> sp3				2				1				3
<i>Pheidole</i> sp4			2		2			1				5
<i>Pheidole</i> sp5		1	2	1		2						6
<i>Pheidole</i> sp6			1		2	1	1	4	5	3		17
<i>Pheidole</i> sp7		1							1	2		4
<i>Pheidole</i> sp8			3			1					1	5
<i>Pheidole</i> sp9						2		3	1			6
<i>Pheidole</i> sp10						1	1		1			3
Pogonomyrmecini			1									1
<i>Hylomyrma sagax</i> Kempf, 1973			1									1
Solenopsidini	5		1	2	3	4	7					22
<i>Megalomyrmex balzani</i> Forel, 1912							1					1
<i>Megalomyrmex foreli</i> Emery, 1890	1			1	2	3	6					13
<i>Megalomyrmex leoninus</i> Forel, 1885						1						1
<i>Megalomyrmex megadrifti</i> Boudinot, Sumnicht & Adams, 2013	1											1
<i>Solenopsis</i> sp1	2				1							3
<i>Solenopsis</i> sp2	1		1									2
Stenammini												
<i>Aphaenogaster</i> sp		1										1
<i>Stenamma</i> sp				1								1
S.I	1						2					3
Myrmicinae sp	1						2					3
Paraponerinae												
<i>Paraponera clavata</i> (Fabricius, 1775)	1		1									2
Ponerinae												
Platythyreini												
<i>Leptogenys iheringi</i> Forel, 1911							1					1
Ponerini												
<i>Anochetus</i> sp		1										1
<i>Anochetus</i> cf. <i>simoni</i> Emery, 1890				1								1
<i>Centromyrmex brachycola</i> (Roger, 1861)			1				1					2
<i>Cryptopone holmgreni</i> (Wheeler, W.M., 1925)	1											1
<i>Hypoponera</i> sp1	2	3	1							1		7
<i>Hypoponera</i> sp2		2		1	2	1	1	1				8
<i>Hypoponera</i> sp3					1							1
<i>Hypoponera</i> sp4			1			2				1		4
<i>Neoponera apicalis</i> (Latreille, 1802)	3											3
<i>Neoponera unidentata</i> Mayr, 1862				1								1
<i>Neoponera verena</i> (Forel, 1922)				1								1
<i>Neoponera villosa</i> (Fabricius, 1804)				1								1
<i>Odontomachus bauri</i> Emery, 1892				1								1

Riqueza y abundancia de organismos del suelo en el gradiente altitudinal Andino-Amazónico del Camino Andakí, Caquetá (Colombia)

Familia/subfamilia/tribu/sp	Altura											Total
	500	625	750	875	1000	1125	1250	1375	1500	1625	1875	
<i>Odontomachus bradleyi</i> Brown, 1976						1						1
<i>Odontomachus meinerti</i> Forel, 1905		1			1	1	1					4
<i>Odontomachus opaciventris</i> Forel, 1899					1							1
<i>Odontomachus</i> sp		1										1
<i>Pachycondyla crassinoda</i> (Latreille, 1802)				1								1
<i>Pachycondyla harpax</i> (Fabricius, 1804)		1										1
<i>Pachycondyla impressa</i> (Roger, 1861)							1					1
<i>Pachycondyla</i> sp		2			1				1			4
<i>Pseudoponera stigma</i> (Fabricius, 1804)					1							1
<i>Rasopone arhuaca</i> (Forel, 1901)								1			2	3
<i>Rasopone becculata</i> (Mackay, W.P. & Mackay, E.E., 2010)							2		1		1	4
<i>Rasopone</i> sp				1					1			2
S.I												
Ponerinae sp			1									1
Proceratiinae												
Proceratiini												
<i>Proceratium transitionis</i> De Andrade, 2003									1			1
RHINOTERMITIDAE												
Heterotermitinae												
<i>Heterotermes</i> sp										1		1
TERMITIDAE												
Apicotermitinae												
<i>Anoplotermes meridianus</i> Emerson, 1925	1		3	2	1	1						8
<i>Anoplotermes</i> sp		2				1					1	4
<i>Echinotermes biriba</i> Castro & Scheffrahn, 2018		1										1
<i>Patawatermes nigripunctatus</i> (Emerson, 1925)			1									1
<i>Rubeotermes jheringi</i> (Holmgren, 1906)	2			2								4
<i>Ruptitermes</i> aff. <i>atyra</i> Acioli & Constantino, 2015					1							1
<i>Rustitermes boteroi</i> Constantino, Castro & Scheffrahn, 2020		4	3	1		1			1			10
Nasutitermitinae	1			1								2
<i>Atlantitermes</i> cf. <i>aculatissimus</i> (Emerson, 1925)					1							1
<i>Nasutitermes corniger</i> (Motschulsky, 1855)	1											1
<i>Nasutitermes</i> sp				1								1
Syntermitinae	2		1	5	2							10
<i>Mapinguaritermes grandidens</i> (Emerson, 1925)				4	1							5
<i>Silvestritermes gnomus</i> (Constantino, 1991)									2			2
<i>Silvestritermes minutus</i> (Emerson, 1925)				2								2
<i>Syntermes nanus</i> Constantino, 1995	2		1	1	1							5
<i>Syntermes spinosus</i> (Latreille, 1804)			1									1
<i>Syntermes</i> sp	1		2		1							4
Termitinae	1			1	1							3
<i>Neocapritermes talpoides</i> Krishna & Araujo, 1968	1			1	1							3
S.I	1	1			1							3
Termitidae1	1	1			1							3

Además de las especies de hormigas y termitas reportadas, se pudo determinar taxonómicamente hasta especie algunos ejemplares de otros grupos taxonómicos como: *Amphidraus guatipan*, *Drizztius rufithorax* (SALTICIDAE), *Deinopsis* sp. (DEINOPIIDAE), *Micrathena* sp. (ARANEDIAE), *Oxysternon* cf. *festivum* (SCARABAEIDAE), *Plochionocerus* sp. (STAPHYLINIDAE), *Acanthoclonia* sp. (PSEUDOPHASMATIDAE), *Pyrophorus* sp. (ELATERIDAE), *Newportia* sp. (SCOLOPOCRYPTOPIDAE) y *Cormocephalus* cf. *impressus* (SCOLOPENDRIDAE).

Diversidad de hongos formadores de micorrizas arbusculares

Por la técnica espóra-dependiente se encontraron 88 morfoespecies de HMA diferentes, 76 de ellas identificadas hasta género (86% de las morfoespecies totales), y 9 hasta especie (10%). Solo 12 morfoespecies (14% de las morfoespecies recuperadas) no pudieron ser determinadas taxonómicamente por el mal estado de las esporas o porque no tenían estructuras que permitieran una clara identificación del género a que

correspondían. A nivel molecular (Illumina MiSeq), se obtuvieron 745 secuencias del filo Glomeromycota correspondientes a 85 taxones virtuales. Estos taxones se distribuyeron a nivel filogenético en siete familias Acaulosporaceae, Archaeosporaceae, Claroideoglomaceae, Diversisporaceae, Gigasporaceae, Glomeraceae y Paraglomeraceae (Tabla 4). Por la técnica molecular se pudieron identificar al 100% las secuencias de hongos formadores de micorrizas arbusculares hasta género y el 6.5% de las secuencias hasta especie.

Tanto por técnicas espora-dependiente como moleculares, *Glomus* fue el género más abundante y más diverso de la zona de estudio (Figuras 8 y 9). *Glomus* estuvo representado con 58

morfoespecies (equivalente al 77% de todas las morfoespecies encontradas por la técnica espora-dependiente), y 61 taxones virtuales (equivalente al 72% del total de taxones virtuales encontrados por la técnica molecular). Éste género fue dominante en la comunidad de HMA a lo largo del Camino Andakí, oscilando entre el 61% y 100% de la comunidad de cada punto muestreado. El segundo género más abundante y con mayor diversidad fue *Acaulospora* con 15 morfoespecies (equivalente al 20% de todas las morfoespecies encontradas por la técnica espora-dependiente) y 14 taxones virtuales (equivalente al 15% de todos los taxones virtuales encontradas por la técnica molecular).

Tabla 4. Especies de hongos formadores de micorrizas arbusculares determinados por técnicas moleculares.

Familia	Genero	Especie	Taxon virtual	Familia	Genero	Especie	Taxon virtual
Acaulosporaceae	Acaulospora	sp.	VT12	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT179
Acaulosporaceae	Acaulospora	sp.	VT14	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT180
Acaulosporaceae	Acaulospora	sp.	VT15	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT182
Acaulosporaceae	Acaulospora	sp.	VT19	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT183
Acaulosporaceae	Acaulospora	sp.	VT24	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT186
Acaulosporaceae	Acaulospora	sp.	VT28	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT191
Acaulosporaceae	Acaulospora	sp.	VT30	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT194
Acaulosporaceae	Acaulospora	sp.	VT102	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT209
Acaulosporaceae	Acaulospora	sp.	VT227	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT215
Acaulosporaceae	Acaulospora	sp.	VT230	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT219
Acaulosporaceae	Acaulospora	sp.	VT231	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT223
Acaulosporaceae	Acaulospora	sp.	VT272	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT235
Acaulosporaceae	Acaulospora	sp.	VT280	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT248
Acaulosporaceae	Acaulospora	sp.	VT328	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT253
Archaeosporaceae	Archaeospora	sp.	VT4	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT269
Archaeosporaceae	Archaeospora	sp.	VT5	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT270
Archaeosporaceae	Archaeospora	sp.	VT9	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT280
Entrophosporaceae	Claroideoglossum	sp.	VT57	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT292
Entrophosporaceae	Claroideoglossum	lamellosum	VT193	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT312
Diversisporaceae	Diversispora	epigea	VT61	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT322
Glomeraceae	Glomus	sp.	VT68	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT327
Glomeraceae	Glomus	sp.	VT70	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT343
Glomeraceae	Glomus	sp.	VT74	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT359
Glomeraceae	Glomus	sp.	VT76	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT360
Glomeraceae	Glomus	sp.	VT79	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT361
Glomeraceae	Glomus	sp.	VT80	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT364
Glomeraceae	Glomus	sp.	VT82	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT368
Glomeraceae	Glomus	sp.	VT84	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT370
Glomeraceae	Glomus	sp.	VT89	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT381
Glomeraceae	Glomus	sp.	VT92	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT383
Glomeraceae	Glomus	sp.	VT93	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT397
Glomeraceae	Glomus	sp.	VT96	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT398
Glomeraceae	Glomus	sp.	VT101	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT399
Glomeraceae	Glomus	sp.	VT111	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT403
Glomeraceae	Glomus	sp.	VT112	Glomeraceae	Glomus	sp.	VT420
Glomeraceae	Glomus	sp.	VT108	Glomeraceae	Rhizophagus	manihotis	VT90
Glomeraceae	Glomus	sp.	VT114	Glomeraceae	Rhizophagus	clarum	VT264
Glomeraceae	Glomus	sp.	VT116	Gigasporaceae	Gigaspora	decipiens	VT39
Glomeraceae	Glomus	sp.	VT122	Gigasporaceae	Scutellospora	sp.	VT52
Glomeraceae	Glomus	sp.	VT124	Gigasporaceae	Scutellospora	heterogama	VT255
Glomeraceae	Glomus	sp.	VT126	Gigasporaceae	Scutellospora	castanea	VT41
Glomeraceae	Glomus	sp.	VT166	Paraglomeraceae	Paraglomus	laccatum	VT281
Glomeraceae	Glomus	sp.	VT167				

ALTITUD	1875	1625	1500	1325	1250	1125	1000	875	750	625	500
VTX00004	■		■		■		■				■
VTX00005	■	■				■					
VTX00009			■								
VTX00012	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00014	■	■	■						■		
VTX00015	■	■	■								
VTX00019	■										
VTX00024	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00028	■		■					■			■
VTX00030	■										
VTX00039		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00041			■		■		■	■			
VTX00052			■								
VTX00057											■
VTX00061					■						
VTX00068	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00070							■	■	■	■	■
VTX00074							■	■	■	■	■
VTX00076							■	■	■	■	■
VTX00079	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00080	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00082	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00084	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00089	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00090											■
VTX00092	■									■	■
VTX00093		■		■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00096						■	■	■	■	■	■
VTX00101						■	■	■	■	■	■
VTX00102	■										
VTX00108						■	■	■	■	■	■
VTX00111							■	■	■	■	■
VTX00112							■	■	■	■	■
VTX00114	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00122							■	■	■	■	■
VTX00124							■	■	■	■	■
VTX00126	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00166	■										
VTX00167									■	■	■
VTX00179		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00180	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00182	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00183						■	■	■	■	■	■
VTX00186	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00191	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00193											■
VTX00194	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00209											■
VTX00215						■	■	■	■	■	■
VTX00219								■	■	■	■
VTX00223	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00227	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00230	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00231	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00235	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00246	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00253							■	■	■	■	■
VTX00255	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00264											■
VTX00269							■	■	■	■	■
VTX00270						■	■	■	■	■	■
VTX00272	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00280	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00281						■					■
VTX00292	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00312											■
VTX00322	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00327	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00328									■		
VTX00343	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00359		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00360	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00361	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00364	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00368						■	■	■	■	■	■
VTX00370	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00381							■	■	■	■	■
VTX00383							■	■	■	■	■
VTX00397	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00398										■	■
VTX00399	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
VTX00403							■	■	■	■	■
VTX00420							■	■	■	■	■
Total VT reportados	36	26	30	18	22	31	31	38	23	33	43
Total morfoespecies reportadas	16	14	15	19	10	13	18	15	10	10	12

Figura 8. Riqueza de géneros de hongos formadores de micorrizas arbusculares en el Camino Andakí



Figura 9. Espora de uno de los morfotipos de *Glomus* sp., colectado en el Camino Andakí.

Del total de taxones virtuales de hongos formadores de micorrizas arbusculares que han sido recuperados de suelos de la Amazonia colombiana (115), en el Camino Andakí se registraron 50 de ellos. Los restantes 32 taxones virtuales fueron recuperados por primera vez para la región (Tabla 5).

La abundancia de esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares estuvo directamente relacionada con la altitud ($p=0.004$; test de Spearman), presentando un mayor número de esporas a mayores altitudes. La riqueza de especies no varió con la altura. Algunas especies de *Glomus* (VT79, VT80, VT84, VT89, VT292, VT361) y *Acaulospora* (VT231) tuvieron una distribución amplia, registrándose en todas las alturas muestreadas. Sin embargo, cada punto muestreado tuvo una comunidad característica y diferente de las de los demás puntos.

Tabla 5. Nuevos taxones virtuales de hongos formadores de micorrizas arbusculares registrados para la Amazonia colombiana

GENERO	ESPECIE Y/O TAXON VIRTUAL
<i>Acaulospora</i> (n=9)	VTX00272, VTX00102, VTX00019, VTX00015, VTX00230, VTX00012, VTX00014, VTX00231, VTX00328
<i>Archaeospora</i> (n=2)	VTX00005, VTX00009
<i>Diversispora</i> (n=1)	<i>Diversispora epigea</i> (VTX00061)
<i>Glomus</i> (n=17)	VTX00179, VTX00111, VTX00074, VTX00209, VTX00101, VTX00183, VTX00182, VTX00068, VTX00114, VTX00194, VTX00191, VTX00360, VTX00381, VTX00219, VTX00383, VTX00223, VTX00235
<i>Paraglomus</i> (n=1)	<i>Paraglomus laccatum</i> (VTX00281)
<i>Scutellospora</i> (n=2)	<i>Scutellospora heterógama</i> (VTX00255), VTX00052

DISCUSIÓN

Claramente, la altitud y las características de los suelos fueron factores que influyeron en la composición de las comunidades de organismos estudiadas a lo largo del Camino Andakí, traduciéndose en una alta diversidad. Las zonas muestreadas sobre los 1000 msnm ofrecieron el mayor número de morfoespecies nuevas, ya que ésta era la primera vez que se incluían alturas mayores a los 1200 msnm para el estudio de grupos de organismos edáficos.

La abundancia de las comunidades de organismos evaluados fue afectada de manera diferente por la altitud y por los cambios en el suelo a lo largo del Camino Andakí. La macrofauna fue mucho más abundante a una baja altitud, en donde la materia orgánica y en general la fertilidad de los suelos es más baja y su papel en el ciclaje de los nutrientes es mucho más relevante (Guerrero y Sarmiento, 2010; Devetter *et al.* 2017). Al contrario, las esporas de HMA fueron más abundantes a mayor altura, donde la abundancia de la macrofauna es menor y hay una posible menor predación de estas estructuras, siendo importantes agentes de propagación y colonización de nuevas plantas hospederas (Fitter y Garbaye, 1994; Sanders y Van Veen, 2011). A menores altitudes, los HMA producen un menor número de esporas en ambientes conservados, utilizando la red de micelio como la principal estrategia de colonización de nuevas plantas hospederas. Además, su mayor abundancia estuvo relacionada con una menor disponibilidad de fósforo en el suelo, siendo este el principal elemento movilizado a través de esta asociación planta-hongo, indicando que puede estar jugando un papel importante en la movilización del fósforo hacia las plantas, en especial en sitios con baja disponibilidad de este elemento en el suelo.

Es importante mencionar que aun cuando en este trabajo los grupos más abundantes fueron las hormigas, los coleópteros, y las arañas, esta distribución difiere de la reportada en estudios para la Amazonia colombiana, en donde las hormigas siempre superaban el 45% de abundancia total del muestreo, y donde las termitas representaban un porcentaje mayor que el de los coleópteros y los arácnidos. Estas variaciones en la distribución de los diversos grupos de macrofauna en la zona de muestreo puede explicarse en primera medida por incluir en este estudio sitios a más de 1200 msnm que no habían sido muestreados anteriormente. Por parte de las termitas, su baja abundancia pudo estar influenciada por el nivel de perturbación de algunos de los puntos de muestreo, donde las termitas bajan su abundancia y riqueza (Eggleton *et al.*, 2002; Vasconcellos *et al.*, 2010). Aunque en el presente muestreo se realizaron las colectas preferiblemente en áreas naturales, en algunos puntos de muestreo predominaron los rastrojos jóvenes y las pasturas, lo que pudo causar la pérdida de abundancia de termitas en el suelo.

La estructura de la macrofauna evidenciada en el Camino Andakí, también se ha encontrado en otros estudios que abarcan la incidencia del gradiente altitudinal en la composición y estructura de la macrofauna, u organismos de la artropofauna en concreto (González y Lodge, 2017; Mejía, 2008; Palin *et al.* 2011). Se ha reportado que, a alturas superiores a los 1600 msnm, la abundancia y riqueza de hormigas disminuye notablemente (Guerrero y Sarmiento, 2010; Mejía, 2008; Olson, 1994). Se observa que las hormigas es el grupo más rico en especies, únicamente desplazado a la altura de 1875 m por coleópteros y arañas en abundancia y riqueza. Las termitas muestran un decrecimiento muy marcado con la altura. Esto se explica porque en el muestreo se colectan termitas principalmente que se alimentan de humus, hongos y básicamente materia en descomposición del suelo, como lo indica la alta abundancia de termitas *Apicotermatinae* (termitas húmívoras), y *Syntermatinae*, (termitas que se alimentan de la interfase suelo-madera), importantes en sitios de alturas menores a 1000 m (Gathorne-Hardy *et al.* 2002; Inoue *et al.*, 2006). Algunos estudios han podido establecer que a mayor altura la abundancia de estos grupos tróficos disminuye notablemente porque predominan grupos más xilófagos que anidan en nidos aéreos o epigeos, los cuales con el muestreo utilizado son submuestreadas.

La riqueza de especies de la macrofauna edáfica no se vio influencia por el gradiente altitudinal, pero la composición de la macrofauna sí. Los grupos funcionales cambiaron en razón de la altura. En el caso de organismos depredadores como arañas y chilopodos estos fueron más abundantes en zonas altas. Por el contrario, los ingenieros del ecosistema fueron más abundantes en zonas bajas donde existe mayor disponibilidad de materia orgánica, una temperatura y composición del suelo más favorables para estos organismos (Palin *et al.*, 2011; Wilkie *et al.*, 2010).

La dominancia de los géneros *Glomus* y *Acaulospora* de HMA en los suelos amazónicos es un patrón que se repite a lo largo de toda la región amazónica (Freitas *et al.*, 2014; Peña-Venegas, 2010, 2015). *Glomus* es reconocido como un género de distribución mundial, con alta presencia en suelos tropicales (Öpik *et al.*, 2006), lo que da cuenta de su dominancia a lo largo de todo el Camino Andakí. *Acaulospora* ha sido un género de hongos formadores de micorriza arbuscular comúnmente asociado con suelos ácidos (Freitas *et al.*, 2014), lo que explica por qué su alta representatividad en la comunidad de estos hongos en la zona de estudio.

A pesar de existir diferencias en la abundancia de las diferentes comunidades biológicas a lo largo del Camino Andakí, estos cambios no estuvieron relacionados con la riqueza de organismos, siendo las comunidades distintas y diversas a lo largo de todos los puntos muestreados. La diversidad edáfica fue alta para estar referida al muestreo de un tramo de aproximadamente 40 kilómetros de longitud, pues en este trayecto se registraron, 300 morfoespecies (850 especímenes) de macrofauna edáfica en general y 85 taxones virtuales de hongos formadores de micorrizas arbusculares.

No solo la riqueza fue alta para un tramo de poca longitud, sino que se destacan los nuevos reportes que arrojó la Expedición para la biología de los suelos amazónicos. Se reportaron dos nuevos géneros y especies nuevas de termitas para la ciencia (*Echinotermes biriba*, *Rustitermes boteroi*) que recientemente fueron descritas (Castro *et al.*, 2018, 2020); y 32 taxones virtuales de HMA nuevos para la región amazónica. Actualmente en la base mundial de secuencias de HMA MaarjAM (Öpik *et al.*, 2009) existen aproximadamente 400 especies identificadas como taxones virtuales, por cuanto la zona del Camino Andakí posee una riqueza de estos hongos que equivale al 20% de la diversidad mundial, siendo un lugar de alta diversidad. Esta alta diversidad puede tener relación con la gran importancia que esta asociación planta-hongo puede tener para el mantenimiento del ecosistema y la nutrición de las plantas en zonas con una moderada disponibilidad de nutrientes. Sin embargo, se reconoce que la mayoría géneros y especies de HMA no tienen una distribución geográfica específica en el mundo, siendo muy bajo el número de especies que se denominan como endémicas (Davison *et al.*, 2015), por cuanto no podría hablarse en este caso de especies exclusivas de estos suelos, sino que aparecen por ser zonas poco muestreadas anteriormente.

CONCLUSIONES

La Expedición Colombia-BIO a la Biodiversidad en la Transición Andino-Amazónica del Departamento de Caquetá. Un escenario de paz en el postconflicto, permitió evidenciar la alta riqueza de organismos que existen en los suelos de la transición andino-amazónica de Colombia. Aun cuando en términos de distancia, la zona de muestreo cubrió un corto trayecto, el estudio de las

dos comunidades de organismos edáficos permitió el reporte de dos nuevos géneros y especies de termitas para la ciencia, y el reporte de 32 taxones virtuales de hongos formadores de micorrizas arbusculares nunca antes reportados para la región amazónica. Probablemente con la revisión posterior de expertos taxónomos en otros grupos se reporten nuevos registros y especies para el país y la ciencia. Esfuerzos conjuntos como el realizado en esta expedición para llegar a sitios poco estudiados anteriormente, permiten no solo ampliar los inventarios de la biodiversidad colombiana, sino entender mejor los procesos que regulan la composición de las comunidades biológicas. En el caso particular de las comunidades biológicas edáficas, de cómo estas cambian con respecto a la altitud.

AGRADECIMIENTOS

A Colciencias por la financiación de la Expedición Colombia-BIO a la Biodiversidad en la Transición Andino-Amazónica del Departamento de Caquetá. Un escenario de paz en el postconflicto que permitió ofrecer información nueva sobre la diversidad de los suelos amazónicos colombianos. A los biólogos: Fernando Fernández, Eduardo Flores, María Camila Tocora, Andrés Meneses, Stepfania Sánchez, Daniela Martínez, William Galvis y Sebastián Galvis por la ayuda en la identificación taxonómica de algunos especímenes de macrofauna.

BIBLIOGRAFÍA

Ackerman IL, Constantino R, Gauch HG, Lehmann J, Riha SJ, Fernandes ECM (2009) Termite (Insecta: Isoptera) species composition in a primary rain forest and agroforests in central Amazonia. *Biotropica* 41: 226–233. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2008.00479.x>

Adams RMM, Longino JT (2007) Nesting biology of the arboreal fungus-growing ant *Cyphomyrmex cornutus* and behavioral interactions with the social-parasitic ant *Megalomyrmex mondabora*. <https://doi.org/10.1007/s00040-007-0922-0>

Adis J (2002) Amazonian arachnida and myriapoda. Pensoft, Sofia–Moscow, 590 pp.

Anderson J, Ingram J (1993) Tropical soil Biology and fertility a handbook of methods. 2nd ed. Cab International, 21 pp. Available from: http://www.sefs.washington.edu/classes.esrm.304/Spring2015/module_soils_TropicalSoilBiology.pdf (February 9, 2017).

De Andrade M, Baroni C (1999) Diversity and adaptation in the ant genus *Cephalotes*, past and present. *Stuttgarter Beitrage zur Naturkunde Series B (Geologie and Palaentologie)* 271: 1–889.

Barros E, Curmi P, Hallaire V, Chauvel A., Lavelle P (2001) The role of macrofauna in the transformation and reversibility of soil structure of an oxisol in the process of forest to pasture conversion. *Geoderma* 100: 193–213. [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(00\)00086-0](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(00)00086-0)

Barros E, Grimaldi M, Sarrazin M, Chauvel A, Mitja D, Desjardins T, Lavelle P (2004) Soil physical degradation and changes in macrofaunal communities in Central Amazon. *Applied Soil Ecology* 26: 157–168. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2003.10.012>

Barros E, Pashanasi B, Constantino R, Lavelle P (2002) Effects of land-use system on the soil macrofauna in western Brazilian Amazonia. *Biology and Fertility of Soils* 35(5): 338–347.

Bever JD, Dickie IA, Facelli E, Facelli JM, Klironomos J, Moora M, Rillig MC, Stock WD, Tibbett M, Zobel M (2018) Rooting theories of plant community ecology in microbial interactions. *Trends in Ecology and Evolution* 25 (8): 468–478

Busse MD, Sanchez FG, Ratcliff AW, Butnor JR, Carter EA, Powers RF (2009) Soil carbon sequestration and changes in fungal and bacterial biomass following incorporation of forest residues. *Soil Biology & Biochemistry* 41:220–227

Bignell DE, Constantino R, Csuzdi C, Karyanto A, Konaté S, Louzada J, Susilo F-X, Tondoh JE, Zanetti R (2012) Macrofauna. In: Moreira F, Huising E, Bignell DE (Eds), *Manual de biología de suelos tropicales. Muestreo y caracterización de la biodiversidad bajo suelo*. Instituto Nacional de Ecología, México, México, 91–148.

Bik HM, Porazinska DL, Creer S, Caporaso JG, Knight R, Thomas WK (2012) Sequencing our way towards understanding global eukaryotic biodiversity. *Trends in Ecology and Evolution* 27, 233–243

Borrow D, Triplehorn C, Johnson N (2000) *An introduction to the study of insects*. 7a ed. 2000 pp.

Bourguignon T, Scheffrahn RH, Kreck J, Nagy ZT, Sonet G, Roisin Y (2010) Towards a revision of the Neotropical soldierless termites (Isoptera: Termitidae): redescription of the genus *Anoplotermes* and description of *Longustitermes*, gen. nov. *Invertebrate Systematics* 24: 357–370. <https://doi.org/10.1111/zoj.12305>

Bourguignon T, Scheffrahn RH, Nagy ZT, Sonet G, Host B, Roisin Y (2016) Towards a revision of the Neotropical soldierless termites (Isoptera: Termitidae): redescription of the genus *Grigiotermes* Mathews and description of five new genera. *Zoological Journal of the Linnean Society* 176: 15–35. <https://doi.org/10.1111/zoj.12305>

Brandão CR (1990) Systematic revision of the neotropical ant genus *Megalomyrmex* Forel (Formicida: Myrmicinae), with the description of thirteen new species. *Arquivos de Zoologia* 31 (5): 411–481.

Camacho C, Coulouris G, Avagyan V, Ma N, Papadopoulos J, Bealer K, Madden TL (2009) BLAST+: architecture and applications. *BMC Bioinformatics* 10:421

Castro D, Scheffrahn RH, Carrizo TF (2018) *Echinotermes biriba*, a new genus and species of soldierless termite from the Colombian and Peruvian Amazon (Termitidae, Apicotermatinae). *ZooKeys* 748: 21–30. <https://doi.org/10.3897/zookeys.748.24253>

Castro D, Constantini JP, Scheffrahn RH, Carrizo TF, Canello EM (2020) *Rustitermes boteroi*, a new genus and species of soldierless termites (Blattodea, Isoptera, Apicotermatinae) from South America. *ZooKeys* 922: 35–49. <https://doi.org/10.3897/zookeys.922.47347>

Chao A, Ma K, Hsieh TC (2016) iNEXT (iNterpolation and EXTrapolation) Online: Software for Interpolation and Extrapolation of Species Diversity. Program and User's Guide. Available from: <https://chao.shinyapps.io/iNEXTOnline/>.

Chao A, Gotelli NJ, Hsieh TC, Sander EL, Ma KH, Colwell RK, Ellison AM (2014) Rarefaction and extrapolation with Hill numbers: A framework for sampling and estimation in species diversity studies. *Ecological Monographs* 84: 45–67. <https://doi.org/10.1890/13-0133.1>

- Constantino R (1992) Notes on Embiratermes Fontes (Isoptera, Termitidae, Nasutitermitinae), with descriptions of two new species from Amapá State, Brazil. Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi, sér. Zool 8: 329–336. Available from: <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=E-LIM.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=005554>.
- Constantino R (2000) Key to the soldiers of South American *Heterotermes* with a new species from Brazil (Isoptera: Rhinotermitidae). Insect Systematics and Evolution 31: 463–472.
- Constantino R (2002) An illustrated key to Neotropical termite genera (Insecta: Isoptera) based primarily on soldiers. Zootaxa 67: 1–40.
- Constantino R, De Souza OFF (1997) key to the of *Atlantitermes* Fontes 1979, with a new species from Brazil (Isoptera Termitidae Nasutitermitinae). Tropical Zoology 10: 205–213.
- Culliney T (2013) Role of Arthropods in Maintaining Soil Fertility. Agriculture 3: 629–659. <https://doi.org/10.3390/agriculture3040629>
- Davison J, Moora M, Opik M, Adholey A, Ainsaar L, Bañ A, Burla S, Diedhiou AG, Hiiesalu I, Jairus T, Johnson NC, Kane A, Koorem K, Kochar M, Ndiaye C, Pärtel M, Reier U, Saks U, Singh R, Vasar M, Zobel M (2015) Global assessment of arbuscular mycorrhizal fungus diversity reveals very low endemism. Science 349 (6251): 970–973.
- Decaëns T, Mariani L, Lavelle P (1999) Soil surface macrofaunal communities associated with earthworm casts in grasslands of the Eastern Plains of Colombia. Applied Soil Ecology 13: 87–100. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(99\)00024-4](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(99)00024-4)
- Devetter M, Hännell L, Řeháková K, Doležal J (2017) Diversity and feeding strategies of soil microfauna along elevation gradients in Himalayan cold deserts. PLoS ONE 12. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187646>
- Edgar RC, Haas BJ, Clemente JC, Quince C, Knight R (2011) UCHROME improves sensitivity and speed of chimera detection. Bioinformatics 27, 2194–2200.
- Edmonds WD, Zídek J (2004) Revision of the Neotropical Dung Beetle Genus *Oxysternon* (Scarabaeidae: Scarabaeinae: Phanaeini). Folia Heyrovskyana 11: 1–58.
- Eggleton P, Bignell DE, Hauser S, Dibog L, Norgrove L, Madong B (2002) Termite diversity across an anthropogenic disturbance gradient in the humid forest zone of West Africa. Agriculture, Ecosystems & Environment 90: 189–202. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(01\)00206-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(01)00206-7)
- FAO—Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. (2015) Año internacional de los suelos. 2015. <http://www.fao.org/soils-2015/es/> (Consulta: 19/01/2018).
- Feitosa RM, Brandão CRF (2008) A taxonomic revision of the Neotropical myrmicine ant genus *Lachnomymex* Wheeler (Hymenoptera: Formicidae). Zootaxa 49: 1–49.
- Fernández F (1991) Las hormigas cazadoras del genero *Ectatomma* (FORMICIDAE: PONERINAE) en Colombia. Caldasia 79: 551–564.
- Fernández F (2003a) Introducción a las hormigas de la región Neotropical. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá, 398 pp.
- Fernández F (2003b) Myrmicine Ants of the Genera *Ochetomymex* and *Tranopelta* (Hymenoptera: Formicidae). Sociobiology 41: 633–661.
- Fitter AH, Garbaye J (1994) Interactions between mycorrhizal fungi and other soil organisms. Plant and Soil 159: 123–132. <https://doi.org/10.1007/BF00000101>
- Freitas RO, Buscardo E, Nagy L, Maciel ABS, Carrenho R, Luizão RCC (2014) Arbuscular mycorrhizal fungal communities along a pedo-hydrological gradient in a Central Amazonian terra firme forest. Mycorrhiza 24(1): 21–32.
- Gathorne-Hardy FJ, Jones DT, Syaokani (2002) A regional perspective on the effects of human disturbance on the termites of Sundaland. Biodiversity and Conservation 11: 1991–2006. <https://doi.org/10.1023/A:1020890627168>
- Gendermann, J., Nicolson, T. (1964) Spores of mycorrhizal *Endogone* extracted from soil by wet-sieving and decanting. Transcriptions of the British Mycological Society 46: 235–244.
- González G, Lodge DJ (2017) Soil biology research across latitude, elevation and disturbance gradients: A review of forest studies from Puerto Rico during the past 25 years. Forests 8: 1–15. <https://doi.org/10.3390/f8060178>
- Guerrero RJ, Sarmiento CE. (2010) Distribución Altitudinal De Hormigas (Hymenoptera, Formicidae) En La Vertiente Noroccidental De La Sierra Nevada De Santa Marta (Colombia). Acta Zoológica Mexicana 26: 279–302.
- Hawksworth DL (2001) The magnitude of fungal diversity: the 1.5 million species estimate revisited. Mycological Research 105 (12): 1422–1432
- Hsieh TC, Ma KH, Chao A (2016) iNEXT: an R package for rarefaction and extrapolation of species diversity (Hill numbers). Methods in Ecology and Evolution 7: 1451–1456. <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12613>
- Inoue T, Takematsu Y, Yamada A, Hongoh Y, Johjima T, Moriya S, Sorannuwat Y, Vongkaluang C, Ohkuma M, Kudo T (2006) Diversity and abundance of termites along an altitudinal gradient in Khao Iyay National Park, Thailand. Journal of Tropical Ecology 22: 609. <https://doi.org/10.1017/S0266467406003403>
- Jimenez E, Fernández F, Arias TM, Lozano- Zambrano FH (2008) Sistemática, biogeografía y conservación de las hormigas cazadoras de Colombia. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, Bogotá D.C., 609 pp.
- Jocqué R, Dispenaar-Schoeman A. (2006) Spiders Families of the World. Royal museum for Central Africa, Belgium, 336 pp.
- Kalif KAB, Azevedo-Ramos C, Moutinho P, Malcher SAO (2001) The Effect of Logging on the Ground-Foraging Ant Community in Eastern Amazonia. Studies on Neotropical Fauna and Environment 36: 215–219. <https://doi.org/10.1076/snfe.36.3.215.2119>
- Krishna K, Araujo RL (1968) A revision of the Neotropical termite genus *Neocapritermes* (Isoptera, Termitidae, Termitinae). Bulletin of the American Museum of Natural History 138: 83–130. Available from: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle>

:A+revision+of+the+neotropical+termite+genus+Neocapritermes+ (Isoptera,+Termitidae,+Termitinae)#0.

- Kury AB (2000) Classification of Opiliones. Museu Nacional/UFRJ website. Available from: <http://www.museunacional.ufrj.br/mndi/Aracnologia/opiliones.html>.
- Landis FC, Gargas A, Givnish TJ (2004) Relationships among arbuscular mycorrhizal fungi, vascular plants and environmental conditions in oak savannas. *New Phytologist* 164: 493–504.
- LaPolla J (2004) Acrophyga (Hymenoptera: Formicidae) of the world. *Contributions of the American Entomological Institute* 33: 1–130.
- Lavelle P (1997) Faunal activities and soil processes: adaptive strategy that determine ecosystem function. *Advances in Ecological Research* 27: 93–132.
- Lee J, Lee S, Young JPW (2008) Improved PCR primers for the detection and identification of arbuscular mycorrhizal fungi. *FEMS Microbiology Ecology* 65:339–349.
- Longino JT (2009) 90 Zootaxa Additions to the taxonomy of New World Pheidole (hymenoptera: Formicidae). 1–90 pp. <https://doi.org/http://www.mapress.com/zootaxa/>
- Longino JT, Fernández F (2007) Taxonomic review of the genus Wasmanina. *Memoirs of the American Entomological Institute* 80: 271–289.
- Mathews A (1977) Studies of termites from Mato Grosso State, Brazil. *Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro*, 267 pp.
- Mathieu J, Rossi JP, Mora P, Lavelle P, Martins PFDS, Rouland C, Grimaldi M (2005) Recovery of soil macrofauna communities after forest clearance in Eastern Amazonia, Brazil. *Conservation Biology* 19: 1598–1605. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2005.00200.x>
- Mejía E (2008) Species Richness and Turnover of Ants (Formicidae) Along an Altitudinal Gradient (Girón – Paramo de Berlín), Santander Colombia. : 27.
- Moreira FMS, Siqueira JO, Bussaard L (2008) Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros. Universidade Federal de Lavras, Lavras, Brasil.
- Moyersoen B (1993) Ectomicorizas y micorizas vesiculo-arbusculares en Caatinga Amazónica del Sur de Venezuela. *Scientia Guianae* 3: 1–82.
- Olson DM (1994) The distribution of leaf litter invertebrates along a Neotropical altitudinal gradient. *Journal of Tropical Ecology* 10: 129. <https://doi.org/10.1017/S0266467400007793>
- Õpik M, Metsis M, Daniell TJ, Zobel M, Moora M (2009) Large-scale parallel 454 sequencing reveals host ecological group specificity of arbuscular mycorrhizal fungi in a Boreonemoral forest. *New Phytologist* 184:424–437
- Õpik M, Moora M, Liira J, Zobel M (2006) Composition of root-colonizing arbuscular mycorrhizal fungal communities in different ecosystems around the globe. *Journal of Ecology* 94(4): 778–790.
- Õpik M, Zobel M, Cantero JC, Davison J, Facelli JM, Hiiesalu I, Jairus T, Kalwij JM, Koorem K, Leal ME, Liira J, Metsis M, Neshataeva V, Paal J, Phosri C, Pölme S, Reier Ü, Saks Ü, Schimann H, Thiéry O, Vassar M, Moora M (2013) Global sampling of plant roots expands the described molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Mycorrhiza* 23, 411–430.
- Ortiz CM, Fernández F (2011) Hormigas del género *Dolichoderus* lund (FORMICIDAE: DOLICHODERINAE) en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Instituto de Ciencias Naturales, Bogotá, 118 pp.
- Palin OF, Eggleton P, Malhi Y, Girardin CAJ, Rozas-Dávila A, Parr CL (2011) Termite Diversity along an Amazon-Andes Elevation Gradient, Peru. *Biotropica* 43: 100–107. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2010.00650.x>
- Peña-Venegas CP (2015) People, soil and manioc interactions in the upper Amazon region. Wageningen University. 210 p.
- Peña-Venegas CP (2010) Arbuscular mycorrhizal fungi in the Amazon región. En: *Mycorrhiza: occurrence in natural and restored environments*. M. Pagano (Eds). Nova Publishers, New York. Pp. 75 – 86.
- Peña-Venegas CP, Cardona GI (2010) Dinámica de los suelos amazónicos: procesos de degradación y alternativas para su recuperación. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. Bogotá. Pp. 52–56.
- Peña-Venegas CP, Cardona G, Mazonra A (2006) Micorizas Arbusculares de la Amazonia colombiana. *Catálogo Ilustrado*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Bogotá.
- Peña-Venegas CP, Cardona GI, Mazonra A, Arguellez JH, Arcos AL (2006) Micorizas arbusculares de la amazonia colombiana. *Catálogo Ilustrado*. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI. 90p.
- Rocha MM, Canello EM, Carrijo TF (2012) Neotropical termites: Revision of *Armitermes* Wasmann (Isoptera, Termitidae, Syntermitinae) and phylogeny of the Syntermitinae. *Systematic Entomology* 37: 793–827. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.2012.00645.x>
- Sanders IR (2004) Plant and arbuscular mycorrhizal fungal diversity—are we looking at the relevant levels of diversity and are we using the right techniques? *New Phytologist* 164, 415–418.
- Sanders D, van Veen FJF (2011) Ecosystem engineering and predation: The multi-trophic impact of two ant species. *Journal of Animal Ecology* 80: 569–576. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2010.01796.x>
- Schenck NC, Pérez Y (1988) Manual for the identification of VA micorrhizal fungi. University of West Virginia, West Virginia.
- Schmidt CA, Shattuck SO (2014) The Higher Classification of the Ant Subfamily Ponerinae (Hymenoptera: Formicidae), with a Review of Ponerine Ecology and Behavior. *Zootaxa* 3817: 1–242. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.11646/zootaxa.3817.1.1>
- Sendra A (2001) *Dipluros campodeidos (Diplura: Campodeidae) de las grutas almerienses (Almería, España)*. *Zool. baetica*: 71–82. <https://doi.org/1130-4251>
- Simon L, Lalonde M, Bruns TD (1992) Specific amplification of 18S fungal ribosomal genes from VA endomycorrhizal fungi colonizing roots. *Applied and Environmental Microbiology* 58:291–295.
- Sosa-Calvo J, Brady SG, Schultz TR (2009) The gyne of the enigmatic fungus-farming ant species *Mycetosoritis explicata*. *Journal of Hymenoptera Research* 18: 113–120.
- Stürmer SL, Siqueira JO (2008) Diversidade de fungos micorrízicos arbusculares em ecossistemas brasileiros. In: Moreira, F.M.S., Siqueira, J.O., Brussaard, L. (Eds.), *Biodiversidade do solo em ecossistemas brasileiros*. Universidade Federal de Lavras, Lavras, pp. 538–563.

- Suárez J, Humphrey E, Bautista D, Pati GR (2015) Macrofauna edáfica asociada con sistemas agroforestales en la Amazonía colombiana. *Ciencias del Suelo: Química, Física, Biología, Bioquímica e Hidrología* 64: 214–220. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15446/acag.v64n3.38033> Macrofauna
- Thyssen P (2010) Keys for Identification of Immature Insect. In: Amendt J, Goff ML, Campobasso CP, Grassberger M (Eds), *Current Concepts in Forensic Entomology.* , 1–376. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9684-6>
- Torsvik V, Øvreås L (2002) Microbial diversity and function in soil: from genes to ecosystems. *Current Opinions in Microbiology* 5: 240–245.
- Vasconcellos A, Bandeira AG, Moura FMS, Araújo VFP, Gusmão MAB, Constantino R (2010) Termite assemblages in three habitats under different disturbance regimes in the semi-arid Caatinga of NE Brazil. *Journal of Arid Environments* 74: 298–302. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2009.07.007>
- Vaz-De-Mello FZ, Edmonds WD, Ocampo FC, Schoolmeesters P (2011) 73 Zootaxa A multilingual key to the genera and subgenera of the subfamily Scarabaeinae of the New World (Coleoptera: Scarabaeidae). 1–73 pp.
- Vega-Román E (2015) Clave de identificación para las familias de quilópodos (Myriapoda : Chilopoda) de Chile Key to the families of Chilopoda (Myriapoda) of Chile. *Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa* 54: 411–413.
- Velásquez E, Fonte SJ, Barot S, Grimaldi M, Desjardins T, Lavelle P (2012) Soil macrofauna-mediated impacts of plant species composition on soil functioning in Amazonian pastures. *Applied Soil Ecology* 56: 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2012.01.008>
- Wild AL (2005) Taxonomic revision of the *Pachycondyla apicalis* species complex (Hymenoptera: Formicidae). *Zootaxa* 25: 1–25.
- Wilkie KTR, Mertl AL, Traniello JFA (2010) Species Diversity and Distribution Patterns of the Ants of Amazonian Ecuador. *PLOS ONE* 5: plos. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013146>
- Wolf M (2006) *Insectos de Colombia*. 1st ed. Universidad de Antioquia, Medellín, 460 pp.





Pequeño saltamontes, Camino Andakí (Huila-Caquetá). Foto: Daniel Castro