

Efectos de la minería a cielo abierto sobre la composición y la estructura de artrópodos edáficos en áreas con distintas temporalidades de abandono en Condoto, Chocó, Colombia

Effects of opencast mining on the composition and structure of edaphic arthropodes in areas with different times of abandonment in Condoto, Chocó, Colombia

Nelsy Sofía Bonilla-Urrutia^{1*}, Eladio Rentería Moreno¹

Resumen

Los artrópodos edáficos constituyen un elemento fundamental en el mantenimiento de muchos procesos ecológicos dados en el suelo; sin embargo, en áreas intervenidas con actividad minera, estos se ven drásticamente afectados, debido a la alteración de su hábitat. Es importante resalta que la actividad de origen antrópico que ha venido deteriorando aceleradamente los ecosistemas, está ocurriendo en una de las zona *hotspots* del mundo, reconocida por su alta diversidad y endemismo. **Objetivo:** Evaluar el efecto de las minas abandonadas sobre la composición y la estructura de la artropofauna edáfica en Condoto, Chocó. **Metodología:** Se seleccionaron cuatro hábitats (mina 5-10 años, mina 15-20 años, mina >30 años, hábitat de referencia). Se realizaron muestreos con trampas Pitfall y muestreo manual. Se calcularon índices de diversidad de Shannon, equitatividad de Pielou y dominancia de Simpson y se hicieron análisis comparativos mediante ANOVA. **Resultados:** Se capturaron un total de 231 morfoespecies y 6.207 individuos. Los órdenes Hymenoptera y Coleoptera fueron los más representativos. El hábitat referencia presentó la mayor riqueza y M5-10 años obtuvo la mayor abundancia. M>30años presentó la mayor diversidad. La menor riqueza y diversidad se presentó en M5-10años. M>30 años fue el área que guardó mayor similitud con H-referencia, mientras que la mayor diferencia estuvo entre H-referencia y M5-10años. **Conclusión:** La composición y la estructura de artrópodos edáficos varió notablemente de acuerdo con la temporalidad de abandono de las minas, mostrando mayores valores en la mina con mayor tiempo de recuperación.

Palabras clave: Artrópodos del Chocó, Edafofauna, Entomofauna, Impactos de la minería, Restauración ecológica.

Abstract

Edaphic arthropods constitute a fundamental element in the maintenance of many ecological processes given in the soil, however, in areas intervened with mining activity, they are drastically affected, due to the alteration of their habitat. However, it is important to note that the activity of anthropic origin that has been rapidly deteriorating ecosystems is occurring in one of the world's hotspot areas, recognized for its high diversity and endemism. **Objective:** To evaluate the effect of abandoned mines on the composition and structure of the edaphic arthropofauna in Condoto, Chocó. **Methodology:** Four habitats were selected (mine 5-10 years, mine 15-20 years, mine>30 years, reference habitat). They were carried out with Pitfall traps and manual sampling. Shannon's diversity, Pielou's fairness, and Simpson's dominance indices were calculated and comparative analyzes were made by ANOVA. **Results:** A total of 231 morphospecies and 6,207 individuals were captured. The Hymenoptera and Coleoptera orders were the most representative. The reference habitat presented the highest richness and M5-10 years obtained the highest abundance. M>30 years old presented the greatest diversity. The lowest richness and diversity occurred in M5-10 years. M>30 years was the area that kept the greatest similarity with H-reference, while the greatest difference was between H-reference and M5-10 years. **Conclusion:** The composition and structure of edaphic

¹ Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico. Quibdó, Chocó, Colombia.

* Autor de correspondencia: e-mail: sofibon@gmail.com

Fecha recepción: Abril 5, 2018 Fecha aprobación: Marzo 4, 2018 Editor Asociado: Palacios-Mosquera L.

arthropods varied notably according to the time of abandonment of the mines, showing higher values in the mine with a longer recovery time.

Keywords: Arthropods of Chocó, Ecological restoration, Edaofauna, Entomofauna, Impacts of mining.

Introducción

En las áreas degradadas por la minería, el suelo constituye el principal aspecto a estudiar en los procesos de restauración ecológica. Por lo tanto, uno de los primeros pasos para procurar la restauración natural de áreas afectadas por minería, es la recuperación de la estructura y funciones del suelo, lo cual, en gran parte, es llevado a cabo por organismos presentes en este y cuyos procesos funcionales ayudan a su reconstrucción y mantenimiento (Cabrera 2014). En este medio, los organismos establecen interacciones que favorecen la funcionalidad e integridad del suelo. Los artrópodos, desempeñan importantes funciones ecológicas, tales como el reciclaje de nutrientes, la descomposición de la materia orgánica y la conservación de la estructura del terreno, lo que garantiza la calidad y fertilidad del medio edáfico en sistemas naturales, agrícolas y forestales (Brown *et al.* 2001, Cabrera *et al.* 2011), proporcionando así, valiosos servicios ecosistémicos. Además, muchos artrópodos son sensibles a las perturbaciones naturales y antrópicas del medio (Pashanasi-Amasifuen 2001, Ruiz 2007). Por tales motivos, son considerados como indicadores que permiten evaluar el estado de conservación del suelo.

La disminución de la abundancia y diversidad de artrópodos, conduce invariablemente a una pérdida de determinadas funciones importantes en el suelo como: (a) la degradación, (b) reciclaje y reutilización de la hojarasca (Lavelle *et al.* 1993). Estas características, se pierden en un ecosistema por efecto de diversas alteraciones, sean naturales o antrópicas; estas últimas producen grandes cambios en el ambiente edáfico dependiendo del tipo y la intensidad de la actividad antrópica realizada.

En este contexto, una de las actividades antrópicas que en la actualidad impacta más los suelos del Chocó, es la minería mecanizada, mediante la cual, se retiran hectáreas de cobertura vegetal y se remueven grandes volúmenes de tierra, propiciando la pérdida de su estructura (por efecto de la erosión, sedimentación, disgregación o compactación) y fertilidad

(materia orgánica, nutrientes). Según Lavelle (2000), este tipo de perturbación propicia la disminución o pérdida de poblaciones de invertebrados clave, siendo gran parte de ellos artrópodos edáficos, acarreado además con la disminución de la funcionalidad e integridad ecológica del suelo.

Hasta la fecha se han realizado algunos estudios sobre la macrofauna edáfica presente en áreas con distintos tipos de intervención antrópica (pastoreo, monocultivos, incendios forestales, cultivos agrícolas). Los cuales han evidenciado que a mayor nivel de disturbio, menor será la riqueza de artrópodos presentes en el suelo (Feijoo *et al.* 1999, Zerbino 2005, Ruiz-Cobo *et al.* 2010, Cabrera *et al.* 2011, Delgado *et al.* 2011, Cabrera 2012). Sin embargo, estos estudios consideraron áreas con alteraciones antrópicas (incendios, pastoreo y monocultivos) que aparentemente no destruyen la capa orgánica del suelo en su totalidad. En el Chocó Biogeográfico se han realizado algunos estudios sobre la biodiversidad edafológica en áreas degradadas por minería (Vargas *et al.* 2010, IIAP-MADS 2012, IIAP 2013), pero no se ha logrado estimar tal pérdida. Por lo anterior, se considera que existen grandes vacíos en la información relacionada con la artropofauna presente en áreas disturbadas por minería mecanizada de oro y platino a cielo abierto y cómo se ve afectado este importante grupo faunístico en términos de diversidad en este tipo de áreas. Por lo anterior, se hace necesario emprender investigaciones relacionadas con el tema, lo que es un importante punto de partida para entender los efectos potenciales de dicha actividad en los suelos que componen los ecosistemas del Chocó. Por ello, esta investigación, tuvo como objetivo evaluar los efectos de la minería a cielo abierto sobre la composición y la estructura de artrópodos edáficos en áreas con distintas temporalidades de abandono en Condoto, Chocó, con el fin de generar información útil para la planificación, gestión y reconstrucción del patrimonio natural del departamento del Chocó, y con ello los bienes y servicios ambientales y económicos que le generan bienestar a la sociedad.

Materiales y métodos

Área de estudio. El estudio se desarrolló en el municipio de Condoto en la Selva Pluvial Central, ubicada al occidente del país en el departamento del

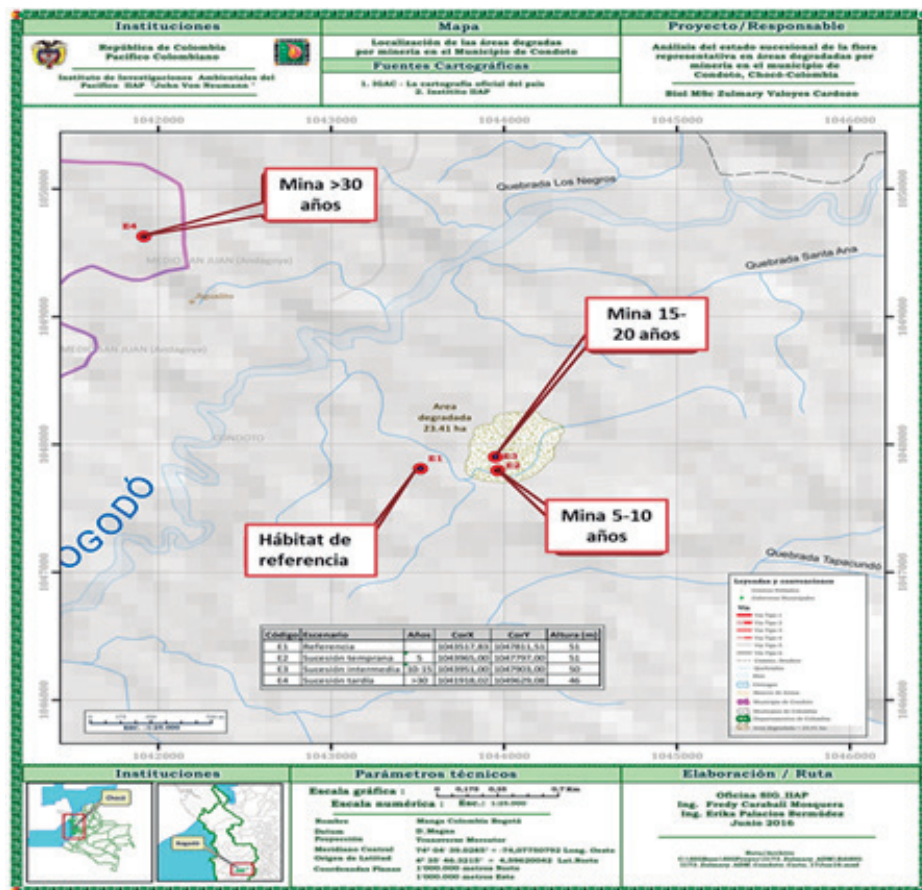


Figura 1. Área de estudio y ubicación de las áreas de muestreos.

Chocó, en la zona conocida como Distrito Minero del San Juan (subregión del San Juan), el cual está localizado a los 5° 06' 01" latitud norte y 76° 32' 44" longitud oeste del meridiano de Greenwich. Corresponde a la zona centro del corredor de conservación Chocó-Manabí, la zona más importante en términos de biodiversidad del Hotspot o Eco región Terrestre Prioritaria Tumbes-Chocó-Magdalena, reconocido mundialmente como uno de los sitios más diversos biológicamente, ofreciendo un hábitat para muchas especies únicas de flora y fauna (CEPF 2009).

El área corresponde a la zona de vida de bosque pluvial tropical «Bp-T» (Espinal 1977), que se caracteriza por presentar la mayor precipitación y humedad disponible de toda la región Pacífica, con una pluviosidad moderadamente alta (8.000 mm), una humedad relativa que la ubica dentro de las zonas con balance hídrico perhúmedo a super húmedo (86%) y una temperatura megatermal que oscila entre los 25°C y 28°C (Figura 1).

Como la principal fuente de ingresos en el municipio reside en la explotación de metales preciosos (oro y platino) a cielo abierto, además de una incipiente producción agrícola y un irregular aprovechamiento forestal (Consejo Municipal de Condoto, 2012); el paisaje de esta región se destaca por sus diversas modificaciones, producto de la explotación minera, que ha dejado amplias zonas degradadas y deforestadas, sobre todo en los bosques de terrazas altas que constituyen los valles entre las cuencas de los ríos Condoto y Opogodó.

Selección de áreas de muestreos. Se establecieron cuatro áreas de estudio (tres minas de distinta edad y un bosque de referencia), las cuales fueron seleccionadas de acuerdo con una investigación previa, realizada con base en su edad de abandono después del cese de la actividad minera (IIAP-MADS 2012) definiendo una crono-secuencia sucesional. Estos sitios se encuentran ubicados en el municipio de Condoto, en las coordenadas geográficas 05° 02' 45" de

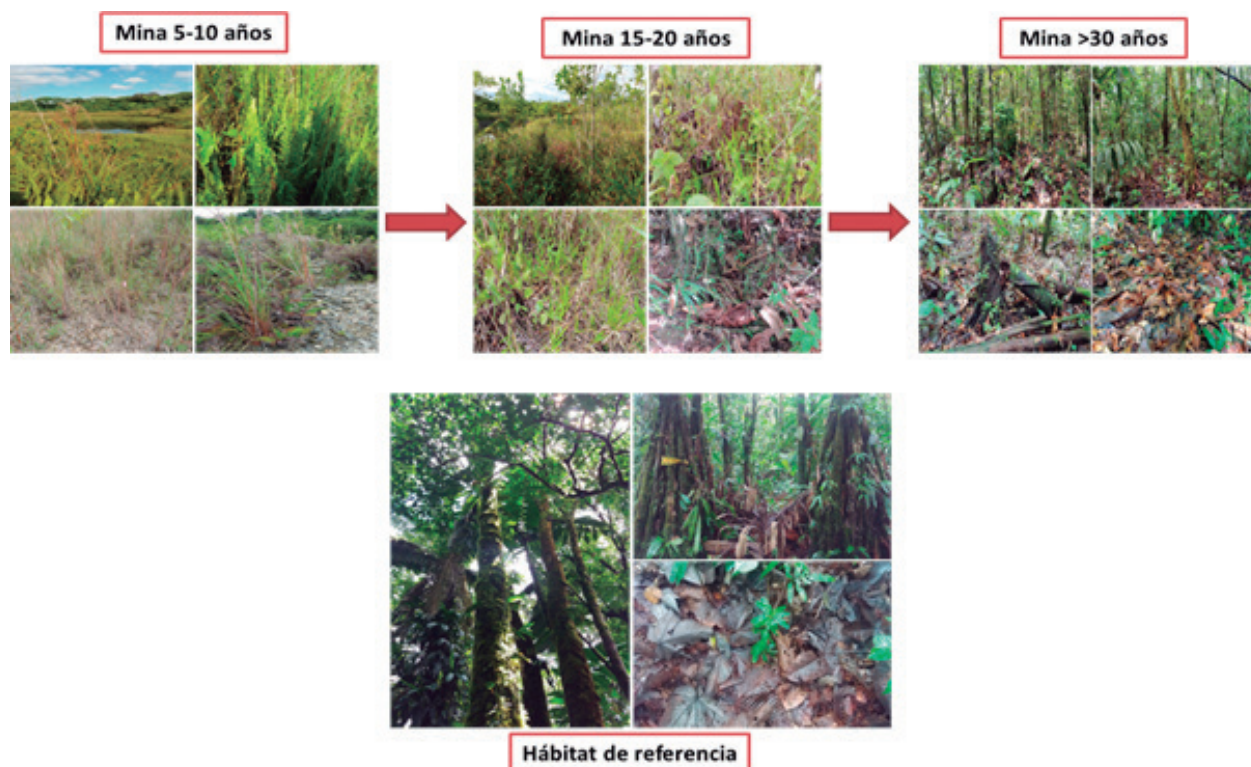


Figura 2. Panorámica de los hábitats de estudio (minas y bosque de referencia) en Jigalito, Condoto, Chocó, Colombia

latitud N y 76° 42' 20.8" de longitud W (Figura 2).

Mina en regeneración pasiva con 5-10 años de abandono (M5-10 años): 5°1'41.92" N, -76°40'51.78" W. -76.68105. Suelo desprovisto de materia orgánica, sin horizontes definidos, compuesto principalmente por grava, con una micro topografía con ondulaciones intermedias, rodeados de lagunas artificiales, vegetación compuesta por mucho pasto y helechos (canales resultantes de la actividad minera).

Mina en regeneración pasiva con 15-20 años de abandono (M15-20 años): 5°1'45.37" N, -76°40'52.24" W. Suelos sin una estructura definida, conformados sobre todo por gravas producto de la actividad minera, el área está bordeada por varias lagunas producto de esta actividad, con una vegetación de tipo arbustivo (principalmente heliofitas).

Mina en regeneración pasiva con más de 30 años de abandono (M>30 años): 5°2'41.60" N, -75°41'58.20" W. El suelo carece de una estructura definida, está compuesto por grava dejada por la actividad minera, la cual es nutrida por la hojarasca producto de la biomasa que contienen los árboles presentes en el área, lo que permite que se esté formando

una importante capa orgánica. La flora presente en el área (especialmente heliofitas), está constituida estructuralmente por los estratos herbáceo, arbustivo y arbóreo.

Hábitat de referencia sin actividad minera (HR): 5°1'42.40" N, -76°41'6.30" W. Se trata de un bosque secundario con aprovechamiento selectivo de algunos árboles, pero donde se conservan los elementos principales del bosque original. Presenta suelos con una topografía homogénea, mal drenados, con una estructura definida y una capa orgánica definida. La vegetación del área está constituida por variadas especies (principalmente esciofitas), cuya composición y estructura es dominada por especies arbóreas, algunas de ellas propias de áreas intervenidas, pero dominan especies de la composición original que favorecen la presencia de un suelo cubierto de hojarasca, troncos y unas condiciones de humedad estable fundamental para la edafofauna.

Muestreo de la artropofauna. El trabajo de campo se realizó entre los meses de marzo-mayo de 2015 y julio-agosto de 2017, tiempo durante el cual se realizaron seis visitas a las zonas objeto de estudio

con una duración de cinco días cada una. El trabajo de campo constó de dos períodos metodológicos, los cuales permitieron registrar altos valores arrojados en el porcentaje del alcance del muestreo en los hábitats (registrando entre 100% y 98%), teniendo en cuenta que en cada uno se aplicaron distintas estrategias metodológicas (período I: trampas y captura manual por transectos; período II: trampas y captura manual por microhábitat), lo que permitió un completo barrido de los hábitats y por consiguiente un registro completo de la estructura de la comunidad estudiada. Estos períodos se describen a continuación.

Período I. Captura de especímenes mediante ubicación de trampas pitfall y captura manual directa y en transectos lineales: durante este primer período de muestreo se ubicaron tres transectos lineales de 50 m en cada hábitat. En estos se aplicaron dos métodos complementarios que permitieron la captura de los diferentes grupos taxonómicos y funcionales: ubicación de trampas pitfall y captura manual. Se ubicaron y revisaron tres trampas pitfall activas durante 48 horas y se realizaron tres muestreos por tres personas durante tres horas, entre 09:00 am-12:00 m. En total se empleó un esfuerzo de muestreo de 1.377 horas/trampa/hombre.

Período II. Captura de especímenes mediante ubicación de trampas pitfall y captura manual directa en distintos tipos de microhábitats, con el fin de incrementar la representatividad de los muestreos y de tener un registro completo de la estructura de la comunidad estudiada; se desarrolló un segundo período de campo donde se realizaron tres muestreos. Durante el estudio se presentaron días de sequía y días de precipitación moderada a fuerte.

Esta estrategia metodológica consistió en la identificación y selección de siete puntos por muestreo, cubriendo los diferentes microhábitats existentes en cada área. En cada microhábitat se aplicaron dos métodos complementarios: trampas pitfall y captura manual. Se ubicaron y revisaron 21 trampas pitfall activas durante 48 horas y se realizaron tres muestreos por tres personas durante tres horas, entre las 09:00 am-12:00 m. En total se empleó un esfuerzo de muestreo de 12.204 horas/trampa/hombre.

Recolecta de especímenes. Para las capturas por medio de pitfall durante el período I, se ubicaron tres trampas por transecto, para un total de nueve trampas por hábitat, separadas por 15 m entre sí. Para el

período II se ubicaron tres trampas por microhábitat, para un total de 21 trampas por hábitat en cada muestreo (63 trampas en total). Estas fueron construidas con recipientes plásticos de 10 cm de diámetro y de medio litro de capacidad y enterradas hasta que la boca quedara a ras del suelo; cada una contuvo una solución de un tercio de etanol al 70%, dos tercios de agua y una gota de jabón (Villarreal *et al.* 2004). La captura manual consistió en la búsqueda activa de individuos a lo largo de cada transecto y microhábitat, inspeccionando bajo la hojarasca, debajo y dentro de troncos en descomposición, bajo piedras, en cuevas y en raíces, utilizando pinzas entomológicas y frascos para muestras con alcohol, modificado del método de transecto de termitas establecido por Jones y Eggleton (2000) (Figura 3).

Procesamiento, manejo e identificación de muestras colectadas. Las muestras colectadas manualmente se fijaron en frascos con alcohol al 70% debidamente rotulados, indicando el código de muestra, sitio de captura (localidad, hábitat, transecto), técnica de captura y fecha, al tiempo que se incluyeron etiquetas en su interior con la misma información. Estas fueron enviadas al laboratorio de Aracnología de la Universidad Nacional de Colombia, donde se efectuaron las determinaciones taxonómicas.

Análisis de los datos. La riqueza fue calculada a partir del total de morfoespecies registradas a nivel general y para cada área. La abundancia se calculó teniendo en cuenta el número total de individuos a nivel general y en cada una de las áreas. Luego, se estimaron los índices de diversidad de Shannon (Colwell 2013), la equitatividad de Pielou y la dominancia de Simpson (Villareal *et al.* 2004) para cada comunidad de artrópodos edáficos en las minas y el bosque de referencia. Asumiendo que estos escenarios tienen temporalidades y características visiblemente diferentes, se realizaron análisis de varianza (ANOVAs) (Balzarini *et al.* 2008), de una vía tanto para los valores promedio de la riqueza, la abundancia y la diversidad de Shannon-Wiener. Las comparaciones *post-hoc* de los promedios se realizaron utilizando el método LSD de Fisher. La similitud de grupos entre áreas se estimó mediante los índices de Jaccard (Villarreal *et al.* 2004), mientras que el recambio de grupos se calculó mediante el índice de Whittaker (Villarreal *et al.* 2004). Para calcular estos índices se utilizó el programa PAST 3.05 (Hammer *et al.* 2001).



Figura 3. Técnicas de muestreo empleadas en los hábitats estudiados: A) Muestreo manual en tronco en descomposición. Trampas pitfall en diferentes microhábitats; B) Hojarasca; C) Pasto; D. Piedra-helechos.

Resultados

Composición taxonómica de la comunidad de artrópodos edáficos. A nivel general la comunidad de artrópodos edáficos de áreas con diferentes temporalidades de abandono tras el aprovechamiento minero y del área sin intervención minera en Jigualito estuvo representada por 6.207 individuos en 2,5 ha, los cuales estuvieron distribuidos en 2 clases, 11 órdenes, 77 familias y 231 morfoespecies (Tabla 2).

Los órdenes Hymenoptera y Coleóptera se destacaron como los más ricos en número de morfos 93 y 45, respectivamente. Los órdenes Archaeognatha e Isoptera presentaron la menor riqueza, obteniéndose solo 1 y 2 morfos, respectivamente. El orden con mayor abundancia fue Hymenoptera con 61% de los individuos registrados en toda el área de estudio.

Las familias Formicidae con 3.750, Termitidae con 957, Gryllidae 393, Curculionidae 155 y Phoridae

con 128 individuos, exhibieron las mayores abundancias. Formicidae fue la familia con mayor número de morfoespecies (41) y la de mayor abundancia (60%) en todos los hábitats evaluados, en contraste con las familias Ceratopogonidae y Evaniidae que presentaron los menores valores de abundancia en toda el área de estudio con un individuo cada una.

Riqueza y abundancia estimada de artrópodos edáficos en hábitats con diferentes temporalidades de abandono

Mina de 5 a 10 años. En este hábitat se colectaron 1.981 individuos que corresponden al 32% del total de individuos, agrupados en 64 morfos y 26 familias, siendo la riqueza más baja del área de estudio. Además, se encontró la mayor abundancia de hormigas con el 79% de los 3.750 individuos registrados para toda el área de estudio.

Tabla 1. Microhábitats seleccionados por hábitat

Microhábitat	Hábitats			H. referencia
	M5-10 años	M15-20 años	M>30 años	
Arbusto-pasto	x			
Piedras-pelecho	x	x	x	
Hojarasca	x	x	x	x
Tronco	x	x	x	x
Laguna	x			
Raiz		x	x	x
Helechos-hojarasca				x

Tabla 2. Composición taxonómica de la artropofauna edáfica presente en Jigualito, Condoto, Chocó, Colombia

Orden	Familia	M 5-10		M 15-20		M >30		HR	
		Riqueza	Abundancia	Riqueza	Abundancia	Riqueza	Abundancia	Riqueza	Abundancia
Archaeognatha	Meinertellidae			1	2	1	2	1	7
	Blaberidae					1	1	1	8
Blattodea	Blattellidae			1	1	1	2	4	13
	Blattidae	1	7			1	2	2	8
Coleoptera	Bruchidae			1	2	1	2	1	2
	Cantharidae					1	2		
	Carabidae	1	1	1	1			2	3
	Cerambycidae							1	9
	Chrysomelidae	1	1	2	3	4	6		
	Coccinellidae	1	1			1	3		
	Curculionidae	2	12	1	10	5	23	11	110
	Elateridae	1	4					1	18
	Erotylidae					1	2		
	Lampyridae	1	1					1	2
	Lycidae					1	2		
	Melolonthidae					1	2		
	Nitidulidae			1	2	1	4	3	44
	Nosodendridae							1	2
	Passalidae					1	2	1	8
	Scarabaeidae							1	2
	Staphilinidae	2	3			6	12	6	59
	Tenebrionidae							1	2
	Throscidae					1	1	1	1

Tabla 2. Composición taxonómica de la artropofauna edáfica presente en Jigualito, Condoto, Chocó, Colombia (continuación)

Orden	Familia	M 5-10		M 15-20		M >30		HR	
		Riqueza	Abundancia	Riqueza	Abundancia	Riqueza	Abundancia	Riqueza	Abundancia
Collembola	Dycirtomidae							1	6
	Entomobryidae	1	5	1	3	1	6	2	63
	Hypogastruridae							1	3
	Isotomidae	2	23					1	8
	Paronellidae					1	2	2	11
Dermaptera	Labiidae	1	2	4	22	1	2	1	3
	Chelisochidae					1	7		
	Labiduridae					1	2		
Diptera	Agromyzidae			1	1	1	3	1	15
	Cecidomyiidae					1	2		
	Ceratopogonidae	1	1						
	Chloropidae			1	1				
	Culicidae					2	6		
	Dolichopodidae					1	2		
	Drosophilidae			1	2	1	5	1	7
	Empididae	1	3						
	Micropezidae					1	1	1	1
	Phoridae	2	15	2	7	3	53	5	53
	Platystomatidae							1	2
	Psychodidae							1	2
	Richardiidae					1	2		
	Sphaeroceridae			1	1			1	3
	Stratiomyidae							1	2
	Tipulidae	1	2			1	2		
Hemiptera	Cercopidae	1	1	3	3	3	4	1	1
	Cicadellidae					1	4		
	Coreidae	1	14	2	3			1	2
	Lygaeidae	1	2	1	3	1	2		
	Reduviidae			2	9	2	3	3	6
	Pentatomidae					1	2		
	Tingidae							1	2
Hymenoptera	Apidae			1	1	1	7	1	3
	Braconidae					1	2		
	Diapriidae			1	2			1	5
	Evaniidae			1	1				
	Formicidae	33	1561	37	1047	53	611	46	531
	Halictidae	1	3						
	Platygastridae	1	2	1	4				
	Pompilidae	1	2						

Tabla 2. Composición taxonómica de la artropofauna edáfica presente en Jigualito, Condoto, Chocó, Colombia (continuación)

Orden	Familia	M 5-10		M 15-20		M >30		HR	
		Riqueza	Abundancia	Riqueza	Abundancia	Riqueza	Abundancia	Riqueza	Abundancia
Isoptera	Termitidae	1	189	1	345	1	71	1	352
	Rhinotermitidae			1	36	1	36		
Opiliones	Agoristenidae					1	10	1	2
	Cosmetidae					1	3	2	4
	Cranidae			1	2	1	16	1	21
	Fissiphallidae					1	6		
	Manaosbiidae					1	5	1	4
	Nemoclastidae					1	3	1	1
	Sclerosomatidae			1	1			1	2
	Stygnummatidae			1	1			1	1
	Zalmoxidae					1	4		
Orthoptera	Acrididae	1	6	2	4	1	5	2	4
	Eumastacidae					1	3		
	Gryllidae	2	115	2	22	2	52	4	204
	Phalangopsidae			2	4	3	23	3	8

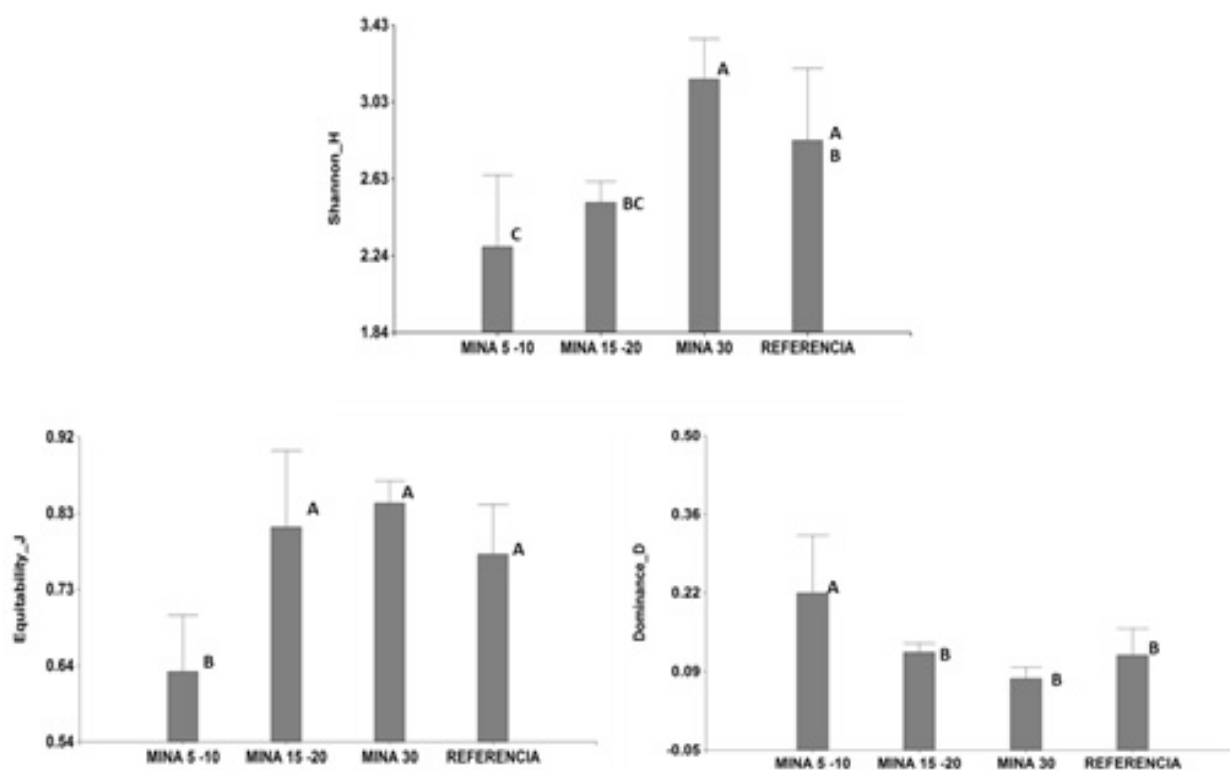


Figura 4. Diversidad, dominancia y equitatividad entre hábitats. La barra indica la desviación estándar y los puntos indican el promedio. Las letras iguales indican afinidades en la prueba de LSD de Fisher.

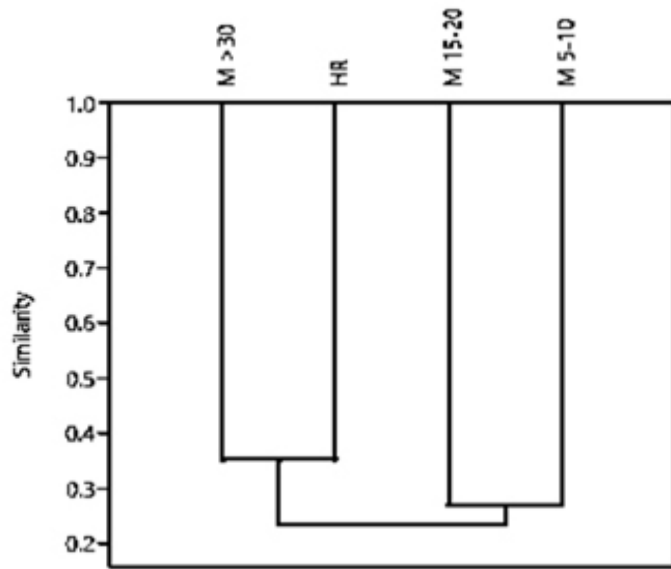


Figura 5. Dendrograma de similitud de la artropofauna edáfica en los distintos hábitats de estudio, a partir del índice de Jaccard.

Tabla 3. Recambio de especies empleando el índice de Whittaker

Hábitats	M 5-10	M 15-20	M >30	HR
M 5-10	0	0,57534	0,64706	0,67677
M 15-20		0	0,59024	0,57407
M >30			0	0,4786
HR				0

Mina de 15 a 20 años. Para la matriz de 15 a 20 años se registraron 1.553 individuos que corresponden al 25% del total de individuos, agrupados en 84 morfos y 34 familias. En este hábitat se logró obtener el mayor número de individuos de isópteros (25%), siendo este el segundo orden más abundante en toda el área de estudio (1.029 individuos).

Mina con más de 30 años. En esta matriz se registraron 1.035 individuos que corresponden al 17% del total de individuos, agrupados en 23 morfos y 51 familias. En este hábitat se obtuvo la mayor riqueza de morfos de Himenopteros (54).

Hábitat de referencia. Para el hábitat de referencia se registraron 1.638 que corresponde al 26% del total de individuos, agrupados en 133 morfos y 51 familias, siendo el hábitat con mayores valores de riqueza de artrópodos edáficos. En este hábitat el orden Coleoptera presentó su mayor valor de riqueza de familias (13) y de morfos (31).

Estructura de la comunidad de artrópodos edáficos en hábitats con diferentes temporalidades de abandono tras el aprovechamiento minero. El análisis de la riqueza reveló que existe diferencia significativa entre los hábitats ($p=0,0266$). De acuerdo con la prueba de LSD de Fisher se observa que la diferencia se presenta entre el hábitat de re-

ferencia y M>30 años ($p>0,05$) en comparación con los otros hábitats ($p<0,05$). La abundancia no presentó diferencias estadísticamente significativas entre ambientes.

La diversidad de la comunidad de artrópodos edáficos presentó diferencias estadísticamente significativas entre los hábitats de estudio ($p=0,0008$), mostrando mayor diversidad en M>30 años con un valor de $H=4,116$, en comparación con M5-10 años con los valores de diversidad más bajos $H=2,501$. La dominancia ($p=0,0245$) y la equitatividad ($p=0,004$) también presentaron diferencias estadísticamente significativas entre M5-10 años y los demás hábitats, expresándose como el hábitat con el mayor valor de dominancia ($E=2,501$) y con la menor equitatividad ($E=0,6014$) (Figura 4).

El índice de similitud (valor más alto de similitud entre par de biotas), muestra que la mina con más de 30 años y el hábitat de referencia, presentaron la mayor similitud (35%) (Figura 5). El índice de Whittaker, por su parte, permitió evidenciar mayor recambio de especies entre el HR y M5-10 años en un 67%, logrando establecer diferencias notables entre el área de sucesión temprana con respecto al bosque de referencia (Tabla 3).

Discusión

Esta investigación arrojó considerables valores de riqueza entre los grupos, con una importante representatividad de órdenes como Hymenoptera y Coleoptera en términos de riqueza y con gran abundancia de familias como Formicidae y Termitidae. Estos resultados, son similares a los

reportados por González y Herrera (1983), López *et al.* (1986), González y López (1987), Prieto y Rodríguez (1996) y Montero *et al.* (2011), quienes estudiaron la macrofauna en ecosistemas boscosos de Cuba y Argentina, y mostraron resultados con una alta riqueza de artrópodos, con predominio de Hymenoptera (Formicidae) y Coleoptera; al tiempo que Zerbino *et al.* (2008), Cabrera *et al.* (2011) y Gómez *et al.* (2016), estudiaron la macrofauna en suelos con distintos tipos de perturbaciones (monocultivos y policultivos, ganadería e incendios) en Uruguay, Chile, Cuba y Argentina y reportaron los órdenes Hymenoptera (Formicidae), Coleoptera e Isoptera como las unidades taxonómicas de la macrofauna, dominantes en abundancia, en la mayoría de los usos de la tierra estudiados. Lo anterior permite deducir que los grupos con gran predominio en este estudio presentan gran capacidad para dispersarse y colonizar distintos ambientes.

La abundancia de formícidos fue alta en todos los hábitats, siendo el grupo más notable a nivel general, observándose colonias enteras desplazándose sobre la hojarasca o habitando bajo la misma. Al respecto Fragoso y Lavelle (1992) y Camacho (1995), argumentan que las hormigas están siempre entre los grupos más abundantes y diversos y que en los suelos de selvas tropicales generalmente ocupan el segundo lugar en abundancia, siendo sólo superadas por las termitas.

La diferencia en los valores de riqueza, diversidad, equitatividad y dominancia de las comunidades de artrópodos entre los ambientes evaluados, evidencian que el tiempo de abandono de las minas afecta la estructura biológica de la comunidad de artrópodos, cuyos valores incrementan a medida que aumenta el tiempo de abandono. Los resultados obtenidos en esta investigación concuerdan con los de Cabrera *et al.* (2011), quienes encontraron los mayores valores de riqueza de la macrofauna en bosques y menores valores en pastizales, cultivos y cañaverales en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. Guillén *et al.* (2006) compararon áreas con bosque natural y áreas intervenidas en Costa Rica y encontraron mayor diversidad de artrópodos en parches de bosque sin intervención, que en zonas intervenidas; Álvarez-Duarte y Barrera-Cataño (2007) compararon la abundancia y composición del ensamblaje de coleópteros en la cantera Soratama, Bogotá, la cual presenta áreas con diferente condición de abandono, obteniendo la

mayor abundancia (409) y diversidad en el bosque adyacente, mientras que los valores más bajos (55) se registraron en la zona descapotada.

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran que la mayor diversidad de artrópodos edáficos se presentó en la mina con más de 30 años, sin embargo, se esperaba que en el hábitat de referencia se hallaran los mayores valores de diversidad por presentar las características de un bosque nativo, cuyo suelo no ha sufrido este tipo de alteraciones; no obstante, estos datos sugieren que en $M > 30$ años pueden estar ocurriendo procesos e interacciones similares a las que se presentan en un ecotono, donde se combinan condiciones aún adversas, propias de áreas con este tipo de disturbio y se encuentran especies tolerantes y generalistas, así como también se hayan elementos que a través del tiempo han permitido la producción de oferta trófica y habitacional y con ello la llegada de especies sensibles a los cambios, o poco tolerantes como es el caso de muchas especies de coleópteros y algunas hormigas. Este suceso es corroborado por Escribano *et al.* (1997) y Fierro *et al.* (2011), quienes argumentan que la composición faunística y florística de un ecotono es mayor que la suma parcial de los componentes de las comunidades adyacentes, lo cual, en sí mismo, implica ya un incremento en la riqueza y biodiversidad.

Las minas se encuentran cercanas a bosques adyacentes, lo que facilita el intercambio de organismos que las transitan y que encuentran allí recursos óptimos para establecerse, como en el caso de $M > 30$ años, donde elementos como la hojarasca, ramas caídas, así como la presencia de especies arbóreas y arbustivas facilitan la llegada de diversas especies con distintos requerimientos ecológicos, lo que indica la ocurrencia de una estructura más compleja que las de M15-20 años y M5-10 años. Lo anterior concuerda con las afirmaciones de Fragoso y Lavelle (1992) y Cabrera *et al.* (2011) quienes consideran que la variabilidad florística, la heterogeneidad y la cobertura proveen un aporte importante de hojarasca y sombra para mantener estables los valores de temperatura y humedad en el suelo, al tiempo que suministran fuentes de alimento y refugio necesarios, lo cual favorece el desarrollo de comunidades de artrópodos más diversas.

El hecho de que la mina con más de 30 años presentara una notable similitud en cuanto a la presencia

de las especies con el hábitat de referencia, evidencia que algunas de las características del ecosistema se han ido recuperando, lo que permite que se establezca una comunidad de artrópodos con ciertas exigencias ecológicas. Estos comparten 67 de las 231 especies registradas en toda el área de estudio, de las cuales se destaca: 40% (34 morfos) de las hormigas y 26% (12 morfos) de los coleópteros registrados. Algunos de los grupos compartidos son sensibles a las perturbaciones, como es el caso de los coleópteros, entre ellos los estafilínidos (cinco morfos compartidos). Al respecto Suárez (2015), afirma que los estafilínidos son un grupo sensible a los cambios en el uso del suelo (entre estos la urbanización), debido a su especialización ecológica.

Gran parte de las especies compartidas entre las minas de 5-10 años y 15-20 años de recuperación, corresponde a hormigas con amplia diseminación y algunas presentan hábitos oportunistas y generalistas, como es el caso de los géneros *Crematogaster*, *Atta*, *Azteca*, *Camponotus*, *Dorymyrmex*, *Pheidole* y *Solenopsis*, los cuales son catalogados por Silvestre *et al.* (2003) como géneros cosmopolitas que se presentan en diversos tipos de áreas.

Los resultados obtenidos en las áreas de sucesión temprana (M5-10 y M15-20 años de abandono), sugieren que las especies allí presentes constituyen la artropofauna edáfica pionera que permite el ingreso de otras especies y que de alguna manera inician los procesos de descomposición que se requieren para la formación de la capa orgánica. Adicionalmente, al comparar los resultados obtenidos en la mina de 5-10 años de abandono con el hábitat de referencia, se evidencia la pérdida de riqueza de morfoespecies (52% de la riqueza natural), mostrando una notable desaparición de grupos taxonómicos, ocasionada por la falta de manejo de las áreas tras el aprovechamiento minero.

La artropofauna edáfica encontrada en la mina de más de 30 años de abandono, evidencia la ocurrencia de un proceso de sucesión tardía que implica la presencia de mayor oferta de recursos, tanto para refugio como para alimento, lo que permite la llegada y establecimiento de grupos más especializados, con lo cual se desarrollan procesos ecológicos necesarios para el mantenimiento de la diversidad faunística del suelo, lo cual hace que se vayan recuperando sus propiedades funcionales; sin embargo, los cambios

en la composición taxonómica fueron notables con respecto al hábitat de referencia, mostrando que las especies que naturalmente habitan estos bosques, luego de la actividad minera, requieren mucho más de 30 años para su posible recuperación.

Conclusiones

Finalmente se puede inferir que la diversidad de artrópodos edáficos varía notablemente como efecto de la edad de abandono de las minas, mostrando mayores valores en la mina con mayor tiempo. De la misma manera, se mostraron importantes cambios en la composición de especies, encontrándose la mayor diferencia entre el hábitat de referencia y la mina con menor tiempo de abandono.

Los resultados obtenidos en las áreas de sucesión temprana (M5-10 y M15-20 años), sugieren que las especies allí presentes constituyen la artropofauna edáfica pionera que favorece la llegada de grupos más especializados y con ello la ocurrencia de cadenas tróficas complejas.

Agradecimientos

Al Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico y BIOCHOCÓ por la financiación de la investigación. A los biólogos Hamleth Valois Cuesta y Giovanni Ramírez Moreno por su orientación durante el desarrollo del estudio; a Didier Tobón y Kleyder Copete por su asistencia en campo. Al equipo de especialistas de la UNAL en cabeza del profesor Eduardo Flórez, a Daniela Martínez y a Diana Molina. A la comunidad de Jigualito-Condoto, por su valioso aporte para que esta investigación se llevara a cabo en su territorio.

Literatura citada

- Álvarez-Duarte A, Barrera-Cataño JI. 2007. Estudio comparativo del ensamblaje de coleópteros en diferentes áreas de la cantera Soratama, localidad de Usaquén, Bogotá. *Universitas Scientiarum*. 12: 47-56. Disponible en: <https://bit.ly/2Py1RA4>
- Balzarini MG, González LA, Tablada M, Casanoves F, Di Rienzo JA, Robledo CW. 2008. Manual del usuario. InfoStat, Universidad de Córdoba, Argentina. pp. 336. Disponible en: <https://bit.ly/3gIkNad>
- Brown GG, Fragoso C, Barois I, Rojas P, Patrón JC, Bueno J, *et al.* 2001. Diversidad y rol funcional de la macrofauna

- edáfica en los ecosistemas tropicales mexicanos. Acta Zool Mex. 1: 79-110. Disponible en: <https://bit.ly/32PX-vam>
- Cabrera G, Robaina N, Ponce de León D. 2011. Riqueza y abundancia de la macrofauna edáfica en cuatro usos de la tierra en las provincias de Artemisa y Mayabeque, Cuba. Pastos y Forrajes, 34 (3): 313-30. Disponible en: <https://bit.ly/3vuW4iR>
- Cabrera G. 2012. La macrofauna edáfica como indicador biológico del estado de conservación/perturbación del suelo. Resultados obtenidos en Cuba. Pastos y Forrajes, 35 (4): 349-64. Disponible en: <https://bit.ly/3npfbmR>
- Cabrera-Dávila G de la C. 2014. Manual práctico sobre la macrofauna edáfica como indicador biológico de la calidad del suelo, según resultados en Cuba. La Habana. Fundación Rufford. pp. 34. Disponible en: <https://bit.ly/3gH-qXaC>
- Camacho G. 1995. Estudio de la macrofauna edáfica de 3 agroecosistemas en La Mancha (Tesis profesional). Veracruz, México. Facultad de Biología, Universidad Veracruzana. pp. 63.
- Critical Ecosystem Partnership Fund (CEPF). 2009. Tumbez-Chocó-Magdalena Biodiversity Hotspot Chocó-Manabi Conservation Corridor. Program for Consolidation. Washington, DC. 8 pp. Disponible en: <https://bit.ly/32U-80cI>
- Colwell RK. 2013. EstimateS, Version 9.1. Statistical Estimation of Species Richness and Shared Species from Samples. Disponible en: <http://viceroy.colorado.edu/estimateS/>
- Concejo Municipal de Condoto. Plan de Desarrollo Municipal de Condoto "Gente que sirve a la gente" 2012-2015. Condoto. 59 pp. Disponible en: <https://bit.ly/2QAgF1ul>
- Delgado G, Burbano A, Silva A. 2011. Evaluación de la macrofauna del suelo asociada a diferentes sistemas con café *Coffea arabica* L. Re Cien Agric, 28: 91-106. Disponible en: <https://bit.ly/3aGCeo4>
- Escribano R, Encinas A, Martín MA. 1997. Ecotonos: importancia de la transición entre las agrupaciones arbóreas y el matorral en la gestión forestal. Estudio de casos. Congresos Forestales. 295-300. Disponible en: <https://bit.ly/3nt03VC>
- Espinal LS. 1977. Zonas de vida o formaciones vegetales de Colombia: memoria explicativa sobre el mapa ecológico. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC, Bogotá. 237 pp.
- Feijoo MA, Bronson KE, Welle P, Moreno AG. 1999. Quantifying soil macrofauna in a Colombian watershed. Pedobiología, 43: 513-17.
- Fierro TA, Zúñiga AA, Aguilera PA, Rebolledo RR. 2011. Carábidos (Coleóptera: Carabidae) presentes en un relicto vegetacional del llano central de La Araucanía. Idesia, 29 (3): 87-94. Disponible en: <https://bit.ly/3nt0dwc>
- Fragoso C, Lavelle P. 1992. Earthworm communities of tropical rain forests. Soil Biol Biochem. 24 (12): 1397-408. Disponible en: <https://bit.ly/3aIF63H>
- Gómez DF, Godoy MC, Coronel JM. 2016. Macrofauna edáfica en ecosistemas naturales y agroecosistemas de la eco-región Esteros del Iberá (Corrientes, Argentina). Cienc Suelo, 34 (1): 43-56. Disponible en: <https://bit.ly/3tShvVL>
- González R, Herrera A. 1983. La macrofauna del suelo del bosque siempreverde estacional de la Sierra del Rosario (resultados preliminares). Sierra del Rosario: Instituto de Zoología. Reporte de Investigación 10: 1.
- González R, López R. 1987. La macrofauna de la hojarasca y del suelo de algunos ecosistemas forestales de Cuba. 1. Composición por taxones. Cuba. Reporte de Investigación del Instituto de Zoología, 46: 1.
- Guillén C, Soto-Adames FN, Springer M. 2006. Diversidad y abundancia de colémbolos edáficos en un bosque primario, un bosque secundario y un cafetal en Costa Rica. Agronomía Costarricense, 30 (2): 7-17. Disponible en: <https://bit.ly/3eEIA9w>
- Hammer Ø, Harper, DAT, Ryan PD. 2001. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. Palaeontologia Electronica 4 (1): 9. Disponible en: <https://bit.ly/3aHptJC>
- Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP), Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). 2012. Protocolo de Restauración Ecológica de áreas degradadas por minería, el Chocó Biogeográfico. Quibdó: Informe Técnico, Convenio 182. pp. 321.
- Instituto de Investigaciones Ambientales del Pacífico (IIAP). 2013. Diagnóstico ambiental de las áreas degradadas por actividad minera en la costa caucana. Quibdó. IIAP.
- Jones DT, Eggleton P. 2000. Sampling termite assemblages in tropical forests: testing a rapid biodiversity assessment protocol. J Appl Ecol. 37: 191-203. Disponible en: <https://bit.ly/3vmPi9V>
- Lavelle P, Blanchart E, Martin A, Spain AV, Martin S, 1993. Impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. In: Lal R, Sánchez PA. Myths and science of soils in the tropics. 29 ed. (Madison): SSSA Special Publication. pp. 157-85. Disponible en: <https://bit.ly/2R17Rlg>
- Lavelle P. 2000. Ecological challenges for soil science. Soil Science. 165 (1): 73-86. Disponible en: <https://bit.ly/3tWK5W9>
- López R, González, R, Herrera A. 1986. La macrofauna del suelo en *Pinus tropicalis*. Morelet. Instituto de Zoología. Reporte de Investigación. 28: 1.
- Montero GA, Carnevale NJ, Magra G. 2011. Ensamblajes estacionales de artrópodos epigeos en un bosque de quebracho (*Schinopsis balansae*) en el Chaco Húmedo. Rev Colomb Entomol. 37 (2): 294-304. Disponible en: <https://bit.ly/3nr4kIR>
- Pashanasi-Amasifuen B. 2001. Estudio cuantitativo de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de uso de la tierra en la Amazonia Peruana. Folia Amazónica. 12 (1-2): 75-97. Disponible en: <https://bit.ly/3eyRg0489>
- Prieto D, Rodríguez C. 1996. Índices de agregación de los invertebrados de la hojarasca en un bosque siempre-verde de la Reserva de la Biosfera de la Sierra del Rosario, Pinar del Río, Cuba. Análisis comparativo. Rev Biol. 10: 27.
- Ruiz DH. 2007. Comunidades de macroinvertebrados edáficos en diferentes sistemas de uso de la tierra en la parte media

- de la cuenca del río Otún. [Tesis de Master]. Universidad de La Habana. 95 pp.
- Silvestre R, Brandão F, da Silva RR. 2003. Grupos funcionales de hormigas: el caso de los gremios del Cerrado. En: Fernández F (ed.). Introducción a las hormigas de la región Neotropical. Bogotá. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, XXVI: 398. Disponible en: <https://bit.ly/2QANrj4>
- Suárez AV. 2015. Utilización de coleópteros como indicadores ecológicos en gradientes urbanos de Gijón y León (no Península Ibérica). Tesis doctoral. Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental. Universidad de León. p. 169.
- Vargas PL, Quesada Z, Ramírez G, Valoyes Z. 2010. Diagnóstico ambiental de las áreas degradadas por la actividad minera en el municipio de Atrato, Chocó. Bioetnia. 7 (1): 23-37. Disponible en: <https://bit.ly/2QXyabT>
- Villarreal H, Álvarez M, Córdoba S, Escobar F, Fagua G, Gast F, *et al.* 2004. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. 2ª ed. Bogotá. Programa de Inventarios de Biodiversidad, Grupo de Exploración y Monitoreo Ambiental (GEMA). Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt, pp. 19-28. Disponible en: <https://bit.ly/3ezaQcK>
- Zerbino MS. 2005. Evaluación de la densidad, biomasa y diversidad de la macrofauna del suelo en diferentes sistemas de producción. (Tesis de Maestría). Montevideo. Facultad de Ciencias. Universidad de la República. pp. 100.
- Zerbino MS, Altier NA, Morón A, Rodríguez C. 2008. Evaluación de la macrofauna del suelo en sistemas de producción en siembra directa y con pastoreo. Agrociencia. 12 (1): 44-55. Disponible en: <https://bit.ly/3tXp25R>