

PARTE I

Impacto de los Agroecosistemas en las Comunidades de Macroinvertebrados del Suelo

CAPÍTULO 2

Impacto del Uso de la Tierra en la Macrofauna del Suelo de los Llanos Orientales de Colombia¹

T. Decaëns*, P. Lavelle*, J. J. Jiménez**, G. Escobar***, G. Rippstein***, J. Schneidmadl***, J. I. Sanz***, P. Hoyos*** y R. J. Thomas***

Resumen

Se determinó, mediante la metodología TSBF, el efecto que causan diferentes sistemas de uso de la tierra en las comunidades de macroinvertebrados del suelo en las sabanas ácidas de Colombia. Los invertebrados se identificaron hasta el nivel de orden o familia, se contabilizaron y se agruparon en grandes unidades taxonómicas (UT), por ejemplo, lombrices, termitas, hormigas, coleópteros, arañas, miriápodos y “otros invertebrados”. La riqueza taxonómica y la densidad poblacional más altas se registraron en el bosque de galería y en la sabana (valores medios de 4293 y 2830 individuos/m², respectivamente) y la biomasa tuvo en ambos un valor intermedio (13.6 y 15.3 g/m², respectivamente).

Las termitas (47%) y las lombrices (31%) fueron los grupos más abundantes en la biomasa. La quema de la sabana redujo fuertemente la macrofauna, aunque después de 6 meses se habían recuperado los valores iniciales: la biomasa y la densidad no fueron diferentes significativamente a las obtenidas antes de la quema, y la riqueza taxonómica aumentó hasta 20 UT.

La biomasa y la riqueza taxonómica de las comunidades de macroinvertebrados en los pastizales introducidos fueron altas mientras que el valor de la densidad poblacional fue intermedio. Los pastizales en que se asociaban gramíneas africanas con leguminosas forrajeras presentaron los mayores valores de biomasa de lombrices (de 22.9 a 51.1 g/m²), es decir, de 4 a 10 veces más que los valores obtenidos en la sabana. Las poblaciones de lombrices de los pastizales estaban compuestas por las especies nativas de la sabana y hubo en ellas una gran diversidad de grupos de macrofauna (de 26 a 32 UT representadas). Los monocultivos anuales (arroz y yuca) exhibieron los valores más bajos de biomasa (3.2 a 4.3 g/m²) y de densidad (429 a 592 individuos/m²) y su riqueza taxonómica fue baja (18 UT). Las comunidades de macroinvertebrados

1. Algunas partes de este trabajo han sido publicadas en *European Journal of Soil Biology* 30, p 157-168, por Decaëns, Lavelle, Jiménez, Escobar, y Rippstein. Copyright © 1994 de Elsevier. Impreso con permiso de la casa editorial.

* Laboratoire d'Ecologie des Sols Tropicaux, Institut de Recherche pour le Développement (IRD), 32 Av. Henri Varagnat, F-93143 Bondy Cedex, Francia.

** Departamento de Biología Animal I, Facultad de Biología, Universidad Complutense, 28040 Madrid, España.

*** CIAT, AA 6713, Cali, Colombia.

de las sabanas bien drenadas de Colombia son muy sensibles a los cambios ambientales originados en la intensificación agrícola. Los resultados obtenidos en estos estudios permiten establecer varias alternativas de uso del suelo que conservan y estimulan las actividades de la macrofauna del suelo.

Palabras clave: biomasa, Colombia, densidad, intensificación agrícola, lombrices, macrofauna del suelo, riqueza taxonómica, sabana, selva de galería, uso del suelo

Introducción

Los Llanos Orientales de Colombia son una vasta extensión de sabana pobremente explotada por un pastoreo extensivo. La intensificación agrícola ha ocurrido ya en las áreas más accesibles de esa región. Los pastizales naturales y mejorados, y la rotación de los cultivos con pastizales mejorados, son algunas de las técnicas agrícolas empleadas en la actualidad; sin embargo, la sostenibilidad de estas técnicas y el impacto que causan en la calidad del suelo son todavía poco conocidos (Fisher et al. 1992). Los efectos que causan en el suelo la introducción de gramíneas africanas, la simplificación de la comunidad vegetal o los diferentes niveles de carga animal han sido ignorados. La rápida degradación de extensas áreas de pastizales en las sabanas latinoamericanas hacen temer a los ecologistas que estos sistemas no son ni sostenibles ni capaces de conservar la biodiversidad.

Entre los diversos factores que determinan la calidad del suelo, los factores biológicos reguladores, que son operados por los

macroorganismos del suelo (raíces vivas y macroinvertebrados), pueden ser los más importantes (Lavelle et al. 1994). Estos sistemas de regulación tienen un papel clave en la conservación de la fertilidad del suelo, ya que afectan las propiedades físicas y químicas, la MO, el ciclo de nutrientes y el crecimiento vegetal (Lavelle et al. 1994; Stork y Eggleton 1992).

Los macroinvertebrados ejercen diferentes efectos en los procesos que determinan la fertilidad del suelo. Regulan, por ejemplo, las comunidades de microorganismos responsables de la mineralización y la humificación y, en consecuencia, influyen en el ciclo de la MO y en la disponibilidad de nutrientes asimilables por las plantas. A través de su acción mecánica en el suelo, contribuyen a la formación de agregados estables que pueden proteger parte de la MO de una mineralización rápida y que constituyen, por tanto, una reserva de nutrientes potencialmente disponibles para las plantas. Los macroinvertebrados pueden modificar la textura y las propiedades físicas del suelo en los horizontes superficiales en que habitan (Lavelle et al. 1994). Las actividades de la macrofauna favorecen también el crecimiento de las plantas (Spain et al. 1992). La diversidad y la abundancia de las comunidades de macroinvertebrados, así como la importancia relativa de sus principales grupos, es decir, las termitas, las lombrices y las hormigas, pueden utilizarse como indicadores de la calidad del suelo (Stork y Eggleton 1992).

El presente estudio se realizó en dos sitios de las sabanas colombianas: uno en la estación de investigación Carimagua (CIAT-CORPOICA) y el otro en una granja cerca a Matazul, en el departamento del Meta. Se consideró especialmente el efecto que tenían

diferentes técnicas de manejo de los pastizales —como la quema de la sabana, la introducción de gramíneas africanas (*Brachiaria decumbens*), su asociación con leguminosas (*Pueraria phaseoloides*, *Arachis pintoi* y *Centrosema acutifolium*) y el uso de diferentes valores de carga animal— en la macrofauna del suelo. Por otro lado, se intentó probar la hipótesis de que los pastizales crean “desiertos verdes” cuando son establecidos a costa de las selvas o de las sabanas nativas.

Materiales y Métodos

Características del área de estudio

Carimagua

La estación experimental Carimagua (4°30' N, 71°30' O) está ubicada en la unidad fitogeográfica denominada “Altillanura plana”. La vegetación característica consiste en pastos de sabana bien drenados en las zonas altas (“altos”) y en selvas de galería en las zonas bajas (“bajos”).

El clima es subhúmedo tropical con una temperatura media anual de 26 °C y una precipitación de 2300 mm (media de los años 1972-1992, datos del CIAT). Hay dos ‘estaciones’ muy marcadas: una época seca con una precipitación media mensual inferior a los 100 mm, que transcurre desde diciembre a marzo; y una época lluviosa cuya precipitación media mensual supera los 100 mm y va de abril a noviembre.

En Carimagua se encuentran dos tipos de suelos: los Oxisoles (Tropeptic Haplustox

Isohyperthermic) en los “altos” y los Ultisoles (Ultic Aeric Plintaquox) en los “bajos”. Presentan buenas propiedades físicas (porosidad, retención de agua), pero son deficientes en elementos químicos (CEC < 5 meq/100 g), altamente ácidos (pH < 5) y con una saturación de aluminio muy elevada (> 80%).

Granja Matazul

La granja (o finca) Matazul se encuentra en el municipio de Puerto López, en el departamento del Meta, Colombia (4°9' N, 72°39' O), pertenece a la Altillanura plana, y tiene sabanas de *Trachypogon vestitus* Anders sobre un suelo Oxisol. El clima es idéntico al de Carimagua, aunque la precipitación media anual es un poco mayor (2700 mm).

Elección de las prácticas de uso de la tierra

En Carimagua

El muestreo se hizo en Oxisoles franco-arcillosos cubiertos por la sabana nativa o por agroecosistemas (como pastizales y cultivos), durante la época lluviosa, desde mayo hasta agosto de 1993. Las muestras de macrofauna del suelo se tomaron en 10 sistemas diferentes de uso de la tierra:

- I. Selva de galería nativa.
- II. Sabana nativa protegida contra el fuego y dedicada a pastoreo durante más de 4 años.
- III, IV, V. Sabana quemada y bajo pastoreo, con carga animal baja (0.25 animales/ha), muestreada 15 días después del fuego, DDF (III), 6 meses DDF (IV) y un año DDF (V).

- VI, VII. Sabana quemada y bajo pastoreo, con carga animal moderada (VI) y alta (VII) (0.5 y 0.75 animales/ha, respectivamente), 16 meses DDF.
- VIII. Pastizal de 15 años de edad de *Brachiaria decumbens*, establecido en la sabana nativa, con 1.67 animales/ha.
- IX. Pastizal de 15 años de edad de *B. decumbens* + kudzú (*Pueraria phaseoloides*), establecido en la sabana nativa, con 1.67 animales/ha.
- X. Cultivo de arroz de 2 meses de edad, sembrado con un nivel alto de insumos en la sabana nativa.
- XI. Cultivo de yuca de 8 meses de edad, plantado con un nivel alto de insumos en un terreno en que se plantó yuca durante 20 años en la sabana nativa.

El pastoreo extensivo tradicional en pastizales naturales está representado por los sitios III, IV, V, VI y VII, y el pastoreo intensivo en pastizales mejorados se muestreó en los sitios VIII y IX. Los monocultivos anuales con niveles altos de insumos corresponden a los sitios X y XI.

En Granja Matazul

Se tomaron muestras en cinco parcelas en que se emplearon diferentes sistemas de uso de la tierra, en agosto de 1995:

- Parcela 1: Sabana nativa que fue quemada 8 meses antes de tomar muestras, y que ha sido pastoreada desde 1989 a razón de 0.25 animales/ha.
- Parcela 2: Pastizal de 6 años de *Brachiaria humidicola* (Rendle), pastoreado de manera continua a razón de 1.5 animales/ha.

Parcela 3: Pastizal de 2 años de *B. humidicola*, pastoreado de manera continua a razón de 2.17 animales/ha; fue establecido inicialmente con un cultivo pionero de arroz sembrado en 1989 y se resembró con arroz y pastos en 1993.

Parcela 4: Pastizal de 2 años en que se asociaban *B. humidicola*, *Arachis pintoii* Krap and Greg y *Centrosema acutifolium* Benth., pastoreado de manera continua a razón de 1.79 animales/ha.

Parcela 5: Monocultivo de arroz cultivado continuamente desde 1989.

Método de muestreo y análisis de los datos

El muestreo se realizó siguiendo la metodología recomendada por el Programa de Biología y Fertilidad de los Suelos Tropicales, TSBF (Anderson e Ingram 1993; Lavelle y Pashanasi 1989). En Carimagua se tomaron 10 muestras de 25 x 25 x 30 cm a intervalos regulares de 5 m, a lo largo de un transecto cuyo origen y dirección fueron escogidos al azar. Se empleó un marco metálico para aislar el monolito de suelo, el cual fue extraído con una pala y dividido en cuatro capas sucesivas (hojarasca, 0-10, 10-20, 20-30 cm). En Matazul se tomaron ocho muestras en la sabana nativa y seis en el resto de las parcelas. Cada estrato fue desmenuzado y revisado cuidadosamente en bandejas grandes de 40 x 60 cm. Los macroinvertebrados se recolectaron, se contaron, se pesaron y se guardaron en alcohol 75%, excepto las lombrices, que fueron previamente fijadas en formalina al 4% durante 2 ó 3 días.

En **Carimagua**, los invertebrados fueron identificados como pertenecientes a 57 UT amplias (orden o familia), se contaron y se agruparon luego en siete grandes grupos: lombrices, termitas, hormigas, coleópteros, arañas, miriápodos y “otros invertebrados”. Se determinó la densidad y la biomasa de cada uno de estos siete grupos; la biomasa se corrigió posteriormente debido a las pérdidas de peso debida al proceso de fijación (un 19% en las lombrices y las termitas, un 9% en las hormigas, un 11% en coleópteros, un 6% en arañas y miriápodos y un 13% en “otros invertebrados”).

Se realizó luego un análisis de componentes principales (ACP) con los programas GraphMu y MacMul (Thioulouse 1989, 1990) con el fin de comparar las comunidades de macroinvertebrados respecto a los diferentes tipos de uso de la tierra e identificar los factores determinantes de su distribución. Se emplearon 39 variables que describen la macrofauna, las propiedades físicas y químicas del suelo, la carga animal y las características de la vegetación herbácea. Los sitios X y XI no se incluyeron en el análisis porque no se contó con información sobre las propiedades de sus suelos. Los resultados obtenidos en los diferentes tratamientos se compararon con la prueba de t de Student.

En **Matazul**, los invertebrados se contaron, se pesaron y se identificaron sólo hasta el nivel de familia. Se emplearon criterios morfológicos (morfotipos) para identificar el número de especies de lombrices, a diferencia de los muestreos hechos en Carimagua, donde se hizo un trabajo más detallado (Jiménez 1999). Los otros grupos se identificaron hasta el nivel de UT morfológicamente diferentes (morfotipos).

La riqueza taxonómica (S), definida como el número total de UT presentes en un sistema, se calculó con dos niveles de precisión: uno, el número de familias, y otro, el número de morfotipos y especies. Todos los resultados provienen de una compilación de 10 muestras individuales, excepto en el sitio XI, donde sólo se tomaron 4 muestras.

Resultados y Discusión

En Carimagua

La lista de las UT observadas en Carimagua aparece en el Apéndice (p. 44). Los resultados del análisis de componentes principales (ACP) que se hizo con los datos de esta estación aparecen en la Figura 2-1 y en el Cuadro 2-1. Se extrajeron dos factores que explicaron el 66.4% de la varianza total.

Factor I

Este factor explica el 42.0% de la varianza. Se define como el **efecto global de la vegetación**. Las selvas

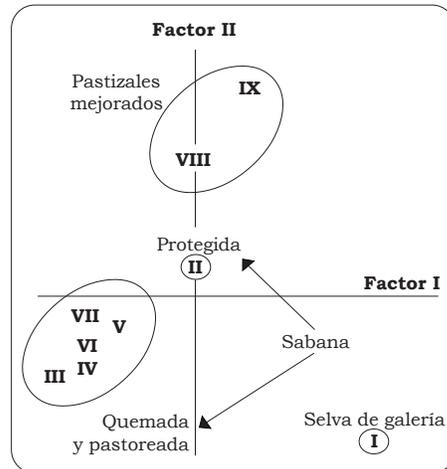


Figura 2-1. Localización de los diferentes sitios estudiados respecto a los dos primeros factores extraídos en el ACP.

Cuadro 2-1. Principales correlaciones entre las variables con los dos primeros factores extraídos del ACP.

Factor I: 41.96% de la varianza total			
Densidad de lombrices	0.74	Densidad (%) en la hojarasca	0.58
Densidad de termitas	0.80	Contenido de Mg	0.75
Densidad de hormigas	0.68	Contenido de K	0.86
Densidad de miriápodos	0.98	Saturación de aluminio (%)	0.91
Densidad de macrofauna	0.90	Arcilla (%)	-0.91
Biomasa de miriápodos	0.83	Infiltración de agua	0.97
Biomasa de "otros"	0.83	Densidad del suelo	-0.86
Número de taxones	0.81	Porosidad	0.99
Factor II: 24.4% de la varianza total			
Densidad de hormigas	0.85	pH	0.83
Densidad de "otros"	0.68	Contenido de Ca	0.90
Biomasa de lombrices	0.91	Resistencia a la penetración	-0.77
Biomasa de coleópteros	0.60	Leguminosa (%)	0.84
Biomasa de macrofauna	0.92	Carga animal	0.88

de galería están claramente separadas de los pastizales, especialmente en los sitios que presentan cobertura mínima, como la sabana a los 15 DDF o cuando tiene una carga animal alta. Este factor separa suelos con contenidos de limo altos (63%), buena porosidad (60%), saturación de aluminio alta (88%) y elevados contenidos de Mg (0.2 meq/100 g) y de K (0.1 meq/100 g). En estos suelos, la densidad y la riqueza taxonómica de la macrofauna (número de taxones recolectados) son altas. Los miriápodos y otros artrópodos (especialmente las larvas de la familia Cicadidae, los blátidos y los isópodos) presentan un valor alto de biomasa; las lombrices, las hormigas, las termitas y los miriápodos son abundantes.

Factor II

Este factor explica el 24.4% de la varianza y representa **el efecto de la fertilidad del suelo**. Este factor separa con claridad la selva de galería y las sabanas de los pastizales mejorados. Aquí se encuentran suelos con poca resistencia a la penetración (12-14 g/cm²) y con

contenido de Ca alto (0.53 meq/100 g), que presentan una vegetación con gran proporción de leguminosas (48%) y reciben una carga animal más alta (1.67 animales/ha). La biomasa de macroinvertebrados es considerable a causa de la enorme contribución de las lombrices. Hay poca representación de las hormigas, aunque mucha de los coleópteros, cuya densidad y biomasa son altas.

Se pueden distinguir por tanto cinco situaciones principales: la selva de galería, la sabana protegida del fuego, los pastizales naturales, los pastizales introducidos y los monocultivos (Figura 2-1).

La **selva de galería** presentó la riqueza taxonómica y la densidad poblacional más altas, aunque los valores de su biomasa son de nivel intermedio (Cuadros 2-2 y 2-3). Los invertebrados ocuparon, principalmente, los primeros 10 cm de suelo (84%) y sólo el 4% de ellos se encontró en la hojarasca (Figura 2-2). Las lombrices, las termitas, las hormigas, los miriápodos y "otros artrópodos" presentaron las densidades más altas (Cuadro 2-3, Figura 2-3). El mayor componente de

Cuadro 2-2. Biomasa (g/m²) de la macrofauna en los 11 sitios estudiados. Las letras indican diferencias significativas (90%) obtenidas en las pruebas de la t de Student: a = valor diferente de II; b = valor diferente de I; c = valor diferente de V; d = valor diferente a IX; e = valor diferente a VIII; el sitio XI no se incluyó en el análisis. Los datos son medias de 10 muestras individuales (ES entre paréntesis), excepto en el sitio XI (4 muestras).

	Selva de galería		Sabana					Pastizales ^b		Cultivos	
			Protegida	Quemada y pastoreada ^a					<i>B. dec.</i>	<i>B. dec.</i> + kudzú	Arroz
	I	II		Carga animal baja (después fuego)			Carga an. moderada	Carga an. alta	VIII	IX	X
			15 días	6 meses	1 año	16 meses	16 meses				
		III	IV	V	VI	VII					
Lombrices	4.72 (1.02) d,e	4.78 (1.96) c,d,e	6.13 (2.00) d,e	7.10 (2.57) d,e	13.77 (5.03) a,d,e	7.08 (3.99) d	4.48 (1.77) d,e	22.95 (9.11) a,b,c,d	51.09 (18.76) a,b,c,e	2.30 (2.11) d,e	0.53 (0.34)
Termitas	2.50 (0.71) a	7.14 (5.07) b,c,e	0.20 (0.12) a	1.04 (0.55) a	0.65 (0.20) a	2.70 (1.33) a	1.73 (0.74) a	2.74 (2.01) a	3.64 (2.12)	0.18 (0.19) a	0.59 (0.35)
Hormigas	0.95 (0.46)	1.00 (0.63)	0.60 (0.40)	1.50 (1.26) e	1.16 (0.58)	0.49 (0.42)	0.63 (0.34)	0.04 (0.02)	0.49 (0.18)	0 (0)	0.09 (0.09)
Coleópteros	1.22 (0.52) d	0.99 (0.29) d,e	0.77 (0.29) d,e	0.75 (0.34) d,e	1.20 (0.30) d,e	1.04 (0.31) d,e	3.21 (1.26) a,c	2.38 (0.59) a,c	2.49 (0.31) a,b,c	0.43 (0.15) d,e	1.29 (1.18)
Arácnidos	0.07 (0.04)	0.83 (0.78)	0.24 (0.13)	0.07 (0.05)	0.05 (0.03)	0.20 (0.15)	2.61 (2.73) b,c,d,e	0.08 (0.09)	0.49 (0.31)	0.03 (0.04)	0 (0)
Miriápodos	1.53 (0.72) a,c,e	0.24 (0.08) b,c,d	0.03 (0.04) b,d	0.02 (0.02) b,d	0 (0) a,b,d	0.03 (0.04) b,d	0.66 (0.57) d	0.39 (0.18) b,d	1.46 (0.76) a,c,e	0.27 (0.23) b,d	1.41 (0.83)
Otros invertebrados	2.59 (1.67) a,c,e	0.35 (0.15) b,d	0 (0) d,e	0.02 (0.02) b,d	0 (0) b,d	0.09 (0.04) b,d	0.07 (0.04) b,d	0.24 (0.10) b,d	2.80 (1.64) a,c,e	0.02 (0.02) b,d	0.57 (0.06)
Total	13.58 (2.29) d	15.33 (5.31) d	7.97 (1.89) a,d,e	10.50 (2.61) d	16.83 (5.03) d	11.64 (5.12) d,e	13.40 (3.33) d	28.82 (10.27) d	62.46 (18.84) a,b,c,e	3.23 (2.25) a,d,e	4.31 (1.19)

a. Carga an. = carga animal.

b. *B. dec.* = *Brachiaria decumbens*.

Cuadro 2-3. Densidad de la macrofauna en los 11 sitios estudiados. Las letras indican diferencias significativas (90%) obtenidas en las pruebas de la t de Student: a = valor diferente a II; b = valor diferente a I; c = valor diferente a V; d = valor diferente a IX; e = valor diferente a VIII; el sitio XI no se incluyó en el análisis. Densidad (individuos/m²). Los datos son medias de 10 muestras individuales (ES entre paréntesis), excepto en el sitio XI (4 muestras).

	Selva de galería		Sabana					Pastizales ^b		Cultivos	
			Protegida	Quemada y pastoreada ^a					<i>B. dec.</i>	<i>B. dec.</i> + kudzú	Arroz
	Carga animal baja (después fuego)			Carga an. moderada	Carga an. alta						
	I	II		15 días III	6 meses IV	1 año V	16 meses VI	16 meses VII			
Lombrices	251 (44) a,d	157 (65) b	48 (9) a,b,c,d,e	46 (12) a,b,c,d,e	192 (45)	32 (10) a,b,c,d,e	56 (16) a,b,c,d,e	213 (24) d	139 (25) b,e	18 (6) a,b,c,d,e	27 (12)
Termitas	2806 (895) c,d,e	1955 (1053)	147 (106) a,b,c	1181 (762) b	845 (231) b	1443 (457) b	1050 (374) b	992 (709) b	1034 (600) b	222 (214) a,b	195 (105)
Hormigas	862 (329) d	472 (294)	371 (316)	325 (126) b	685 (351) e	331 (185)	331 (156)	75 (15) b,c	534 (281)	11 (8) b,c	19 (12)
Coleópteros	110 (18) c,d,e	131 (35) c,d	107 (26) c,d,e	104 (33) c	198 (37) a,b	152 (20) d	126 (21) c,d	187 (28) b	240 (31) a,b	99 (16) c,d,e	104 (23)
Arácnidos	19 (6) e	18 (7)	21 (4) c,e	6 (3) a,b,d	10 (4) d	10 (4) d	10 (4) d	8 (4) b,d	22 (8) c,e	3 (2) a,b,d	11 (12)
Miriápodos	125 (20) a,c,d,e	34 (8) b,c	3 (2) a,b,d	13 (5) a,b,d	3 (2) a,b,d	11 (5) a,b,d	10 (5) a,b,d	18 (5) b,d	38 (10) b,c,e	14 (10) b,d	91 (18)
Otros invertebrados	118 (30) a,c,d,e	64 (9) b,d	0 (0) a,b,c,d	29 (8) b,d	38 (8) b,d	50 (12) b,d	26 (5) b,d	48 (8) b,d	259 (55) a,b,c,e	61 (22) b,d	144 (21)
Total	4293 (1077) c,d,e	2830 (1059)	698 (333) b,a	1704 (745) b	1971 (432) b	2029 (497) b	1608 (477) b	1541 (747) b	2267 (871) b	429 (230) a,b,d	592 (125)

a. Carga an. = carga animal.

b. *B. dec.* = *Brachiaria decumbens*.

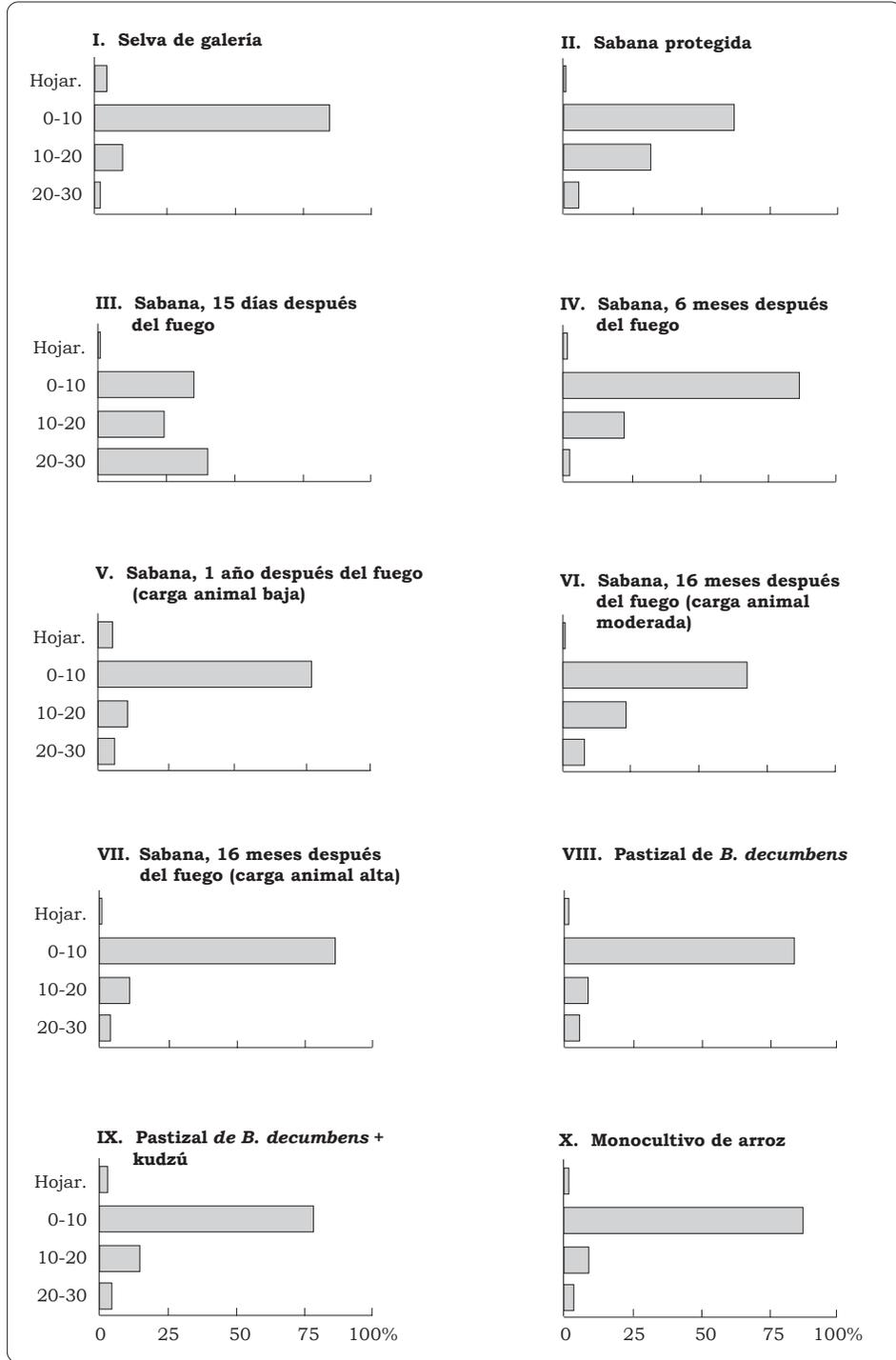


Figura 2-2. Distribución vertical de la densidad de la macrofauna en 10 sitios estudiados. (Hojar. = hojarasca.)

la biomasa fueron las lombrices (35%), seguido de las termitas (18%) y de los miriápodos (11%). Otros artrópodos, principalmente los pertenecientes a los miembros de

Grylotalpinae, Cicadidae, Blattodea e Isopoda, constituían el 19% de la biomasa (Cuadro 2-2, Figuras 2-4 y 2-5).

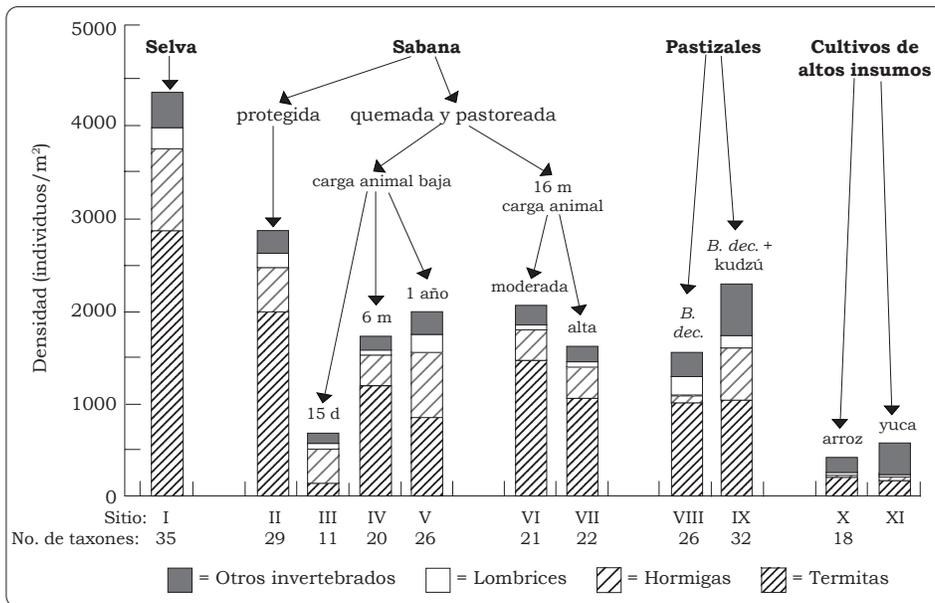


Figura 2-3. Distribución de la densidad de la macrofauna en los 11 sitios estudiados. (d = días; m = meses; *B. dec* = *Brachiaria decumbens*.)

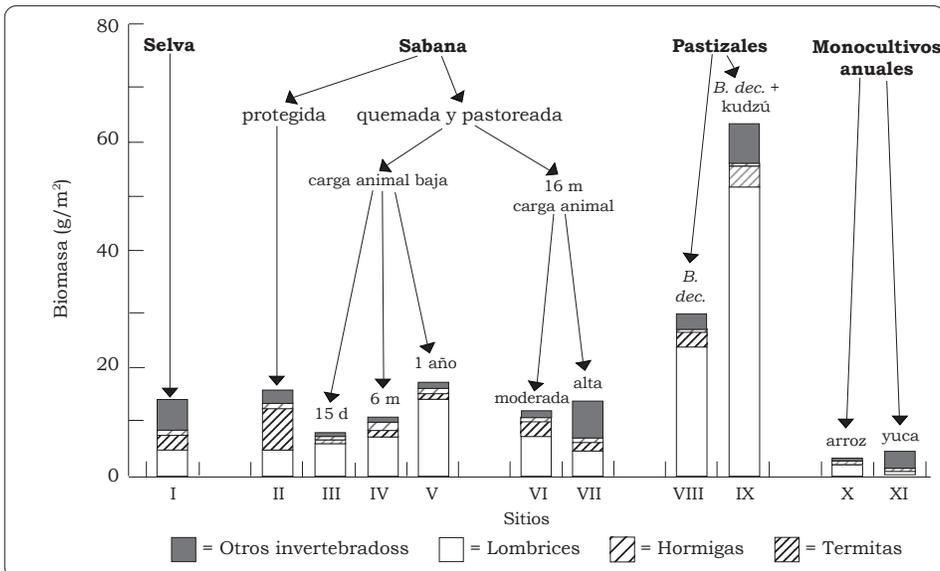


Figura 2-4. Distribución de la biomasa de la macrofauna en los 11 sitios estudiados. (d = días; m = meses; *B. dec* = *Brachiaria decumbens*.)

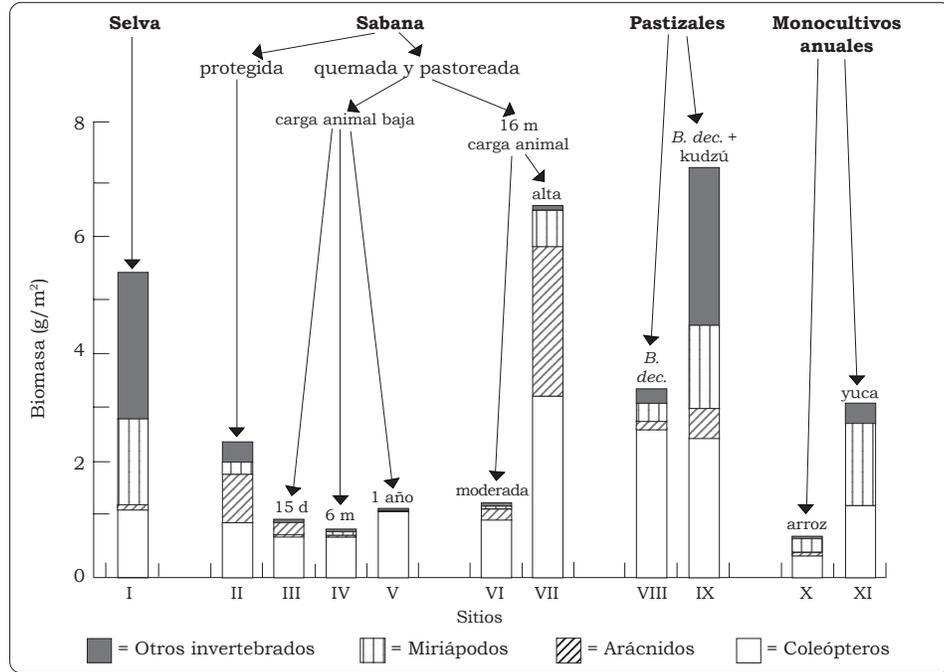


Figura 2-5. Distribución de la biomasa de la macrofauna en otros grupos principales de invertebrados (diferentes de lombrices, termitas y hormigas) en los 11 sitios estudiados. (d = días; m = meses; *B. dec.* = *Brachiaria decumbens.*)

En la **sabana protegida de la quema**, la densidad y la riqueza taxonómica fueron elevadas y la biomasa intermedia. El suelo estaba densamente colonizado hasta los 20 cm, pero sólo el 1% de los invertebrados se encontraron en la hojarasca. Las termitas (47%) y las lombrices (31%) fueron los que más aportaron a la biomasa total (Figura 2-6).

En la **sabana quemada y pastoreada**, en que la carga animal era baja (0,25 animales/ha) y había pasado 1 año después del fuego (sitio V), la biomasa y la densidad de la macrofauna presentó valores similares a los de la sabana protegida del fuego, pero la riqueza taxonómica fue menor. Las poblaciones se concentraron en la parte superior del suelo, el 5% en la hojarasca y el 78% en el estrato de 0 a 10 cm. Las lombrices dominaron

ampliamente la biomasa (82%) y las termitas fueron escasas (4%).

El aumento de la carga animal no tuvo efectos significativos en la biomasa y la densidad, aunque la riqueza taxonómica disminuyó hasta 22 taxones. La contribución relativa de las lombrices a la biomasa descendió desde el 82% (carga baja) hasta el 61% (carga moderada) y el 34% (carga alta), mientras que otros grupos fueron más importantes, como las termitas (13% de la biomasa), los coleópteros (24%), los arácnidos (20%) y los miriápodos (5%) (Figuras 2-5 y 2-6). La distribución vertical no sufrió cambios y los invertebrados se concentraron en el estrato 0 a 10 cm (68% a 78% de los individuos).

Se observó un efecto espectacular, a corto plazo, del fuego sobre la macrofauna. La densidad, la biomasa y la riqueza taxonómica de las

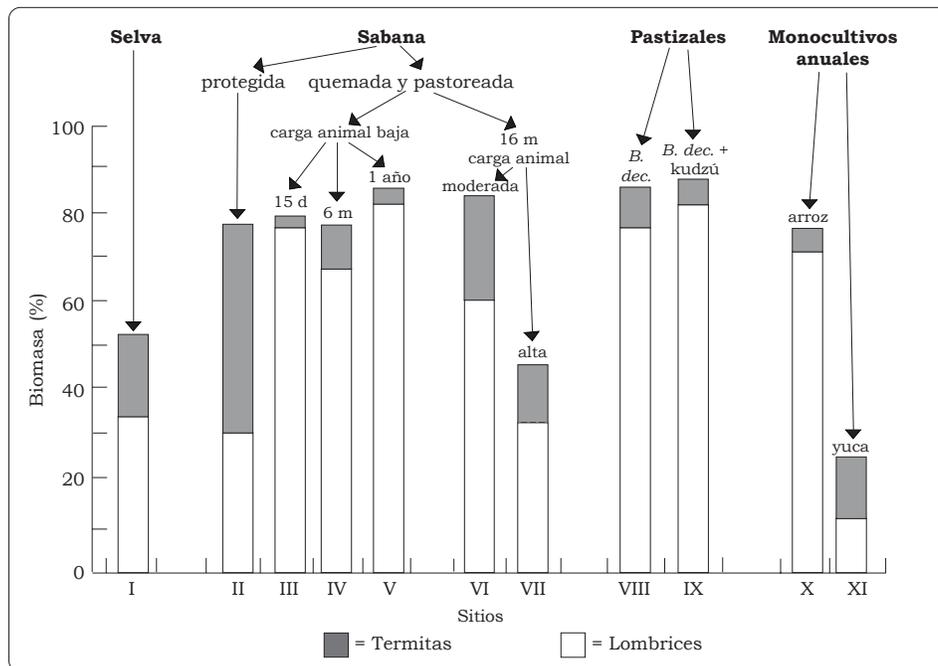


Figura 2-6. Contribución relativa de las lombrices y las termitas a la biomasa en los 11 sitios estudiados. (d = días; m = meses; *B. dec.* = *Brachiaria decumbens.*)

comunidades de invertebrados, 15 días después de la quema de la sabana, fueron muy bajas. Hubo cambios en la distribución vertical, donde se observó una gran proporción de individuos en el estrato de 10 a 20 cm (24%) y en el de 20 a 30 cm (40%) (Figura 2-4). Las lombrices fueron de nuevo el grupo dominante (más del 70% de la biomasa), ya que las termitas y los “otros invertebrados” fueron muy castigados por el fuego (Figuras 2-5 y 2-6).

Transcurridos 6 meses, la fauna del suelo recuperó su abundancia inicial. La biomasa y la densidad no fueron significativamente diferentes a los valores obtenidos inicialmente en la sabana y la riqueza taxonómica aumentó a 20 UT. El estrato 0-10 cm había sido recolonizado y en él se encontró el 80% de la población total.

En los **pastizales introducidos**, las comunidades de

macroinvertebrados se caracterizaron porque su biomasa y su riqueza específica fueron altas y su densidad poblacional moderada. Las lombrices dominaron ampliamente la comunidad con el 80% de la biomasa total (Figura 2-2); dos especies nativas, una anécica (*Martiodrilus* sp., Glossoscolecidae) y la endógea mesohúmica (*Andiodrilus* sp., Glossoscolecidae), fueron las dominantes. Los pastizales en que se asociaban *B. decumbens* y *P. phaseoloides* (kudzú) presentaron las densidades más altas de coleópteros, arácnidos y “otros invertebrados”, así como una biomasa alta de lombrices, miriápodos y “otros invertebrados” (Figura 2-5). La distribución vertical fue similar a la encontrada en el pastizal tradicional (sitio V), ya que la mayoría de los invertebrados se concentraron en el estrato 0-10 cm (78% a 84%).

Los **monocultivos anuales (arroz y yuca) de altos insumos** presentaron los valores más bajos de densidad, biomasa y riqueza taxonómica. En el cultivo de arroz, las lombrices fueron las más abundantes en términos de biomasa (48%), y las termitas sólo representaron el 37% de ésta (Figura 2-6). La macrofauna se concentró claramente en el estrato 0-10 cm (87%).

En Granja Matazul

La comunidad de macroinvertebrados de Matazul tuvo la misma respuesta general a la intensificación agrícola que la de Carimagua: los pastizales presentaron un aumento notable de la biomasa, mientras que en los cultivos anuales se redujeron tanto la densidad como la biomasa de las poblaciones de macroinvertebrados (Figuras 2-7 y 2-8). Sin embargo, y de modo general, las diferencias de biomasa y de densidad observadas

no son significativas según los análisis estadísticos. Las lombrices son, también, menos abundantes que en Carimagua, especialmente en la sabana natural pastoreada y en los pastizales introducidos.

La riqueza taxonómica (número de familias de invertebrados) de la sabana nativa de Carimagua se redujo, en general, ligeramente en los pastizales extensivos e intensivos (Cuadro 2-4). Sin embargo, sólo el número de familias ha disminuido (entre 3 y 8), mientras que el número de morfotipos se mantuvo, generalmente, en todos los grupos de invertebrados (3 a 13 morfotipos). El paso del fuego sobre la sabana disminuye el número de UT (28 morfotipos y 11 familias), aunque la riqueza inicial se recupera parcialmente después de 6 meses (Cuadro 2-4).

La incorporación de cultivos anuales (monocultivo de arroz) en la sabana nativa entraña una disminución de la riqueza

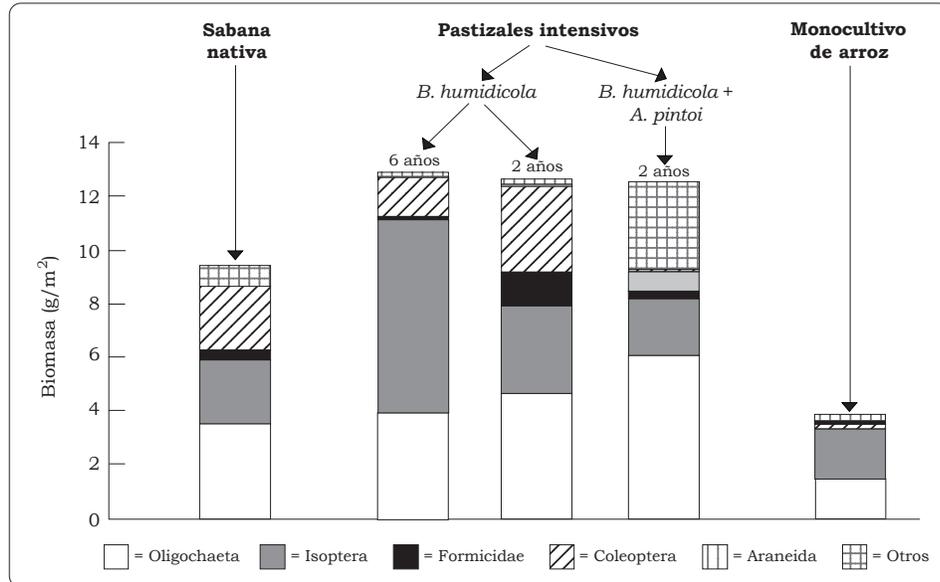


Figura 2-7. Biomasa de los macroinvertebrados del suelo en las cinco parcelas muestreadas de Matazul (Decaëns et al., datos sin publicar).

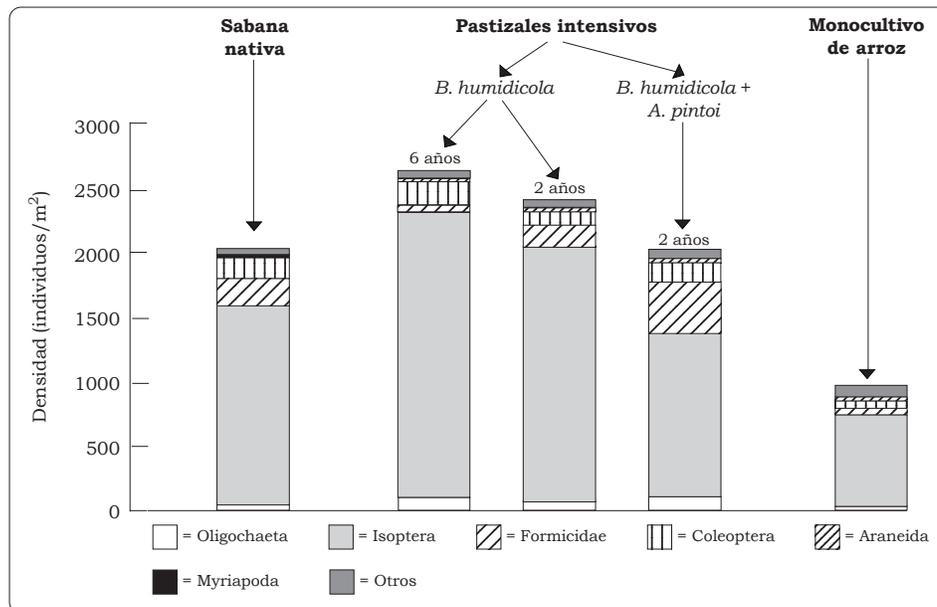


Figura 2-8. Densidad de los macroinvertebrados del suelo en las cinco parcelas muestreadas de Matazul (Decaëns et al., datos sin publicar).

taxonómica en todos los niveles de identificación y en todos los grupos de invertebrados, o sea, de 19 morfotipos (42-23) y de 11 familias (29-18). En las parcelas de Matazul, el número de familias de macroinvertebrados permaneció más o menos igual en todos los sistemas muestreados. El número de especies de lombrices es menor que en Carimagua, y pasa de tres en los pastizales a una en la parcela de arroz.

En Carimagua, la composición específica de las poblaciones de macroinvertebrados es relativamente similar a la de las parcelas de la sabana (Cuadros 2-4 y 2-5). La similitud se reduce cuando se compara la comunidad de los pastizales naturales y la de los pastizales antrópicos intensivos. La diferencia es mucho más notoria entre los pastizales y el monocultivo de arroz. Sin embargo, en todos los agroecosistemas intensivos

estudiados, más del 50% de los morfotipos diferenciados fueron recolectados también en los suelos de la sabana natural.

Las diferentes prácticas de manejo de la tierra en Carimagua dieron como resultado modificaciones drásticas en las comunidades de macroinvertebrados del suelo. Las lombrices dominan la biomasa en la mayoría de los sitios estudiados, especialmente una especie anéctica de gran tamaño (*Martiodrilus* sp., Glossoscolecidae) y, en algunos casos, una endógena mesohúmica (*Andiodrilus* sp., Glossoscolecidae). Las termitas dominan, generalmente, la densidad poblacional.

Comparación con otros agroecosistemas tropicales

La fauna de la **selva de galería** de las sabanas colombianas es diversa y abundante. La densidad de población es más baja que en las de Costa de

Cuadro 2-4. Riqueza en especies (S = número de especies, morfotipos o familias) de las comunidades de macroinvertebrados en las 14 parcelas muestreadas en Carimagua y Matazul (Coleo = coleópteros; Otros = otros grupos taxonómicos; Macro = macrofauna en su totalidad).

Sistemas	Riqueza taxonómica, S								
	Especies (no.)	Morfotipos (no.)							Familias (no.)
	Lombrices	Termitas	Hormigas	Coleo	Arácnidos	Miriápodos	Otros	Macro	Macro
CARIMAGUA									
Sabana natural									
Sin quema, sin pastoreo	5	3	5	13	5	2	9	42	29
Carga baja, 15 días después del fuego	5	3	7	7	5	1	0	28	11
Carga baja, 6 meses después del fuego	5	4	7	16	3	2	4	41	20
Carga baja, 1 año después del fuego	5	5	13	19	4	1	8	55	26
Carga media, 16 meses después del fuego	5	4	11	13	3	2	8	46	21
Carga fuerte, 16 meses después del fuego	5	4	8	16	3	3	5	44	22
Pastizal intensivo									
<i>Brachiaria decumbens</i>	5	3	7	10	4	2	8	39	26
<i>B. decumbens/Pueraria phaseoloides</i>	6	2	10	16	5	4	11	54	32
Cultivos anuales									
Monocultivo de arroz	3	1	1	11	2	2	3	23	18
MATAZUL									
Sabana natural									
Carga baja, 6 meses después del fuego	3	-	-	-	-	-	-	-	26
Pastizal intensivo									
<i>Brachiaria humidicola</i>	3	-	-	-	-	-	-	-	26
<i>B. humidicola/ Arachis pintoi</i> (1)	3	-	-	-	-	-	-	-	27
<i>B. humidicola/A. pintoi</i> (2)	3	-	-	-	-	-	-	-	28
Cultivos anuales									
Monocultivo de arroz	1	-	-	-	-	-	-	-	25

Cuadro 2-5. Índices de similitud de Sørensen calculados para nueve parcelas muestreadas en Carimagua y porcentaje de especies nativas observadas en los agroecosistemas intensivos (especie nativa = especie ya observada en el área de la sabana nativa; SN = sabana nativa protegida del fuego; SP = sabana nativa pastoreada; 15d = 15 días después del fuego; 6m = 6 meses después del fuego; 1a = 1 año después del fuego; CM = carga animal media; CA = carga animal alta; Bd = pastizal de *Brachiaria decumbens*; BdPp = pastizal de *B. decumbens* asociada con *Pueraria phaseoloides*; MR = monocultivo de arroz).

Prácticas de uso de la tierra comparadas	SN	SP15d	SP6m	SP1a	CM	CA	Bd	BdPp	MR
SN	-	0.39	0.49	0.42	0.48	0.43	0.37	0.36	0.22
SP15d	-	-	0.42	0.40	0.22	0.41	0.30	0.25	0.25
SP6m	-	-	-	0.43	0.47	0.46	0.35	0.32	0.29
SP1a	-	-	-	-	0.44	0.39	0.34	0.28	0.29
CM	-	-	-	-	-	0.54	0.28	0.30	0.29
CA	-	-	-	-	-	-	0.31	0.33	0.31
Bd	-	-	-	-	-	-	-	0.47	0.32
BdPp	-	-	-	-	-	-	-	-	0.21
Morfotipos de la sabana (%)	100	100	100	100	100	100	55	54	73

Marfil, comparable con la obtenida en la Amazonia peruana y en los bosques de hayas de Europa, y superior a la de los bosques tropicales de México, Nigeria y Sarawak. La biomasa es similar a la encontrada en los hayedos europeos y en algunos bosques de México y Nigeria, de 2 a 6 veces superior a la de Sarawak, pero bastante inferior a los valores obtenidos en Perú y en Costa de Marfil (Cuadro 2-6 y sus referencias). Esto se debe a la biomasa de las lombrices, que es 3 veces inferior al valor medio (12.9 g/m²) calculado por Fragoso y Lavelle (1992) en 12 bosques de América del Centro y del Sur, en África y en Asia. Los miriápodos representan el 11% de la biomasa, como ocurre en Perú y México (Lavelle y Kohlman 1984; Lavelle y Pashanasi 1989) y otros grupos, como Grylotalpinae, Cicadidae, Isopoda o Blattodea, tienen relativa importancia en Carimagua (Figura 2-5).

En la **sabana protegida de la quema**, la densidad y la biomasa de la macrofauna son

significativamente más bajas que en las sabanas africanas de Costa de Marfil. La biomasa de las lombrices es de 3 a 10 veces más baja que en las sabanas africanas (Cuadro 2-6) y representa solamente el 31.2% de la biomasa total; las termitas fueron, en cambio, el mayor componente de la biomasa (46.6%).

La **práctica de manejo tradicional** no afecta ni a la biomasa ni a la densidad de la macrofauna, aunque reduce ligeramente la riqueza taxonómica. La biomasa es mucho más baja que en los pastizales tradicionales de Perú, mientras que la densidad de población es bastante similar (Cuadro 2-6). Este manejo afecta mucho a las termitas; por ello, su contribución a la biomasa se redujo a 3.9% de 46.6%, el valor que tenía en la sabana protegida del fuego. Las lombrices, en cambio, resultan favorecidas por este tipo de manejo, ya que su biomasa es tres veces superior y representa el 82% de la biomasa total (Figura 2-4). Estos resultados confirman lo que se observó anteriormente en América

Cuadro 2-6. Comparación de la densidad (individuos/m²) y biomasa (g/m²) de la macrofauna del suelo y de las lombrices de tierra en varios lugares estudiados.

Localidad	Tipo de vegetación	Macrofauna		Lombrices		Referencia
		Biomasa	Densidad	Biomasa	Densidad	
Colombia	Selva de galería	13.6	4294	4.7	251	Este estudio
Costa de Marfil	Selva tropical	74.2	5747	52.3	171.2	Gilot et al. 1995
Nigeria	Selva tropical	16.4	3119	10.2	34	Madge 1969
México	Selva tropical	16.4-18.9	888-3011	9.8-10.7	8-132	Lavelle y Kohlmann 1984; Lavelle et al. 1981
Perú	Selva tropical	24.1-53.9	4099-4303	11.9-28.2	85-120	Lavelle y Pashanasi 1989
Sarawak	Selva tropical	2.4-6.8	663-2579	0.4-1	24-42	Collins 1980
Alemania	Bosque de hayas	12.7	4035	10.7	205	Schaefer 1990
Colombia	Sabana	15.3	1830	4.8	157	Este estudio
Costa de Marfil	Sabana	29.7-84.8	2015-10,905	17-48.6	188-400	Lavelle 1983; Lavelle et al. 1992
Colombia	Pastizal tradicional	8-16.8	698-2029	4.5-13.8	32-192	Este estudio
Perú	Pastizal tradicional	82.3-121.2	1768-2347	78-116.4	474-573	Lavelle y Pashanasi 1989
Colombia	Pastizal mejorado	28.8-62.5	1541-2267	22.9-51.1	139-213	Este estudio
Perú	Pastizal mejorado	110.9-159.2	922-1546	103.2-153	546-740	Lavelle y Pashanasi 1989
México	Pastizal mejorado	-	-	35.8-55.5	620-948	Lavelle et al. 1981
India	Pastizal mejorado	-	-	30.2-56	17.4-800	Dash y Patra 1977; Sepanati 1980

del Norte y en Costa de Marfil (James 1988; Lavelle 1983), donde el pastoreo incrementa las poblaciones de lombrices.

La quema de la sabana destruye, al parecer, gran parte de la macrofauna del suelo. La densidad, la biomasa y la riqueza taxonómica de la comunidad disminuyeron claramente; las termitas parecen ser el grupo más sensible (Figura 2-6). El fuego también afectó la distribución vertical de la macrofauna, ya que 15 días después de la quema sólo se encontró el 35% de los invertebrados en el estrato de 0 a 10 cm (Figura 2-2). Los niveles de macrofauna se recuperaron rápidamente y 6 meses después del fuego habían recobrado sus valores iniciales de biomasa, densidad y diversidad taxonómica; el estrato 0-10 cm había sido recolonizado. Estas observaciones contradicen los resultados obtenidos por Athias et al. (1975) en Costa de Marfil, los cuales indican que habrá un efecto retrasado de la quema, siempre que no se observe un efecto inmediato. Es posible que la diferencia entre ambos casos pueda provenir del tiempo en que se hace la quema. En Costa de Marfil se ha observado que las quemaduras realizadas durante la época seca, cuando la mayor parte de la fauna del suelo está adaptada al estrés de sequía, no afectan a las termitas porque éstas viven a gran profundidad en el suelo o en termiteros de paredes muy gruesas (Josens 1972). En Carimagua no existe, al parecer, preadaptación al estrés provocado por la quema.

El sobrepastoreo no afecta ni la biomasa ni la densidad poblacional, aunque reduce la riqueza taxonómica. El aumento de la carga animal reduce la importancia relativa de las lombrices, que aportan sólo el 33.4% de la biomasa en los pastizales más pastoreados

(Figura 2-6). Esto puede deberse a la modificación que experimenta el microclima del suelo por la disminución de la vegetación herbácea. Los coleópteros son abundantes en estos pastizales (Figura 2-5) (7.1% y 24% de la biomasa en el pastizal con carga animal media y alta, respectivamente), pero son menos importantes que en los pastizales de México (de 25 a 48 g/m²) (Villalobos y Lavelle 1990). Una mayor incorporación de deposiciones del ganado en el suelo puede explicar esta diferencia.

Las comunidades de macrofauna de los **pastizales mejorados** presentan una densidad poblacional moderadamente abundante; su biomasa y su riqueza en especies son altas, aunque la biomasa es inferior a la reportada en otros pastizales tropicales. Las especies nativas de la sabana son el mayor componente de esta biomasa (80%) y tienen valores absolutos de 22.9 a 51.1 g/m², un valor equivalente al de otros pastizales de México o de la India, pero inferior al hallado en Perú (Cuadro 2-6). Este aumento de biomasa se debe, en realidad, a la mejor calidad de los desechos del suelo, que están conformados por estiércol del ganado y por el material aéreo y radical de la leguminosa. La adición de hojas de leguminosa, ricas en nitrógeno, a la hojarasca del pastizal de *B. decumbens* + kudzú, mantiene la riqueza taxonómica e incrementa la biomasa hasta un valor cuatro veces superior al obtenido en la sabana protegida de la quema.

Al revés de lo que ocurre en los pastizales establecidos donde hubo antes selva tropical, las comunidades de macrofauna parecen haber sido favorecidas por el mejoramiento de las condiciones tróficas; sin embargo, no hay proliferación de

lombrices alóctonas, como ocurre en muchos otros pastizales tropicales (Lavelle et al. 1981; Lavelle y Pashanasi 1989). Otros grupos de importancia son los isópodos, que indican la presencia de un microclima húmedo en el suelo, y los coleópteros, a los que ciertamente favorecen el estiércol del ganado y la biomasa de las raíces (Figura 2-5).

Los **monocultivos de altos insumos** ocasionan un descenso drástico de la riqueza taxonómica, de la densidad y de la biomasa poblacional. Estos resultados confirman las observaciones realizadas en Perú (Cuadro 2-6) y pueden ser explicados por la acción negativa del laboreo del suelo, por la fertilización (especialmente cuando induce una mayor acidificación en el suelo), por la modificación del microclima del suelo, por la acción de pesticidas no específicos y por la reducción de las reservas orgánicas de carbono disponibles en el suelo a causa de la destrucción de la vegetación perenne (House y Parmelee 1985; Reddy y Goud 1987).

Los resultados obtenidos en la finca de Matazul confirman las observaciones realizadas previamente en Carimagua. En efecto, se observan allí las mismas tendencias en el efecto positivo de los pastizales y en el negativo de los cultivos anuales, las pequeñas o nulas diferencias entre las prácticas aplicadas en los pastizales, y la ausencia de efectos en la riqueza en especies de las comunidades de invertebrados. La biomasa de macroinvertebrados obtenida en los Llanos Orientales es, en general, baja en comparación con los valores medios de biomasa calculados por Lavelle et al. (1994). Las causas de estos resultados están ligadas, en parte, a ciertas propiedades físicas de los suelos (acidez, saturación de aluminio) o a la presencia de una

época seca muy definida que reduce a 8 meses el período de actividad de los invertebrados.

La comparación de los datos obtenidos en Carimagua y en Matazul pone en evidencia la gran variabilidad, entre un sitio y otro, de las comunidades de macroinvertebrados. Se puede decir, en general, y para tipos de uso del suelo similares en ambos sitios, que la biomasa de la macrofauna es más baja en Matazul. Las especies de lombrices de tierra no son las mismas en los dos sitios (Jiménez, Decaëns, Feijoo, datos no publicados) y la densidad es mucho más reducida en Matazul que en Carimagua. Estos resultados pueden explicarse por la cantidad de MO presente en los primeros 20 cm del suelo de Matazul (Fisher et al. 1994) o porque la tierra de Matazul se dedicó a fines agrícolas mucho antes que la de Carimagua.

La composición taxonómica de la comunidad de macroinvertebrados de los pastizales intensivos de Carimagua difiere sensiblemente de la obtenida en la sabana. Sin embargo, la mayoría de los morfotipos encontrados pertenecen a taxones que también se encontraron en la sabana, y son las especies autóctonas las que parecen aprovechar el mejoramiento de las condiciones tróficas. En el caso de las lombrices, por ejemplo, no hubo una proliferación de especies alóctonas de distribución pantropical, como suele observarse en otros pastizales establecidos en regiones selváticas tropicales (Barros et al. 1998; Lavelle et al. 1981; Lavelle y Pashanasi 1989). La riqueza en especies se ha mantenido en la mayor parte de los grupos, a excepción de las termitas y los coleópteros. Ciertos grupos, como las lombrices, muestran gran adaptabilidad al mejoramiento de las

condiciones ambientales de los pastizales, estableciendo grandes poblaciones que dominan la biomasa de la comunidad de invertebrados.

Conclusiones

Las comunidades de macroinvertebrados de las sabanas bien drenadas de Colombia son muy sensibles a los cambios ambientales derivados de la intensificación agrícola. Se pueden distinguir tres tipos de agroecosistemas que tienen efectos diferentes sobre la macrofauna del suelo:

1. Pastizales naturales extensivos, cuyos efectos en la macrofauna son poco significativos y donde la recolonización del suelo después de la quema ocurre en un tiempo relativamente corto. Las lombrices se benefician del pastoreo y del fuego, aunque su importancia disminuye si hay sobrepastoreo. Las termitas responden en forma abiertamente opuesta, de modo que la relación lombrices/termitas puede considerarse un indicador sensible del estado del ambiente.

2. Pastizales introducidos, que favorecen a los principales componentes de los grupos de macroinvertebrados. La siembra de especies forrajeras introducidas y el incremento de la producción animal en pastos mejorados hacen un fuerte impacto en la macrofauna del suelo, especialmente en las poblaciones de lombrices, cuya biomasa aumenta de 4.8 a 51.1 g/m². La asociación *B. decumbens* + kudzú es, al parecer, de alto valor respecto al mantenimiento y al mejoramiento de la calidad del suelo y de la biodiversidad, ya que también mantiene la riqueza taxonómica de la sabana nativa. Estos resultados se explican por el mejoramiento de la calidad de la hojarasca y por la gran

cantidad de deposiciones del ganado que recibe el suelo. Por tanto, el establecimiento de pastizales mejorados sobre la sabana nativa no transforma el medio en un “desierto verde” sino que, por el contrario, aumenta la actividad de las comunidades locales de macrofauna.

3. Cultivos anuales, que afectan fuertemente las poblaciones de lombrices y de artrópodos, causando una reducción espectacular de su biomasa, su densidad y su riqueza taxonómica. Las prácticas agrícolas, como el laboreo, la fertilización y la aplicación de herbicidas, así como la reducción de la biomasa radical y la modificación de las condiciones microclimáticas tras la desaparición de la cubierta vegetal, son los factores que explican el anterior fenómeno. La pérdida conjunta de la abundancia y la diversidad de dichas comunidades en los cultivos anuales conduce, invariablemente, a una pérdida de ciertas funciones importantes del suelo (Giller et al. 1997; Lavelle 1996). En efecto, la mayor parte de los organismos del suelo intervienen, en distinto grado, en la dinámica de la MO del suelo y en la regulación de la estructura de éste, las cuales determinan la fertilidad del suelo y la sostenibilidad de la producción vegetal (Lal 1988; Lavelle 1997; Lee y Foster 1991).

El estudio de alternativas sostenibles para la producción agrícola extensiva puede articularse con el estudio de las comunidades de invertebrados como indicadores sencillos de la estabilidad de los agroecosistemas. Para identificar sistemas alternativos que conserven e incrementen la macrofauna, puede ayudar la comprensión de la respuesta de la macrofauna a las perturbaciones inducidas por el hombre. El estudio de la dinámica espacio-temporal de los

invertebrados "clave" (los ingenieros del ecosistema) es de importancia capital. Es necesario prestar atención a los fenómenos de recolonización que se presentan en las poblaciones de macrofauna una vez ocurrida la perturbación, así como a la posible migración de especies de un sistema favorable a otro desfavorable.

Los resultados obtenidos en este estudio permiten identificar varias alternativas posibles para conservar o estimular las actividades de la macrofauna del suelo:

- El efecto negativo de los cultivos anuales, por ejemplo, podría ser atenuado si se reducen la intensidad y la frecuencia de la perturbación (disminución de la labranza y de la aplicación de pesticidas), o si se incrementan la cantidad y la calidad del recurso energético utilizado por los macroinvertebrados (p.ej., cultivar leguminosas como cobertura del suelo, mantener los residuos que dejan los cultivos).
- Los sistemas que integran fases cortas de cultivo en alternancia con largos períodos de pastizal (3 a 5 años) parecen también una buena opción para mantener las poblaciones de macroinvertebrados y para traer otros beneficios a las propiedades físicas y químicas del suelo (Thomas et al. 1995).
- Con nuevos trabajos de investigación podrán determinarse, en forma más precisa, los efectos negativos o positivos de diferentes períodos de cultivo o de pastizal, respectivamente; estos efectos influyen en el tiempo requerido para que una población efectiva de macroinvertebrados se restablezca.

Agradecimientos

Agradecemos a los trabajadores del Programa de Sabana Nativa (CIAT/IEMVT) y de otros programas de la estación de Carimagua por la ayuda prestada en el trabajo de campo. Agradecemos a J.P. Rossi (ORSTOM) por los análisis estadísticos realizados. Queremos dar las gracias también a Rainer Herrmann por el tiempo que empleó en ayudarnos a completar este trabajo después de realizado el suyo propio.

Referencias

- Anderson JM; Ingram J, eds. 1993. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. 2a. ed. C.A.B., Oxford. 221p.
- Athias F; Josens G; Lavelle P. 1975. Influence du feu de brousse annuel sur le peuplement endogé de la savane de Lamto. En: Vanek J, ed. Progress in soil biology. Praga, República Checa. p 389-396.
- Barros E; Grimaldi M; Desjardins T; Sarrazin M; Chauvel A; Lavelle P. 1998. Conversion of forests into pastures in Amazonia: Effects on soil macrofaunal diversity and soil water dynamics. En: ISSS-AISS-IBG-SICS-AFES, eds. Proceedings of the 16th World Congress of Soil Science. Montpellier, Francia, agosto 1998.
- Collins NM. 1980. The distribution of soil macrofauna on the West Ridge of Gunung (Mount) Mulu, Sarawak. *Oecologia* 44:263-275.
- Dash MC; Patra UC. 1977. Density, biomass and energy budget of tropical earthworm population from a grassland site in Orissa, India. *Rev Ecol Biol Sol* 14:461-471.

- Fisher MJ; Lascano CE; Vera RR; Rippstein G. 1992. Integrating the native savanna resource with improved pastures. En: CIAT, Pastures for tropical lowlands: CIAT's contribution. Cali, Colombia. p 75-99.
- Fisher MJ; Rao IM; Ayarza MJ; Lascano CE; Sanz JI; Thomas RJ; Vera RR. 1994. Carbon storage by introduced deep-rooted grasses in the South American savannas. *Nature* 371:236-238.
- Fragoso C; Lavelle P. 1992. Earthworm communities of tropical rain forests. *Soil Biol Biochem* 24:1397-1408.
- Giller KE; Beare MH; Lavelle P; Izac A-MN; Swift MJ. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. *Appl Soil Ecol* 6:3-16.
- Gilot C; Lavelle P; Keli J; Kouassi P; Guillaume G. 1995. Biological activity of soil under rubber plantation in Côte d'Ivoire. *Acta Zool Fenn* 196:186-189.
- House GJ; Parmelee RW. 1985. Comparison of soil arthropods and earthworms from conventional and no-tillage agroecosystems. *Soil Till Res* 5:351-360.
- James SW. 1988. The postfire environment and earthworm populations in tallgrass prairie. *Ecology* 69:476-483.
- Jiménez JJ. 1999. Estructura de las comunidades y dinámica de las poblaciones de lombrices de tierra en sabanas naturales y perturbadas de Carimagua (Colombia). Tesis Doctoral. Universidad Complutense, Madrid. 311 p.
- Josens G. 1972. Etudes biologiques et écologiques des termites (Isoptera) de la savane de Lamto-Pakobo (Côte d'Ivoire). Tesis de doctorado. Université Libre de Bruxelles.
- Lal R. 1988. Effects of macrofauna on soil properties in tropical systems. *Agric Ecosyst Environ* 24:101-116.
- Lavelle P. 1983. The soil fauna of tropical savannas; II: The earthworms. En: Bourlière F, eds. *Tropical savannas*. E.S.P.C., Amsterdam. p 485-504.
- Lavelle P. 1996. Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biol Int* 33:3-16.
- Lavelle P. 1997. Faunal activities and soil processes: Adaptive strategies that determine ecosystem function. *Adv Ecol Res* 27:93-132.
- Lavelle P; Kohlmann B. 1984. Etude quantitative de la macrofaune du sol dans une forêt tropicale du Mexique (Bonampak, Chiapas). *Pedobiologia* 27:377-393.
- Lavelle P; Maury ME; Serrano V. 1981. Estudio cuantitativo de la fauna del suelo en la región de Laguna Verde, Veracruz: Época de lluvias. *Inst Ecol Publ* 6:75-105.
- Lavelle P; Pashanasi B. 1989. Soil macrofauna and land management in Peruvian Amazonia (Yurimaguas, Loreto). *Pedobiologia* 33:283-291.
- Lavelle P; Dangerfield M; Fragoso C; Eschenbrenner V; López D; Pashanasi B; Brussaard L. 1994. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. En: Voomer PL; Swift MJ, eds. *The biological management of tropical soil fertility*. John Wiley & Sons, Chichester, Reino Unido. p 137-169.
- Lee KE; Foster RC. 1991. Soil fauna and soil structure. *Aust J Soil Res* 29:745-775.
- Madge DS. 1969. Field and laboratory studies on the activities of two species of tropical earthworms. *Pedobiologia* 9:188-214.
- Reddy MV; Goud AN. 1987. Impact of inorganic fertilizers on the earthworm population density of wetland rice (*Oryza sativa*) agroecosystems. *Proc Nat Ecotoxic (1987)*, p 154-158.

- Senapati BK. 1980. Aspects of ecophysiological studies on tropical earthworms. Distribution, population dynamics, production, energetics, and their role in decomposing processes. Tesis. Sambalpur University, Sambalpur, India. 154 p.
- Schaefer M. 1990. The soil fauna of a beech forest on limestone: trophic structure and energy budget. *Oecologia* 82:128-136.
- Spain AV; Lavelle P; Mariotti A. 1992. Stimulation of plant growth by tropical earthworms. *Soil Biol Biochem* 24:1629-1633.
- Stork NE; Eggleton P. 1992. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *Am J Alt Agr* 7:38-55.
- Thioulouse J. 1989. Statistical analysis and graphical display of multivariate data on the Macintosh. *Comp Appl Bio* 5:287-292.
- Thioulouse J. 1990. MacMul and GraphMu: two Macintosh programs for the display and analysis of multivariate data. *Comp Geosc* 16:1235-1240.
- Thomas RJ; Fisher MJ; Ayarza MA; Sanz JI. 1995. The role of forage grasses and legumes in maintaining the productivity of acid soils in Latin America. En: Lal R; Stewart BA, eds. *Soil management: experimental basis for sustainability and environmental quality. Advances in Soil Science Series, Lewis Pubs.*, Boca Ratón, Estados Unidos. p 61-83.
- Villalobos FJ; Lavelle P. 1990. The soil Coleoptera community of a tropical grassland from Laguna Verde, Veracruz (Mexico). *Rev Ecol Biol Sol* 27:73-93.

Apéndice. Lista de las unidades taxonómicas encontradas en las muestras recolectadas de suelo durante el período de muestreo.

Unidades taxonómicas	Sitios
OLIGOCHAETA	
Glossoscolecidae	I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X
Megascolecoidae (Acanthodrilidae u Ocnerodrilidae, o ambas)	I, II, V, VI, VII
ISOPTERA	
Rhinotermitidae	I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X
Termitidae	I, VII
Kalotermitidae	I
HYMENOPTERA	
Formicidae	I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X
Otros	I, II, V, VI, VIII
COLEOPTERA	
Carabidae	I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X
Elateridae	I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X
Scarabaeidae	I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X
Chrysomelidae	I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X
Staphylinidae	I, II, IV, V, VII, VIII, IX, X
Curculionidae	I, II, IV, V, VI, VII, IX, X
Tenebrionidae	I, II, IV, V, VI, IX, X
Lampyridae	VI, VIII, IX
Otros	I, II, VI, X
Alleculidae	III, IV
Scaphidiidae	V, VII
Pselaphidae	V, IX
Cicindelidae	IV
Eucteridae	VII
Clavigeridae	IX
Sylphidae	IX
Leiodidae	IX
Passalidae	V
Byrrhidae	X
Coccinellidae	I
ARACHNIDA	
Araneida	I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X
Acarina	I, II, V, VIII
Phalangida	II, VIII
Chelonethida	I, II
MYRIAPODA	
Geophilomorpha	I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII
Opisthospermophora	I, III, V, VII, VIII, IX, X

(Continúa)

Apéndice. (Continuación).

Unidades taxonómicas	Sitios
MYRIAPODA	
Scolopendromorpha	I, II, IV, V, VI, VIII, IX
Otros	V, VI, VIII, IX, X
Polydesmida	I, II, VIII, IX
NEMATODA	I, II, IV, V, VI, VII, VIII, IX, X
HOMOPTERA	
Cercopidae	VII, VIII, IX
Cicadidae	I, IV, V, X
Cicadellidae	II, IX
HEMIPTERA	
Otros	I, II, IV, V, VI, VII
Corimelaenidae	VI, VII
Reduvidae	I, II, IX
Cydnidae	II,
ORTHOPTERA	
Blattidae	I, II, V, VIII, IX
Gryllotalpinae	IV, VII
Gryllinae	IX
Mantidae	IX
LEPIDOPTERA	I, IV, VII, IX
EMBIOPTERA	I, V
CRUSTACEA	
Isopoda	I, II, VIII, IX
THYSANURA	
Lepismatidae	II
DIPTERA	I, II, VI, VIII, IX, X
DERMAPTERA	I
MOLLUSCA	
Helicidae	I, VIII, IX
Limacidae	IX
DIPLURA	I

CAPÍTULO 3

Cuantificación de la Macrofauna del Suelo en una Cuenca Hidrográfica de Colombia^{1,2}

A. Feijoo*, E. B. Knapp*, P. Lavelle** y
A. G. Moreno***

Resumen

Durante el período comprendido entre abril y septiembre de 1994, se cuantificaron la densidad de macrofauna, la biomasa total y la diversidad de especies de las lombrices de tierra en diferentes sistemas de uso de la tierra, en la cuenca del río Cabuyal. En este trabajo se empleó la metodología recomendada en el Programa de Biología y Fertilidad de los Suelos Tropicales (TSBF). La densidad de macrofauna, la biomasa y la biodiversidad de las lombrices varió considerablemente según el sistema considerado y la profundidad del

suelo. El análisis factorial inicial permitió extraer tres factores que explicaron el 71.8% de la varianza total. Se observó una riqueza taxonómica alta en la selva andina (98 unidades taxonómicas, UT), que desciende abruptamente en los pastizales (va de 28 a 13 UT) y en las tierras cultivadas (de 31 a 18 UT).

Palabras clave: Cabuyal, cuenca hidrográfica, diversidad, lombrices, macrofauna del suelo, uso de la tierra

Introducción

En los ecosistemas tropicales, algunos procesos del suelo están determinados por los invertebrados. Algunos grupos clave, como las lombrices, las termitas, las hormigas y los artrópodos que se alimentan de hojarasca, afectan la estructura física del suelo e influyen en la dinámica de los nutrientes mediante el efecto que causan en la inmovilización y la humificación de la MO (Anderson y Flanagan 1989; Lavelle et al. 1992, 1994).

Sólo algunos estudios recientes han sido enfocados hacia la importancia de los macroinvertebrados en las regiones paleotropical y neotropical, y hacia el

1. Publicado en *Pedobiología*, vol. 43, p 513-517, por Feijoo et al. Copyright © 1999 de Urban & Fischer Verlag. Impreso con permiso de la casa editorial.
 2. Aunque este trabajo no se relaciona específicamente con los Llanos Orientales, se ha incluido en el libro con el fin de mostrar el impacto del uso de la tierra en la región andina. Eds.
- * CIAT, Proyecto de Laderas, AA 6713, Cali, Colombia, y Universidad Nacional de Colombia, AA 237, Palmira, Colombia.
- ** Laboratoire d'Ecologie et Biologie des Sols Tropicaux, ORSTOM/Université Paris VI, 32 Av. Henri Varagnat, F-93143 Bondy Cedex, Francia.
- *** Departamento de Biología Animal I (Zoología), Facultad de Biología, Universidad Complutense, 28040 Madrid, España.

impacto que causa en ellos una perturbación ambiental restringida a los sistemas de uso de la tierra (Collins 1980; Decaëns et al. 1994; Lavelle y Kohlmann 1984; Lavelle y Pashanasi 1989).

El programa de laderas del CIAT ha estado investigando en cuatro frentes; en uno de ellos, conocido como 'efectos de la degradación del suelo', tiene dos objetivos:

- desarrollar alternativas de manejo de la tierra que mantengan la biodiversidad del suelo y que mejoren, al mismo tiempo, la fertilidad del suelo;
- emplear la macrofauna del suelo como un indicador de la perturbación que éste reciba.

En este estudio se ha comparado la diversidad, la abundancia y la biomasa de la macrofauna del suelo, en áreas de ladera y bajo 10 diferentes sistemas de uso.

Materiales y Métodos

Sitios del estudio

El estudio se realizó en la cuenca del río Cabuyal, en los Andes colombianos. La cuenca ocupa una extensión de 7000 ha y está situada a 120 km de Cali (va de 76°33' a 76°30' O y de 2°42' a 2°52' N). Las muestras se tomaron en las zonas intermedia (1450-1550 msnm) y alta (2000-2200 msnm) de la cuenca. El estudio duró desde abril hasta septiembre de 1994, durante la época seca, y se llevó a cabo en los 10 sitios siguientes, que diferían según el tipo de tierra y la frecuencia de uso de ésta:

1. Selva secundaria (SS)
2. Selva de 40 años (S40)
3. Selva de más de 40 años (S40+)

4. Barbecho (B) (helechal con malezas arbustivas)
5. Cultivo tradicional de café (CC)
6. Plantación de pino (PP)
7. Yuca asociada con frijol y maíz (YA)
8. Pastizal de kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) (PK)
9. Pastizal de yaraguá (*Melinis minutiflora*) (PY)
10. Pastizal de *Brachiaria humidicola* (BH).

Métodos

Las muestras se tomaron siguiendo la metodología del programa TSBF (Anderson e Ingram 1993). Los invertebrados fueron agrupados en unidades taxonómicas (UT, Cuadro 3-1) y se cuantificó su densidad y su biomasa. Las lombrices se conservaron en formalina al 5% y el resto de los invertebrados en alcohol al 70%. Las 23 UT procedentes de los 10 sitios fueron sometidas a un análisis de componentes principales (ACP, versión 609 de SAS). También se determinó el tipo de vegetación y el uso dado a la tierra.

Resultados

Tres factores explicaron el 71.8% de la varianza total de la macrofauna (Cuadro 3-1):

- El **Factor I** (43.6% de la varianza) se interpretó como el efecto de la vegetación densa y de la hojarasca sobre la superficie del suelo. La diversidad de macroinvertebrados fue alta: habían termitas, miriápodos, arácnidos, dípteros, lepidópteros, isópodos, dermápteros, moluscos e hirudíneos.

Cuadro 3-1. Correlaciones obtenidas entre los factores extraídos del ACP aplicado a la densidad de macroinvertebrados.

Unidades taxonómicas (UT)	Factor I (43.6%)	Factor II (15.4%)	Factor III (12.8%)
Diversidad	0.90	-0.14	0.32
Termitas	0.95	0.05	0.12
Miriápodos	0.88	0.004	-0.32
Dípteros	0.88	0.04	-0.14
Arácnidos	0.96	0.09	0.06
Lepidópteros	0.95	0.01	0.15
Isópodos	0.90	0.34	-0.09
Moluscos	0.92	-0.14	0.08
Hirudíneos	0.95	0.06	0.17
Lombrices epigeas	-0.17	0.83	0.08
Lombrices endógeas	-0.13	0.72	-0.15
<i>P. corethrus</i>	-0.18	0.72	0.52
Lombrices endógeas oligohúmicas	0.10	-0.58	-0.16
Coleópteros	0.26	-0.77	0.12
Blátidos	0.24	0.31	0.25
Hormigas	-0.08	-0.45	0.66
Mermitidos	-0.10	-0.21	0.71

- El **Factor II** explicó el 15.4% de la varianza y se consideró como el efecto de la tala y la quema. Los sitios se caracterizaron por la presencia de numerosas raíces y por la sombra del follaje de los árboles, por las sucesiones seriadas, los cultivos perennes y los pastizales de kikuyo. La diversidad epigea, endógea y oligohúmica fue intermedia, incluyendo aquí a *Pontoscolex corethrus*, especies de coleópteros y de blátidos (Figura 3-1).
- El **Factor III** (12.8% de la varianza) se interpretó como el

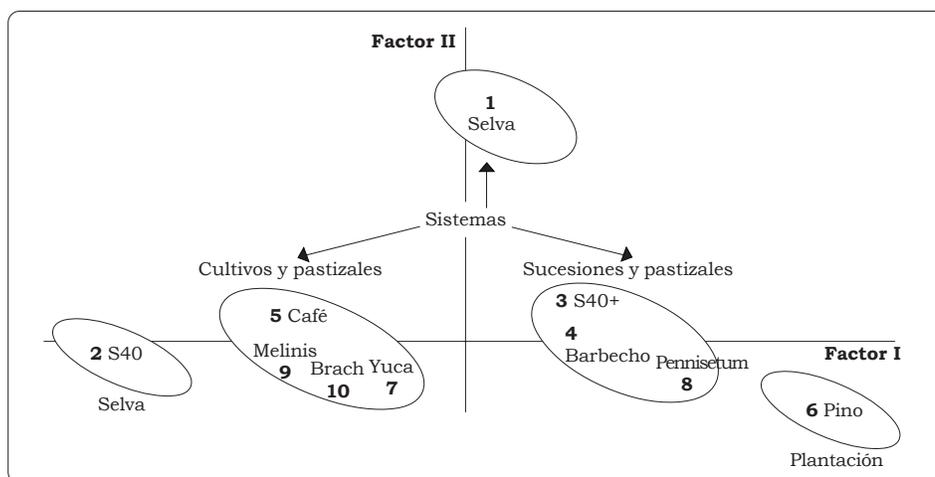


Figura 3-1. Ordenamiento de los sitios estudiados según los dos primeros ejes extraídos del ACP. (Brach = *Brachiaría humidicola*.)

efecto de la erosión que separa los sitios preparados con tracción animal, donde la degradación del suelo era muy alta y la diversidad, la abundancia y la biomasa de la macrofauna del suelo eran bajas. Los organismos más abundantes fueron *P. corethrurus* y los de la familia Mermithidae.

La selva secundaria (SS) posee una gran riqueza taxonómica (98 UT) y tiene una densidad poblacional (6790 individuos/m²) y una biomasa (98.6 g/m²) altas. Las comunidades de coleópteros constituyeron el mayor componente de la biomasa (52.2%), seguido por el de las termitas (13.2%) y el de las lombrices (12.5%). La diversidad de lombrices fue alta y se registraron las nueve especies siguientes: *Martiodrilus savanicola*, *M. agricola*, *Martiodrilus* sp., *Glossodrilus* sp., *Onoreodrilus* sp., *Periscolex* sp., *Thamnodrilus* sp., *Dichogaster* sp. y una especie sin identificar. La selva secundaria de 40 años (S40) y la de más de 40 años (S40+) tuvieron valores similares de diversidad (27 y 31 especies, respectivamente), y valores diferentes de densidad poblacional (2056 y 3932 individuos/m²) y de biomasa (27.04 y 91.42 g/m²), respectivamente. Las lombrices constituyen el mayor componente de esta biomasa (para S40, 81%, y para S40+, 26.6%) así como los coleópteros (para S40, 10.4%, y para S40+, 20.6%). La diversidad de lombrices fue alta también en los dos sitios. En S40 se encontraron las siete especies siguientes: *Martiodrilus heterostichon*, *Glossodrilus* sp., *Periscolex* sp., *P. corethrurus*, *Dichogaster* sp., *Amyntas gracilis* y *Periscolex* sp.; en S40+ aparecieron cinco especies: *Martiodrilus* sp., *M. agricola*, *Thamnodrilus* sp., *Periscolex* sp., *A. corticis* y *Dichogaster* sp.

Los sistemas de uso CC, YA y PP presentaron diferencias en la densidad poblacional de fauna (3352, 1187 y 870 individuos/m², respectivamente); tanto en CC como en YA, la biomasa fue bastante alta (115.7 y 78.9 g/m², respectivamente), mientras que en PP se obtuvieron los valores de biomasa más bajos de todos los sitios muestreados (3.2 g/m²). En comparación con la selva secundaria (SS), la diversidad de estos sistemas, medida en UT, fue baja: CC = 31, YA = 18, PP = 15. Los invertebrados fueron más abundantes en los estratos de 0-10 cm y de 10-20 cm. En CC y YA las lombrices dominaron la biomasa (79.5% y 80.8%, respectivamente). Cuatro especies nativas (*M. savanicola*, *Periscolex* sp., *P. corethrurus* y *A. gracilis*) y una exótica (*P. corethrurus*) se concentraron en los primeros 10 cm (62.1% en CC y 40.9% en YA), seguidas por los coleópteros (8.9% y 17.1%, respectivamente). Las poblaciones de invertebrados fueron bajas en PP, siendo los coleópteros los más abundantes (73.98%). Sólo una especie de lombriz (*Glossodrilus* sp.) se recolectó en este sitio y generalmente en los primeros 10 cm de suelo (40.9%).

La fauna se ubicó principalmente en los primeros 10 cm de suelo en PK (78.4%), PY (62.9%) y BH (52.1%), y los valores de riqueza específica fueron, respectivamente, de 20, 28 y 13 UT. La densidad fluctuó entre 2038 individuos/m² en PK y 6443 y 1965 individuos/m² en PY y BH, respectivamente; las hormigas predominaron especialmente en PY (*Ectatoma tuberculatum*, *Dolichoderus* sp., *Hypoponera* sp., *Solenopsis* sp. y *Tranopelta* sp.) y en PK (*Linepithema* sp., *Pheidole* sp., *Neivamyrmex* sp., *Acropyga* sp.). La biomasa fue de 67.9 g/m² en PK, 33.9 en PY y

73.4 g/m² en BH, siendo las lombrices y los coleópteros los principales contribuyentes (los porcentajes son respectivos) a la biomasa en PK (83.4%, 13.8%) y en BH (77.9%, 16%), mientras que los coleópteros y las hormigas lo fueron en PY (64% y 21.5%, respectivamente). En PK se encontraron nueve especies de lombrices, o sea, *Martiodrilus* sp., *M. agricola*, *M. savanicola*, *Glossodrilus* sp., *Thamnodrilus* sp., *Dichogaster* sp., *A. gracilis*, *A. corticis* y *Dendrobaena octaedra*; en PY cuatro especies: *P. corethrus*, *Glossodrilus* sp., *Periscolex* y *Dichogaster* sp.; y en BH una sola: *P. corethrus*. En los tres pastizales, la mayor incidencia de lombrices ocurrió en los primeros 10 cm: en PK 53.1%, en PY 63.3% y en BH 73.8%. Los valores obtenidos en B (helechal en barbecho) fueron intermedios entre los de los grupos anteriores. La diversidad fue baja (19 UT), la densidad poblacional alta (4464 individuos/m²) y la biomasa baja (26.28 g/m²). La mayor parte de la biomasa fue aportada principalmente por las lombrices (64%) y las hormigas (17%). La macrofauna del suelo se concentró en los estratos de 0-10 (44.6%) y de 10-20 cm (37.9%). Aquí se encontraron cinco especies de lombrices: *Martiodrilus* sp., *Thamnodrilus* sp., *Glossodrilus* sp., *A. corticis* y *Dendrobaena octaedra*.

Discusión

Los resultados obtenidos muestran cambios en la diversidad, la abundancia y la estructura funcional de las comunidades de fauna del suelo, según el sistema de uso de la tierra que se considere en la cuenca del río Cabuyal.

- La riqueza específica disminuye según la degradación del suelo:

por ejemplo, en la selva secundaria (SS) hay 98 UT y 9 especies de lombrices, pero sólo hay 13 UT y una especie de lombriz en BH.

- En los sitios donde existe la sucesión natural, hay una tendencia a mantener la biodiversidad: por ejemplo, de 19 UT y 5 especies de lombrices en S40, a 31 UT y 5 especies en la selva secundaria de más de 40 años (S40+).
- El cultivo tradicional de café (CC) mostró valores altos de UT y de especies de lombrices en comparación con los sistemas de sucesión natural, mientras que los valores en YA fueron bajos (18 y 1, respectivamente).
- En PK se encontraron 9 especies de lombrices y 20 UT (Figura 3-2).

Fue posible distinguir varios organismos indicadores de ambientes perturbados. En el caso de las lombrices de tierra, las siguientes especies: *A. corticis*, *A. gracilis*, *D. octaedra* y *P. corethrus*; por los coleópteros, las siguientes: *Dichotomius* aff. *septentrionalis*, *Heterogomphus chevrolatti*, *Oxisternom conspicillatum* y *Passalus* sp.

En los ambientes con muchos residuos vegetales en la superficie del suelo ('mulch'), los organismos epigeos y endógeos oligohúmicos fueron los más abundantes, mientras que en los ambientes herbáceos abundaron principalmente los epigeos. La densidad y la biomasa en SS (Cuadro 3-2) fueron mucho más altas (hasta 7 veces mayores) que en ambientes similares del trópico de México (Lavelle et al. 1981; Lavelle y Kohlmann 1984), de Nigeria (Madge 1969), de Sarawak (Collins 1980), de

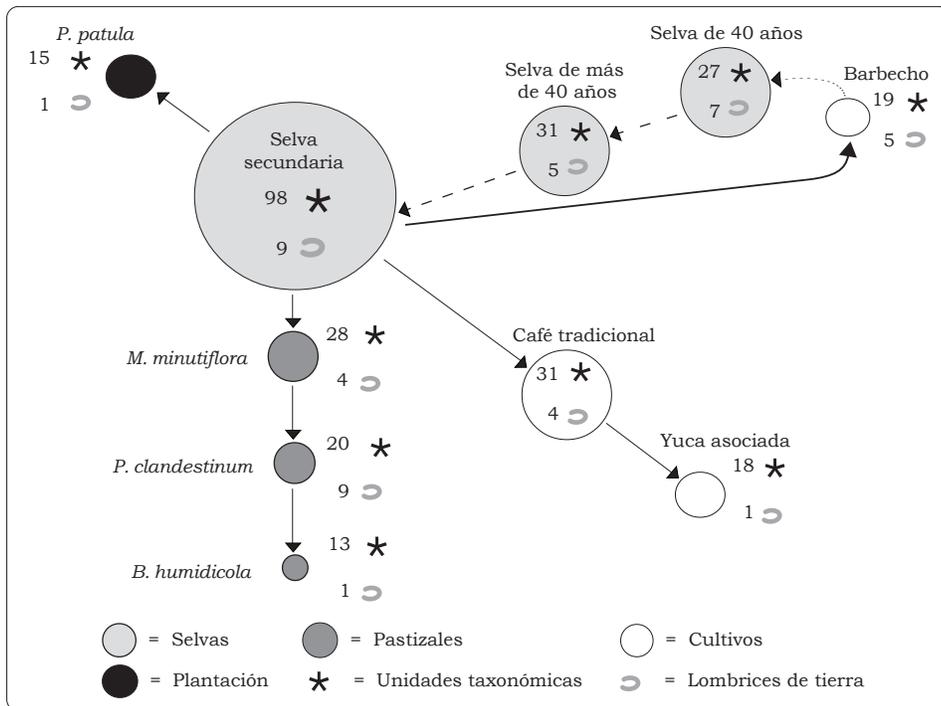


Figura 3-2. Unidades taxonómicas de la macrofauna del suelo y riqueza específica de lombrices en 10 tipos de uso de la tierra.

Perú (Lavelle y Pashanasi 1989) y de la estación Carimagua, en Colombia (Decaëns et al. 1994).

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento más sincero a los siguientes científicos: Dr. Heimar Quintero, Universidad Nacional de Colombia; Rosa Aldana, Universidad del Valle, Colombia; Luis C. Pardo, INCIVA, Colombia; y Juan José Jiménez, Universidad Complutense, Madrid. Nuestro reconocimiento especial a Manuel Antonio Trujillo, granjero de la región, quien fue nuestro compañero diario durante todo el estudio.

Referencias

- Anderson JM; Flanagan PW. 1989. Biological processes regulating organic matter dynamics in tropical soils. En: Coleman DC; Oades JM; Uehara G, eds. Dynamics of soil organic matter in tropical ecosystems. University of Hawaii Press, Honolulu, Hawaii.
- Anderson J; Ingram J. eds. 1993. Tropical soil biology and fertility. A handbook of methods, 2a. ed. CAB International, Wallingford, Reino Unido. 221 p.
- Collins NM. 1980. The distribution of soil macrofauna of the west Ridge of Gunung (Mount) Mulu, Sarawak. Oecologia 44:263-275.
- Decaëns T; Lavelle P; Jiménez JJ; Escobar G; Rippstein G. 1994. Impact of land management in the Oriental Llanos of Colombia. Eur J Soil Biol 30(4):157-168.

Cuadro 3-2. Densidad (individuos/m²) y biomasa (g/m²) de la macrofauna del suelo y de las lombrices obtenidas en diferentes localidades.

Sitio	Tipo de vegetación	Macrofauna		Lombrices		Referencia
		Biomasa	Densidad	Biomasa	Densidad	
Colombia	Selva secundaria	98.6	6790	12.3	210	Este estudio
Colombia	Selva de galería	13.6	4294	4.7	251	Decaëns et al. 1994
Colombia	Cultivo tradicional de café	115.7	3352	92	498	Este estudio
Colombia	Yuca asociada	78.9	1187	63.8	637	Este estudio
México	Selva húmeda tropical	16.4-18.9	888-3011	9.8-10.7	8-132	Lavelle et al. 1984
Perú	Selva húmeda tropical	24.1-53.9	4099-4303	11.9-28.2	85-120	Lavelle et al. 1989
Sarawak	Selva húmeda tropical	2.4-6.8	663-2579	0.4-1	24-42	Collins 1980
Colombia	<i>P. clandestinum</i>	67.9	2507	56.6	438	Este estudio
Colombia	Sabana	15.3	1830	4.8	157	Decaëns et al. 1994
Colombia	<i>Pinus patula</i>	3.2	870	0.13	29	Este estudio
Colombia	Pastizal tradicional	8-16.8	698-2029	4.5-13.8	32-192	Decaëns et al. 1994
Perú	Pastizal tradicional	82.3-121.2	1768-2347	78-116.4	474-573	Lavelle et al. 1989
Colombia	Pastizal introducido	28.8-62.5	1541-2267	22.9-51.1	139-213	Decaëns et al. 1994
Perú	Pastizal introducido	110.9-159.2	922-1546	103.2-153	546-740	Lavelle et al. 1989
México	Pastizal introducido	-	-	35.8-55.5	620-948	Lavelle et al. 1981
Colombia	<i>B. humidicola</i>	73.4	1965	57.2	363	Este estudio
Colombia	Monocultivo anual	3.2-4.3	429-592	0.5-2.3	18-27	Decaëns et al. 1994
Perú	Monocultivo anual	3.1	730	1.5	14	Lavelle et al. 1989

- Lavelle P. 1981. Stratégies de reproduction chez les vers de terre. *Acta Oecol* 2:117-133.
- Lavelle P; Kohlman B. 1984. Étude quantitative de la macrofaune du sol dans un forêt tropicale du Mexique (Bonampak, Chiapas). *Pedobiologia* 27:377-393.
- Lavelle P; Pashanasi B. 1989. Soil macrofauna and land management in Peruvian Amazonia (Yurimaguas, Loreto). *Pedobiologia* 33:283-291.
- Lavelle P; Blanchart E; Martin A; Spain AV; Martin S. 1992. The impact of soil fauna on the properties of soils in the humid tropics. En: Lal R; Sánchez P, eds. *Myths and science of soil of the tropics*. Special Publication No. 29. Soil Science Society of America, Washington DC.
- Lavelle P; Dangerfield M; Fragoso C; Eschenbrenner V; López-Hernández D; Pashanasi B; Brussaard L. 1994. The relationship between soil macrofauna and tropical soil fertility. En: Woomer PL; Swift MJ, eds. *The biological management of tropical soil fertility*. John Wiley & Sons, Chichester, Reino Unido. p 137-169.
- Madge DS. 1969. Field and laboratory studies on the activities of two species of tropical earthworms. *Pedobiologia* 9:119-129.