

# EFECTO DE LA LABRANZA SOBRE MACROINVERTEBRADOS DEL SUELO EN VERTISOLES DE UN ÁREA DE COLOMBIA

## Effect of Tillage on Soil Macroinvertebrates in Vertisols in an Area of Colombia

Elida Patricia Marín V.<sup>1</sup> y Alexander Feijoo M.<sup>2‡</sup>

### RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de diferentes usos del suelo sobre la estructura de las comunidades de macroinvertebrados y algunas variables físicas y químicas. Se trabajó en un Vertisol (Serie Ceiba, Entic Udic Haplusterts) labrado de Palmira, Valle del Cauca, Colombia, con cinco tratamientos (labranza convencional, labranza con mulch tiller, cincel vibratorio, siembra directa y una plantación de cacao) cultivados con rotación de cuatro años de algodón (*Gossypium barbadense*), soya (*Glycine max* L.) y maíz (*Zea mays*), con aplicaciones de insumos químicos y una plantación de cacao. Este último se utilizó como patrón de referencia, debido a que el suelo no se ha labrado en más de 25 años y se ha permitido el crecimiento de árboles para sombrío. Para realizar este estudio, se cavaron monolitos de 0.25 x 0.25 m de área x 0.30 m de profundidad. En el análisis de componentes principales (ACP), los tres primeros componentes explicaron 90% de la varianza total de la abundancia de las comunidades de macroinvertebrados. En la plantación de cacao se presentó la más alta riqueza de especies (54 unidades taxonómicas), mientras que en el tratamiento con mulch tiller se encontró alta densidad de macroinvertebrados [1952 individuos m<sup>-2</sup> (ind. m<sup>-2</sup>)] y en el de siembra directa alta biomasa [87 g peso fresco m<sup>-2</sup> (g p.f. m<sup>-2</sup>)]. Las hormigas, los diplopodos y las lombrices presentaron densidades altas (656 ± 448; 240 ± 128 y 128 ± 80 ind. m<sup>-2</sup>, respectivamente), mientras que en biomasa las contribuciones más altas fueron las de lombrices y los coleópteros (larvas + adultos), con 36.8 ± 27.2 y 4.3 ± 5.1 g m<sup>-2</sup>, respectivamente. Este estudio demostró que la labranza influye en la modificación de la estructura y composición de los suelos, hecho que incide en la variación de algunas variables biológicas, físicas y

químicas. La labranza afecta más a las especies nativas y en aquellos ambientes donde se introduce predomina la fauna depredadora, la cual interactúa más en usos con mayor densidad aparente y menor humedad del suelo.

**Palabras clave:** uso de la tierra, macrofauna del suelo, sistemas de labranza, biodiversidad del suelo.

### SUMMARY

The objective of this study was to evaluate the effect of different uses of soil on the structure of macroinvertebrate communities and on some physical and chemical parameters. The study was conducted on a tilled Vertisol (Serie Ceiba, Entic Udic Haplusterts), located at Palmira, Cauca Valley, Colombia, under five tillage systems (conventional-till, mulch tiller, chisel plow, direct seeding, and cocoa plantation) with a four-year rotation: cotton (*Gossypium barbadense*), soy beans (*Glycine max* L.), and maize (*Zea mays*) with application of chemical inputs, and a cocoa plantation. The latter was used as a reference since it had been undisturbed for 25 years and the growth of shade trees was permitted. For this study monoliths of 0.25 x 0.25 m and 0.30 m deep were dug. A principal component analysis (PCA) showed that three main factors explained 90% of the total variance in the macrofauna communities. Soil under cocoa plantation showed the highest values of biodiversity (54 taxonomic units), while the mulch tilled treatment showed the highest macroinvertebrate density [1952 individuals m<sup>-2</sup> (ind. m<sup>-2</sup>)] and direct-seeding had the highest biomass value (87 g dry weight m<sup>-2</sup>). Ants, myriapods, and earthworms exhibited the highest population densities (656 ± 448; 240 ± 128 and 128 ± 80 ind. m<sup>-2</sup>, respectively), while the greatest contributions to biomass were earthworms and beetles (larvae + adults), with 36.8 ± 27.2 and 4.3 ± 5.1 g m<sup>-2</sup>, respectively. This study demonstrated that tillage had a greater effect on the macroinvertebrate community than the other soil parameters. Tillage variation most affected native species, and in those environments where it is introduced,

<sup>1</sup> Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. A.A. 237.

<sup>2</sup> Universidad Tecnológica de Pereira. A.A. 097, Pereira, Colombia.

‡ Autor responsable (afeijoo@utp.edu.co)

predatory fauna predominates, interacting more in uses where bulk density was higher and soil moisture was lower.

**Index words:** *land use, macrofauna, tillage systems, biodiversity.*

## INTRODUCCIÓN

Los organismos del suelo están compuestos por numerosas especies e individuos que ocupan un amplio rango de nichos ecológicos y son buenos representantes del sistema suelo (Cassagne *et al.*, 2003; Cadet *et al.*, 2005). En recientes trabajos se demostró que el uso de arados, rastrillos o discos en la preparación de los campos de cultivo deteriora las propiedades físicas, químicas y biológicas (Lal, 1998). Aunque se ha reconocido que la introducción de la labranza mecanizada es uno de los factores perturbadores de la vida del suelo (Bengtsson, 2002), persisten interrogantes acerca de la respuesta de los organismos del suelo de la forma de ocurrencia de la recuperación al estrés. Brussard y Ferrera (1997) plantean que la labranza reducida permite regenerar y mantener la estructura del suelo, aportar a la planta cantidades suficientes de alimento en el tiempo y ayudar a prevenir o suprimir plagas y enfermedades.

Los macroinvertebrados, animales visibles a la vista (diámetro > 2 mm o longitud > 10 mm) que desarrollan por lo menos parte del ciclo de vida en el suelo o mantillo, son importantes en los procesos que ocurren en éste, en la vida de otras comunidades y en el mantenimiento de la fertilidad y estructura de los suelos (Lavelle y Spain, 2001). Aún son incipientes los trabajos que demuestran la importancia de ellos para monitorear la calidad del suelo y medir el impacto que ocasionan las prácticas de manejo de los cultivos sobre la estructura (House y Parmelee, 1985; Filser *et al.*, 1995; Pankhurst *et al.*, 1995; Blair *et al.*, 1996; Paoletti *et al.*, 1998; Feijoo *et al.*, 1999, 2005; Decaens *et al.*, 2001; Langmaack *et al.*, 2002). Al respecto, Linden *et al.* (1994) consideran que la diversidad, abundancia y biomasa son valiosos indicadores de los procesos de degradación que tienen lugar en los suelos agrícolas, debido a que las prácticas de manejo son la principal fuente de estrés y perturbación que provoca cambios en la estructura y función de las comunidades.

El presente estudio fue parte del proyecto de investigación "Labranza de conservación para un sistema de rotación algodón-soya en el Valle del Cauca", de

la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria "CORPOICA". El artículo registra el efecto de la labranza sobre las comunidades de macroinvertebrados y propone la interacción con otras variables del suelo para fortalecer el análisis en cinco usos del suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en el Centro de Investigaciones de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria "CORPOICA", municipio de Palmira, departamento del Valle del Cauca, Colombia; localizado a 76° 19' O 3° 31' N, a una altitud de 1008 m; precipitación anual de 1014 mm, temperatura promedio de 24 °C, humedad relativa 75% y brillo solar de 5.8 h d<sup>-1</sup>.

Los muestreos se realizaron en cinco tratamientos: una plantación (*Theobroma cacao*), utilizada como patrón de comparación donde no se habían realizado ninguna práctica cultural (labranza, aplicación de agroquímicos o fertilizantes) durante más de 25 años, y cuatro métodos de labranza del suelo (convencional, labranza con mulch tiller, cincel vibratorio y siembra directa). La siembra directa se caracteriza por la ausencia de labranza y plantación directa en el sitio a cultivar, mientras que en la labranza convencional se utilizaron dos pases de rastra con dos pases de rastrillo pulidor para dejar el suelo suelto y en forma de polvo. Los usos con labranza provienen de una rotación de cuatro años de cultivos de algodón-soya y en un quinto año algodón-maíz (Cuadro 1) y se caracterizaron por la homogeneidad y predominio de especies de arvenses, como *Ageratum conyzoides*, *Amaranthus dubius*, *Anoda acerifolia*, *Bidens pilosa*, *Cenchrus echinatus*, *Commelina difusa*, *Cynodon dactylon*, *Cyperus rotundus*, *Chloris polydactyla*, *Desmodium* sp., *Digitaria sanguinalis*, *Echinochloa colonum*, *Emilia sonchifolia*, *Euforbia graminis*, *Euforbia hirta*, *Gossypium hirsutum*, *Ipomoea hederifolia*, *Ixophorus unicus*, *Lagascea mollis*, *Leptochloa filiformis*, *Phyllanthus niruri*, *Portulaca oleracea*, *Sida rhombifolia*, *Siegesbeckia jorullensis*, *Solanum* sp., *Spilanthus* sp. y *Synedrella nodiflora*. La plantación de cacao es un sitio que no se ha intervenido con operaciones de labranza, presenta una cobertura vegetal estratificada y abundante hojarasca que protege la superficie del suelo y en ella predominan *Theobroma cacao*, *Samanea saman*, *Phitecelobium dulce*, *Inga edulis*, *Synedrella nodiflora*, *Merremia umbellata*,

**Cuadro 1. Distribución de los tratamientos de acuerdo con los métodos de labranza y uso del suelo.**

| Tratamiento                      | Labranza preliminar | Labranza primaria   | Labranza secundaria                                | Siembra                           | Prácticas de manejo  |
|----------------------------------|---------------------|---|--|-----------------------------------|--|
| Sitio 1<br>Labranza convencional | Guadaña             | 1 pase con arado de discos, a una profundidad de 18 a 20 cm   | 2 pases de rastra<br>2 pases de rastrillo pulidor. |                                   | <b>Fertilización<sup>†</sup></b><br>Urea (300 kg ha <sup>-1</sup> ), DAP y KCl (100 kg), BoroGram (15 kg ha <sup>-1</sup> ), Microzinc (4 kg ha <sup>-1</sup> )          |
| Sitio 2<br>Mulch tiller          |                     | 2 pases de mulch tiller, a una profundidad de 22 cm           | 2 pases de cultivadora de campo                    | Con sembradora de siembra directa | <b>Control de malezas y plagas<sup>‡</sup></b><br><b>Herbicidas</b>  |
| Sitio 3<br>Cinzel vibratorio     | Desbrozadora        | 2 pases de cinzel vibratorio, a una profundidad de 27 a 30 cm |  |                                   | Aniquilamina (1 L ha <sup>-1</sup> )<br><b>Plaguicidas:</b><br>Lorsban (1 kg ha <sup>-1</sup> ), Thiodan (1.2 L ha <sup>-1</sup> ) y Malathion (1.8 L ha <sup>-1</sup> ) |
| Sitio 4<br>Siembra directa       |                     | -   | -  |                                   | <b>Control biológico<sup>§</sup></b><br><i>Tichogramma</i> sp.<br>(500 pulgadas ha <sup>-1</sup> )   |

<sup>†</sup> Aplicación de enmiendas al inicio del cultivo; <sup>‡</sup> Control de especies arvenses; <sup>§</sup> Liberación de huevos para el control de lepidopteros.

*Phyllanthus niruri*, *Cordia polycephala*, *Lacisis sorghoidea*, *Justicia cumata*, *Momordica charantia*, *Rivina humilis*, *Lacisis lafoidea*, *Casearia* sp., *Laporteia aestuans*, *Centrum nocturno*, *Indigofera* sp., *Talinum paniculatum*, *Sida rhombifolia*, *Petiveria alliacea*, *Capsicum frutescens*, *Amaranthus dubius* y *Panicum maximum*.

Los suelos se clasificaron como serie Ceiba (Entic Udic Haplusterts), caracterizados por alta capacidad de intercambio catiónico (CIC), debido al tipo de arcillas 2:1 y la escasa precipitación, y desarrollados a partir de materiales aluviales de texturas medias y finas, con reacciones que varían de ligeramente ácidas a neutras en la primera capa y ligeramente alcalinas en el subsuelo.

### Método de Muestreo de los Macroinvertebrados

El diseño experimental fue de parcelas divididas en 1 ha con tres repeticiones por tratamiento y cuatro muestreos por repetición. Se utilizó como fuentes de variación, para la parcela principal, el efecto del uso del suelo, repetición, profundidad y la interacción sistema por profundidad; para la subparcela, el efecto de la época y las interacciones época por sistema, época por profundidad y época por sistema por profundidad. La recolección de las muestras se hizo al azar y en forma

de M invertida, tomando 12 puntos de muestreo por tratamiento.

El método que se empleó para la extracción de los macroinvertebrados fue el recomendado por el Programa de Biología y Fertilidad del Suelo Tropical, BFST (TSBF) (Anderson e Ingram, 1993). Los muestreos se realizaron en 12 monolitos de 0.25 x 0.25 m de área x 0.30 m de profundidad, a cinco profundidades (hojarasca, 0-5, 5-10, 10-20 y 20-30 cm) durante seis semanas, en época de lluvias, y después de finalizar éstas.

Los macroinvertebrados se agruparon en Formicidae (hormigas), Myriapoda, Coleoptera, lombrices y otros, se cuantificó la abundancia (individuos 0.0625 m<sup>-2</sup> x 30 cm de profundidad), la biomasa (g p.f. 0.0625 m<sup>-2</sup> x 30 cm de profundidad) y se estimó la riqueza específica o se agrupó a los individuos en orden, familia, género o especie (número de unidades taxonómicas, UT) de acuerdo con el conocimiento de los autores. Los artrópodos se conservaron en alcohol a 70% y las lombrices en formaldehído a 5%. Además, se midieron algunas variables físico-químicas, como humedad del suelo, densidad aparente, materia orgánica (MO) (método colorimétrico), carbono (% materia orgánica / 1.724), nitrógeno (método Kjeldahl) y calcio (con una solución extractora de acetato de amonio 1.0 N y absorción atómica).

## Análisis de la Información

Se realizó un análisis de componentes principales (ACP) para abundancia y biomasa de los 15 grupos de macroinvertebrados y cinco usos del suelo. Además, se hizo un análisis de agrupamiento para los macroinvertebrados y características del suelo. Para el ACP se empleó el paquete estadístico SAS, Versión 6.10 (SAS Institute, 1993), y para el análisis de agrupamiento el paquete estadístico SPAD, Versión 3.21 (SPAD, 1997). Se hizo un análisis de varianza para las variables humedad, densidad aparente del suelo, MO, C, N y Ca entre tratamientos con relación a la profundidad y época de muestreo, utilizando un nivel de significancia de 10%, debido al tamaño de las muestras y a la falta de un control de las condiciones ambientales, y se realizó la prueba de comparación de promedios Duncan. Los análisis se realizaron con el programa estadístico SAS Versión 6.10 (SAS Institute, 1993). También se realizó un análisis de correlación entre la abundancia y biomasa de la macrofauna y las características físicas y químicas del suelo, utilizando el coeficiente de correlación poblacional de Pearson (Murray, 1992).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Comunidades de Macroinvertebrados en los Usos del Suelo

En el análisis de componentes principales (ACP) para la abundancia resultaron tres factores que explicaron 90% de la varianza total (Cuadro 2; Figura 1). El Factor 1 (44%) presentó alta abundancia de Araneae, Coleoptera, Lepidoptera y lombrices (*Pontoscolex corethrurus*, *Polypheretima elongata*, *Amyntas gracilis* y *Dichogaster annae*) pero baja en Myriapoda, Dermaptera y Blattaria; se describió como suelo no labrado con presencia de cobertura de residuos vegetales sobre la superficie, característico del cacaotal. El Factor 2 (26%) se caracterizó por tener menor diversidad y abundancia de macroinvertebrados, con alta densidad de Gasteropoda, Orthoptera, Diptera, Myriapoda y bajas densidades de población de lombrices y hormigas, el cual se asoció con los sistemas de labranza con la mayor alteración del suelo. El Factor 3 (20.9%) se aisló como componente alto en Blattaria, Isopoda, Hemiptera, Formicidae (hormigas) y Dermaptera y baja ocurrencia de Lepidoptera; se interpretó como suelos con sistemas de labranza cero y reducida mulch tiller que presentaron

menor diversidad pero mayor abundancia de macroinvertebrados.

En la biomasa se diferenciaron tres factores que explicaron 90% de la varianza total de macroinvertebrados (Cuadro 3; Figura 2). El Factor 1 (38%) estuvo ligado a los grupos con mayor ocurrencia en la hojarasca y en los primeros centímetros del suelo, con baja contribución a la biomasa (Hymenoptera, Gasteropoda, Lepidoptera, Hemiptera y Blattaria). El Factor 2 (29.2%) se relacionó con grupos epigeos depredadores que viven en los primeros 10 cm del suelo, como Araneae, Formicidae (hormigas), Myriapoda, Coleoptera y otros, pero con mayor aporte en biomasa, mientras que el Factor 3 (22.7) incluyó grupos que habitan el suelo después de 10 cm de profundidad (endogeos), mayor tamaño y biomasa superior a los dos componentes anteriores (lombrices, hormigas y algunos géneros de Coleoptera).

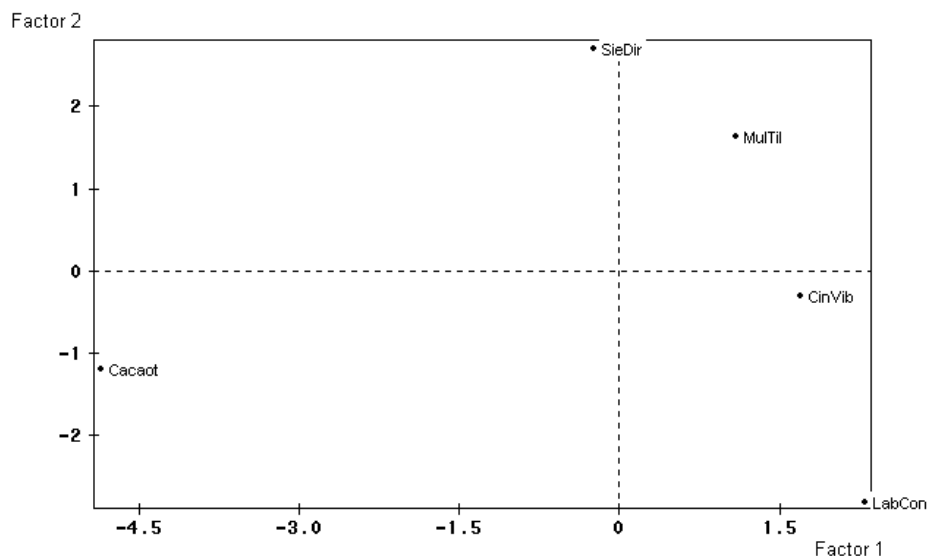
El peso de las lombrices afectó fuertemente la interacción sistema por profundidad ( $P < 0.05$ ) y para la subparcela el efecto de la época ( $P < 0.0001$ ) y las interacciones época por sistema ( $P < 0.05$ ) y la interacción época por sistema por profundidad ( $P < 0.05$ ).

**Cuadro 2. Principales correlaciones extraídas con el análisis de componentes principales para la abundancia de macroinvertebrados de cinco usos del suelo de Palmira, Colombia.**

| Unidades taxonómicas   | Factor 1 | Factor 2 | Factor 3 |
|------------------------|----------|----------|----------|
|                        | 44%      | 26%      | 20.9%    |
| Lombrices              | 0.31     | -0.26    | 0.02     |
| Formicidae (hormigas)  | 0.13     | -0.33    | 0.37     |
| Myriapoda              | -0.26    | 0.27     | 0.20     |
| Coleoptera             | 0.36     | 0.14     | 0.08     |
| Isopoda                | 0.12     | -0.07    | 0.45     |
| Lepidoptera            | 0.32     | -0.12    | -0.22    |
| Dermaptera             | -0.28    | 0        | 0.21     |
| Diptera                | 0.29     | 0.33     | -0.04    |
| Araneae                | 0.38     | -0.01    | 0.10     |
| Gastropoda             | -0.02    | 0.46     | 0.07     |
| Blattaria              | -0.19    | -0.09    | 0.46     |
| Orthoptera             | -0.03    | 0.35     | 0.29     |
| Hymenoptera            | -0.05    | -0.45    | 0.15     |
| Hemiptera <sup>†</sup> | 0.26     | 0.13     | 0.38     |
| Otros                  | 0.37     | 0.13     | 0.06     |

Factor 1 = suelo no labrado con presencia de residuos vegetales superficiales; Factor 2 = sistemas de labranza con mayor alteración del suelo; Factor 3 = suelos con sistema de labranza cero y reducida.

<sup>†</sup> Excepto la familia Formicidae.



**Figura 1.** Localización de los sitios con relación a los dos primeros factores extraídos por el análisis de componentes principales para la variable abundancia, el cual incluye el peso de los Factores 1 (44%) y 2 (26%), localización de los usos del suelo, de acuerdo con la correlación y posición y relación con los factores. Factor 1 = suelo no labrado con presencia de residuos vegetales superficiales; Factor 2 = sistemas de labranza con mayor alteración del suelo; Factor 3 = suelos con sistema de labranza cero y reducida.

**Cuadro 3.** Principales correlaciones entre los macroinvertebrados de cinco tipos de uso del suelo y los factores extraídos por el análisis de componentes principales para la biomasa.

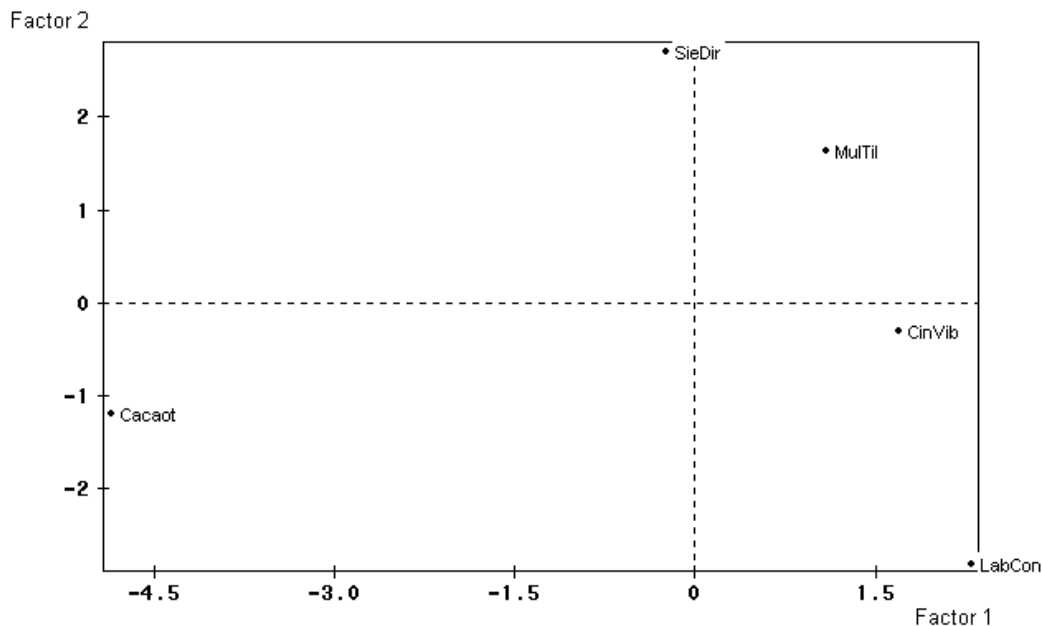
| Unidades taxonómicas   | Factor 1 | Factor 2 | Factor 3 |
|------------------------|----------|----------|----------|
|                        | 38%      | 29%      | 23%      |
| Lombrices              | 0.16     | 0.26     | 0.38     |
| Formicidae (hormigas)  | 0.03     | 0.42     | 0.24     |
| Myriapoda              | -0.23    | 0.30     | 0.28     |
| Coleoptera             | -0.23    | -0.26    | 0.12     |
| Isopoda                | 0.19     | 0.04     | 0.47     |
| Lepidoptera            | 0.36     | -0.10    | -0.10    |
| Dermaptera             | 0.24     | -0.22    | 0.38     |
| Diptera                | -0.24    | -0.25    | 0.11     |
| Araneae                | 0.06     | 0.46     | 0.18     |
| Gastropoda             | -0.40    | -0.15    | 0.10     |
| Blattaria              | 0.33     | -0.90    | 0.34     |
| Orthoptera             | 0.00     | 0.00     | 0.00     |
| Hymenoptera            | 0.42     | -0.40    | 0.05     |
| Hemiptera <sup>†</sup> | 0.33     | -0.06    | 0.34     |
| Otros                  | -0.11    | 0.46     | 0.11     |

Factor 1 = suelo no labrado con presencia de residuos vegetales superficiales; Factor 2 = sistemas de labranza con mayor alteración del suelo; Factor 3 = suelos con sistema de labranza cero y reducida.

<sup>†</sup> Excepto la familia Formicidae.

Esta variable fue sensible a los cambios en los tratamientos y demostró que la variable puede tener más peso que la abundancia, debido al significado con relación a la actividad de los organismos, hecho que se había demostrado en otro trabajo (Feijoo, 2001).

El uso de análisis de componentes principales permitió separar ambientes con características diferentes y posibilitó la comparación de suelos con manejo intensivo *versus* sitios con métodos agrícolas tendientes a mantener la productividad y fortalecer la conservación. En el caso de las variables abundancia y biomasa se pudo observar que los Factores 1 y 3 mostraron usos con mayores valores y claras tendencias de recuperación del ambiente por la aparición de coberturas superficiales, rotaciones o presencia de árboles que posibilitan el sombrío, como en el caso del cacaotal. También se pudo observar estas tendencias en la composición de las comunidades del suelo, de acuerdo con el manejo, lo cual podría tener implicaciones de gran valor para el uso por parte de los agricultores, pues adiciona otras herramientas de análisis para evaluar la condición de los suelos. En este caso no sólo se permitió separar agroecosistemas, como lo hicieron Feijoo *et al.* (1999) y Frago *et al.* (1999), sino que diferenció métodos de labranza, lo cual demuestra la alta sensibilidad de las opciones para evaluar sostenibilidad de agroecosistemas.



**Figura 2. Localización de los sitios con relación a los dos primeros factores extraídos por el análisis de componentes principales para la variable biomasa, el cual incluye el peso de los Factores 1 (38%) y 2 (29.2), localización de los usos del suelo de acuerdo con la correlación y posición y relación con los factores.** Factor 1 = suelo no labrado con presencia de residuos vegetales superficiales; Factor 2 = sistemas de labranza con mayor alteración del suelo; Factor 3 = suelos con sistema de labranza cero y reducida.

El cacaotal fue el sitio que presentó la más alta riqueza de unidades taxonómicas (UT) (54), la cual se atribuyó a la menor alteración del suelo, presencia de vegetación multiestrata y a la mayor cantidad de residuos vegetales que cubren la superficie del suelo que brindan protección, fuente de alimento a diversos macro-invertebrados; además, ofrece mejores condiciones químicas y físicas, como menor densidad del suelo y humedad más constante a través del tiempo, así como mayor MO, C, N y Ca. Estos elementos son primordiales para la presencia de los organismos en el suelo y su ausencia se ha discutido y correlacionado con la perturbación (Giller *et al.*, 1997; Lavelle y Spain, 2001; Curry *et al.*, 2002). Esta mayor riqueza taxonómica estuvo representada por los grupos Hymenoptera y Formicidae, con el mayor número de géneros comparados con los otros sitios (*Solenopsis* sp., *Pheidole* sp., *Hypoconera* sp., *Paratrechina* sp., algunos de ellos sólo se encontraron en este sitio como *Atta* sp., *Cyphomyrmex* sp., *Acanthonathus* sp., *Wasmania* sp. y *Linepithema* sp.), Coleoptera (familias: *Elateridae* y *Ptilodactylidae* presentes sólo en este lugar, *Cicindellidae*, *Scarabaeidae*, *Tenebrionidae* y *Curculionidae*, presentes en otros tratamientos) y

los órdenes Chilopoda (Geophilomorpha y Scolopendromorpha, familia Criptopidae), Diplopoda (Polixenida, Spirobolida y Polidesmida con las familias: Chelodesmidae y Pyrgodesmidae) y los sinfílidos. Este valor fue superior en biodiversidad a los encontrados para otros sitios; por ejemplo, Lavelle y Pashanasi (1989), en barbechos de leguminosas asociado con *Bactris* sp. encontraron 32 UT, mientras que Feijoo *et al.* (1999), en suelos con barbecho dominado por helechos y otras especies vegetales, encontraron 19.

Lo anterior demuestra que es posible, mediante el uso de la herramienta propuesta en el presente trabajo, evaluar ambientes con características contrastantes y proponer algunos elementos que contribuyan al diseño de agroecosistemas, teniendo en cuenta la vida del suelo, como indicadores o señales de cambio regenerativo o de degradación y que tengan como fin el mantenimiento de la producción de fibra y alimentos y la conservación de la biodiversidad. Sin embargo, sería importante conjugar los elementos aquí propuestos para generar herramientas de análisis amigables para los agricultores y criadores que permitan tomar decisiones que impliquen un menor costo de los análisis de la información y la participación activa de ellos en los procesos para hibridar el saber popular con el conocimiento científico.

Los demás tratamientos presentaron un valor de biodiversidad similar: 29, 32, 34 y 36 UT en mulch tiller, cincel vibratorio, labranza convencional y siembra directa, respectivamente; disminución que en labranza convencional y cincel vibratorio se atribuyó al severo y repetido estrés que tienen estos sistemas sobre las comunidades de macroinvertebrados y por la degradación mecánica del suelo. El suelo bajo siembra directa presentó mayor riqueza de especies por ser un sitio sin roturar por más de cuatro años y esto se reflejó en el mayor número de especies de lombrices (*P. corethrurus*, *P. elongata* y *A. gracilis*), mientras que en los otros usos sólo hubo una (*P. corethrurus*). Este hallazgo confirma que las lombrices de tierra son uno de los mejores indicadores en sistemas de labranza para comparar sitios con alta perturbación (labranza convencional y uso de agroquímicos) y regeneración natural o inducida con pocos años de transformación en el uso. Esto coincide con otros estudios realizados en Estados Unidos (Parmelee *et al.*, 1990), Australia (Buckerfield, 1992) y Canadá (Clapperton, 1999), donde se encontraron patrones consistentes con el tipo y el tiempo de labranza en el uso del suelo.

Otro aspecto importante a destacar es que en los suelos cultivados, independiente del sistema de labranza que se practique, predominaron los depredadores (coleópteros, *Megacephala sobrina Dejeani*; hormigas, *Baciseros* sp., *Solenopsis* sp., *Cardiocondyla* sp., *Pheidole* sp., *Hypoconera* sp. y *Paratrechina* sp.; y arañas, Theriidae), mientras que

el cacaotal, por ser un sitio que ofrece mayores fuentes alimentarias y mejores condiciones ambientales, pudo albergar macroinvertebrados con diferentes hábitos alimenticios. Esto podría estar relacionado con ambientes de paso que utilizan los depredadores para migrar de un sitio a otro o medios de refugio o dominio sobre otras especies.

El cacaotal fue el único sitio que presentó alta riqueza taxonómica a nivel del mantillo, con 27 UT, comparado con 5, 10, 6 y 8 UT encontradas en esta misma profundidad en labranza convencional, mulch tiller, siembra directa y cincel vibratorio, respectivamente, los cuales se caracterizaron por presentar una menor cobertura vegetal.

En las hormigas se encontraron 14 géneros, algunos específicos para cada sitio, como las cultivadoras de los géneros *Atta* sp., *Cyphomyrmex* sp., *Wasmania* sp. y *Linepithema* sp.; y un género depredador, (*Acanthonagthus* sp.) que sólo se encontró en el cacaotal. Otros, como *Baciseros* sp., *Solenopsis* sp., *Cardiocondyla* sp., *Pheidole* sp., *Hypoconera* sp. y *Paratrechina* sp. se encontraron en los suelos cultivados. Las hormigas predominaron en abundancia (30 a 70%), mientras que su biomasa fue muy baja (de 0.5 a 5.5%). Los valores más altos se encontraron en mulch tiller (66% de la comunidad), seguido del cacaotal (54.6%) (Figura 3). Los tratamientos con labranza convencional y cincel vibratorio mostraron las menores densidades (13 y 16, 29 y 23%, respectivamente). Los mayores valores en biomasa los presentó la siembra

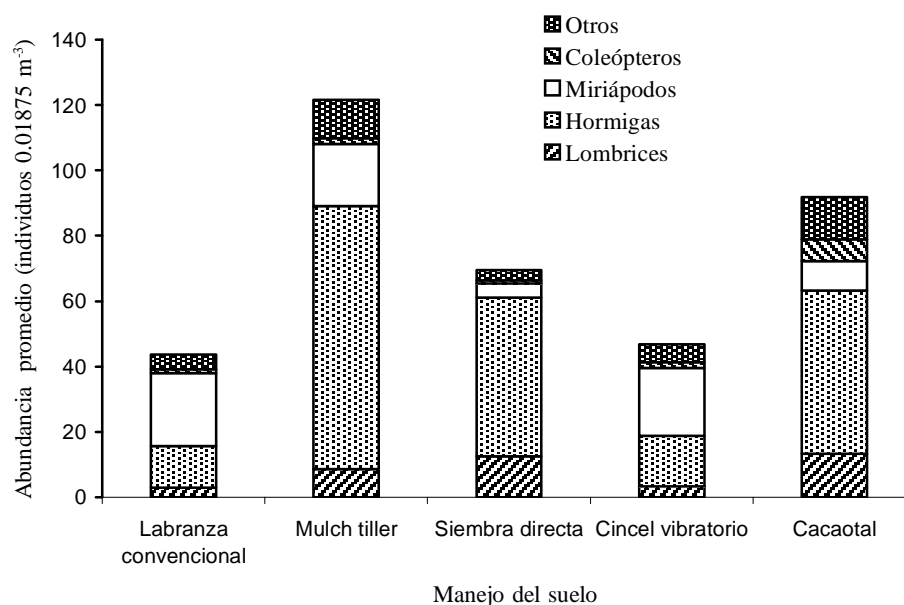


Figura 3. Abundancia de los macroinvertebrados en diferentes usos del suelo.

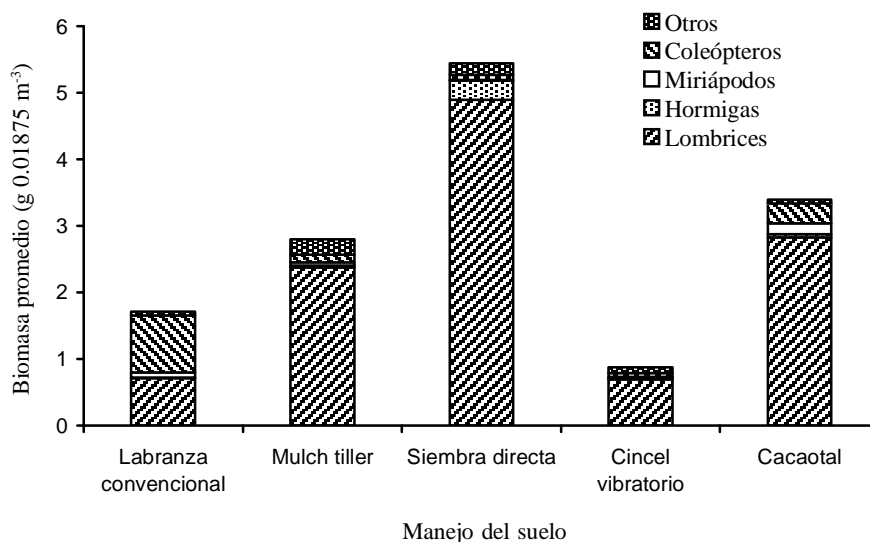


Figura 4. Biomasa de los macroinvertebrados en diferentes usos del suelo.

directa (0.3 g p.f. m<sup>2</sup> x 30 cm de profundidad), mientras que los otros tratamientos presentaron valores similares (0.05, 0.03, 0.01 y 0.01 g en cacaotal, mulch tiller, cincel vibratorio y labranza convencional, respectivamente) (Figura 4).

Las familias *Elateridae*, *Curculionidae* (subfamilia *Baridinae*), *Melolonthidae* (géneros *Cyclocephala* sp., *Plectris* sp., *Ceraspis* sp. y *Phylophaga* sp.) y la familia *Scarabaeidae* (*Canton mutabilis*, *Canton* sp. y *Ataenius* sp.) predominaron en el cacaotal. En suelos cultivados predominaron *Staphilinidae*, *Cicindelidae* (*Megacephala sobrina Dejeani*), *Tenebrionidae*, *Curculionidae* (*Baridiinae*) y *Melolonthidae* (*Leucothyreus* sp. y *Proturius* sp.).

En el grupo de las lombrices se encontraron cuatro géneros pertenecientes a tres familias: Glossoscolecidae (*P. corethrurus*), Megascolecidae (*P. elongata* y *A. gracilis*) y Octochaetidae (*D. annae*). Las lombrices predominaron en el cacaotal y en los tratamientos sin labranza (13 ind. 0.01875 m<sup>-3</sup> cada uno), representando 14.4 y 18.1% de la población, respectivamente, con aportes en biomasa de 2.8 y 4.9 g que representan 90 y 83.4% de la biomasa total. En el sistema con labranza mulch tiller se encontraron 9 ind. 0.0625 m<sup>-2</sup> que representan 7.1% de la población y supera a los tratamientos con labranza convencional y cincel vibratorio (3 ind. 0.0625 m<sup>-2</sup>, 6.9%). En el caso de la biomasa ocurrió algo similar (2.4, 0.7 y 0.7 g 0.0625 m<sup>-2</sup>, respectivamente, 84.8, 42.3 y 79.2%).

La conservación de la riqueza y estructura funcional de las comunidades de lombrices en agroecosistemas

está relacionada con la filogenia, el tipo de agroecosistema y las prácticas agrícolas (Fragoso *et al.*, 1999). Este estudio adiciona la necesidad de incluir, en los diseños o arreglos de los sistemas de cultivo, la presencia de relictos de selva, fragmentos conservados o barbechos que permitan la conservación de las especies nativas. Los usos del suelo estudiados se caracterizaron por la ausencia de especies nativas y el predominio de exóticas; esto indica que la fragmentación, 50 ó 100 años atrás, exterminó por completo la posibilidad de la conservación de pequeños parches que permitieran mantener o favorecer los patrones de colonización de las especies nativas. Por lo tanto, en estos sitios, el cambio en el uso sólo reflejó el aumento o la disminución de las especies exóticas, debido a la ausencia de ambientes que posibiliten la migración de especies de un relikto de selva hacia otro con agricultura regenerativa. Ha sido casi universal registrar la tendencia de las especies invasoras o exóticas como malas; algunos las sitúan como prioritarias para la erradicación (Brown, 1995). Sin embargo, el mismo autor argumenta que probablemente es inevitable el grado de crecimiento de las especies cosmopolitas dadas las magnitudes del movimiento humano y el incremento en las tasas de dispersión. Además, los cambios de hábitat causados por las actividades humanas tienden a favorecer el establecimiento de especies exóticas, en especial aquéllas con historia evolutiva estrechamente relacionada con humanos, a menudo a expensas de las nativas que tienen menos oportunidad para adaptarse a la influencia humana.



La disminución de la abundancia en los suelos con labranza coincidió con los resultados obtenidos por Decaens *et al.* (2001) en sistemas de cultivo de arroz con labranza y alta aplicación de insumos, en donde la densidad de macroinvertebrados (429 ind. m<sup>-2</sup>) y biomasa (3.23 g m<sup>-2</sup>) fue mucho menor que la encontrada en sitios no perturbados, como la selva, la cual presenta una densidad de población de 4293 ind. m<sup>-2</sup> y biomasa de 13.58 g m<sup>-2</sup>. También House y Parmelee (1985) presentaron resultados similares en el estudio comparativo de macroinvertebrados del suelo en sistemas de labranza convencional y no labranza, en donde encontraron que los sistemas de no labranza favorecen la presencia de mayor número de animales (119107 ind. m<sup>-2</sup>), a diferencia de lo que sucedió en los sistemas de labranza convencional (46004 ind. m<sup>-2</sup>). Estos mismos autores encontraron mayor número de lombrices en suelos sin labranza (1210 ind. m<sup>-2</sup>) que en suelo con labranza (191 ind. m<sup>-2</sup>). De igual manera, Decaens *et al.* (2001), en estudios realizados en Carimagua (Meta – Colombia), encontraron que los suelos no perturbados, como bosques de galería, presentaron las mayores poblaciones (4293 ind. m<sup>-2</sup>) que suelos bajo cultivo (429 ind. m<sup>-2</sup>). Dichos autores atribuyeron este resultado no sólo a las alteraciones provocadas por los sistemas de labranza, sino también al uso de fertilizantes y disminución de la MO, como resultado de que se destruyó la vegetación perenne. También investigadores como El Titi e Ipach (1989) y Parmelee *et al.* (1998) encontraron que la abundancia de los macroinvertebrados era de dos a seis veces mayor en suelos sin labranza que en suelos con labranza convencional.

Algunos investigadores, entre ellos Stork y Eggleton (1992), Pankhurst (1994), Benckiser (1997), Paoletti *et al.* (1998), Feijoo *et al.* (1999) y Paoletti (1999), haciendo uso de factores clave como número de especies, abundancia, biomasa y agrupamientos ecológicos, han señalado la importancia de la participación de los macroinvertebrados como indicadores de las diferentes transformaciones e impactos del medio causados por las prácticas agrícolas. Éstos consideran que el establecimiento de cultivos y monocultivos, la labranza convencional y el uso de plaguicidas son las principales actividades que reducen el número de especies de lombrices y su biomasa, razón por la cual se encuentra un número reducido de especies en estos suelos. Además, señalaron que las especies y los grupos de lombrices responden de manera diferente

a las prácticas agrícolas y las lombrices epigeas son las más afectadas. Según Paoletti *et al.* (1998), el comportamiento de las lombrices puede utilizarse como indicador de la calidad de la cubierta vegetal.

Otra de las razones de su posible disminución es explicada por Benckiser (1997), quien señala que las especies que habitan la superficie del suelo, aunque poseen características fisiológicas y morfológicas que les permiten reducir el riesgo de deshidratación, ven limitada la eficiencia de estos mecanismos en medios perturbados por la labranza, ya que la pérdida de los refugios que los protege de la desecación es de particular importancia para los macroinvertebrados que viven en la superficie del suelo (epigeos). Por el contrario, las especies que habitan las capas intermedias del suelo (endogeicas) viven en un medio más amortiguado y algunas pueden enriquecer considerablemente sus densidades de población, por la menor alteración de los estratos intermedios del suelo (10 a 50 cm de profundidad), mayor humedad, hábitos alimenticios (pues consumen suelo y no MO) y capacidad para soportar el impacto del volteo de los suelos. Aun así, en el momento de la labranza, muchos macroinvertebrados endógeos quedan expuestos a la acción directa de la luz solar y, como la mayoría de la fauna edáfica es antifototrópica, no les hace bien la luz, no encuentran donde refugiarse y mueren, porque en su estado despigmentado no soportan la insolación directa.

Igual comportamiento de los macroinvertebrados encontraron Lavelle y Pashanasi (1989) en diferentes sistemas de uso del suelo, donde los macroinvertebrados epígeos fueron los más afectados, mientras que en suelos cultivados la población epigea representó sólo 1.3% (9 ind. m<sup>-2</sup>) de la población total; en suelo no alterado por la labranza, la población epigea representó 12.7% (787 ind. m<sup>-2</sup>). Asimismo, House y Parmelee (1985) y Stinner y House (1990) encontraron que en sistemas bajo labranza intensiva se observa una marcada disminución de la fauna que habita los primeros centímetros del suelo, debido a la pérdida de recursos alimenticios, la exposición a altas temperaturas, la sequía excesiva y la reducción del contenido de agua.

### **Relaciones entre los Macroinvertebrados y algunas Características Físicas y Químicas del Suelo**

El cacaotal presentó los mayores valores de C (2.3 y 3.4%), N (0.14 y 0.21%) y Ca (13.8 y

**Cuadro 4. Contenidos de materia orgánica (MO), carbono, nitrógeno y calcio en el suelo bajo diferentes sistemas de uso.**

| Sitio                 | Profundidad (cm) |       |       |                                    |               |       |        |                                    |
|-----------------------|------------------|-------|-------|------------------------------------|---------------|-------|--------|------------------------------------|
|                       | 0 - 10           |       |       | 10 - 20                            |               |       |        |                                    |
|                       | MO               | C     | N     | Ca                                 | MO            | C     | N      | Ca                                 |
|                       | ----- % -----    |       |       | cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> | ----- % ----- |       |        | cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> |
| Labranza convencional | 3.8 a            | 2.2 a | 0.1 a | 11.9 a                             | 3.9 a         | 2.3 a | 0.12 a | 11.9 a                             |
| Mulch tiller          | 4.2 a            | 2.4 a | 0.1 a | 13.1 a                             | 3.9 a         | 2.2 a | 0.09 a | 13.5 a                             |
| Siembra directa       | 4.2 a            | 2.4 a | 0.1 a | 12.6 a                             | 4.1 a         | 2.4 a | 0.10 a | 12.5 a                             |
| Cinzel vibratorio     | 3.9 a            | 2.3 a | 0.1 a | 12.4 a                             | 3.7 a         | 2.2 a | 0.09 a | 12.9 a                             |
| Cacaotal              | 5.9 a            | 3.4 a | 0.2 b | 15.7 a                             | 3.9 a         | 2.3 a | 0.14 b | 13.8 a                             |

Valores con diferente letra son significativamente diferentes ( $P > 0.05$ ).

15.7 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup>), comparado con los demás usos del suelo. Sin embargo, sólo los contenidos de N presentaron diferencias significativas ( $P > 0.005$ ). Los valores de estas variables en los demás tratamientos oscilaron entre 2.2 y 2.4% para C, 0.1 y 0.11% en N y de 12.5 a 13.3 cmol<sub>c</sub> kg<sup>-1</sup> en Ca (Cuadro 4). La dinámica y las acumulaciones de MO son críticas: por su capacidad reguladora de la circulación de nutrimentos, mejoran la estructura de los suelos, y, por su papel biológico, las cadenas alimentarias; además, controla las interacciones entre los procesos del suelo y la producción de plantas, y explica el porqué ciertos sistemas de manejo del suelo mejoraron mientras que otros presentaron graves síntomas de degradación cuando el suelo apareció desprotegido. Éste es el caso del efecto que se observó en los usos con labranza convencional y cinzel vibratorio. Los bajos valores de C y N en los usos estudiados está asociado con la alta temperatura (24 °C, en promedio), la baja precipitación (1000 mm, en promedio), la alta mineralización y la rápida descomposición, mientras que los altos valores de Ca, con presencia de SO<sub>4</sub> como ion principal, son dominantes en la mayor parte de los suelos del Valle del Cauca, en el área plana, debido a la ausencia

de lavado de suelo, lo cual lleva a una sobresaturación de bases y, por lo tanto, el balance entre cationes y aniones está ligado al drenaje y la presión de CO<sub>2</sub> (Madero *et al.*, 2000).

La abundancia y biomasa de los macroinvertebrados del suelo no presentaron alta correlación con las variables evaluadas (humedad y densidad aparente del suelo, contenido de MO, C y N), sólo la abundancia presentó baja correlación significativa con los contenidos de Ca ( $P > 0.005$ ). Por el contrario, la correlación entre las variables físicas y químicas fue alta ( $P > 0.05$ ). Se encontró que a mayor densidad aparente del suelo se presentaba menor humedad, así como disminución de los contenidos de MO, N, C y Ca con correlación positiva altamente significativa ( $P > 0.001$ ).

El análisis de conglomerados aglutinó tres grupos, de acuerdo con los valores de abundancia de macroinvertebrados y algunas propiedades físicas y químicas de los suelos (Cuadro 5). El primer grupo aglutinó labranza convencional y cinzel vibratorio, con alta abundancia, baja biomasa, altos valores de densidad aparente y Ca, y baja MO y N. Este grupo separó los usos con mayor perturbación y efecto sobre la fauna,

**Cuadro 5. Componentes extraídos en el análisis de agrupamiento para la abundancia y biomasa promedio de macroinvertebrados y el promedio de algunas características del suelo.**

| Conglomerado | Uso del suelo                                | Abundancia   | Biomasa       | Da            | HV              | MO            | N               | C             | Calcio         |
|--------------|--|--------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|----------------|
|              |  |              |               |               |                 |               |                 |               |                |
| 1            | Labranza convencional<br>y cinzel vibratorio | 45<br>(1.62) | 1.27<br>(0.4) | 1.52<br>(0.4) | 17.33<br>(0.37) | 3.8<br>(0.13) | 0.11<br>(0.005) | 2.2<br>(0.58) | 12.4<br>(0.45) |
| 2            | Siembra directa<br>y mulch tiller            | 96<br>(26.1) | 4.1<br>(1.32) | 1.52<br>(0.4) | 17.7<br>(0.02)  | 4.1           | 0.11<br>(0.01)  | 2.4<br>(0.09) | 12.9<br>(0.05) |
| 3            | Cacaotal                                     | 92           | 3.4           | 1.43          | 23.2            | 5.3           | 0.18            | 3             | 15.2           |

Entre paréntesis ( ) la desviación estándar.

Abundancia = (individuos/ 0.062 m<sup>2</sup>); biomasa = (g peso fresco/ 0.062 m<sup>2</sup>); Da = densidad aparente; HV = humedad volumétrica; MO = materia orgánica.

debido a las condiciones críticas que mostró en el caso de algunas variables, como la densidad aparente y la humedad del suelo. En el segundo se unieron siembra directa y un mulch tiller, caracterizados por la abundancia y biomasa más altas, y el tercer grupo se identificó al cacaotal como uso atípico, con alta abundancia, densidad aparente más baja, y MO y Ca más altos que en los otros grupos.

La abundancia, la biomasa y la diversidad de los macroinvertebrados cambiaron, según el grado de alteración del suelo. Suelos menos perturbados, como el cacaotal, favorecen la presencia de los macroinvertebrados. En este uso del suelo se observaron algunos organismos exclusivos, por ejemplo, depredadores del grupo de Araneae (familia Corinnidae y Salticidae), hormigas depredadoras (*Acanthognathus* sp.), cultivadoras del género *Atta* sp., *Cyphomyrmex* sp., *Wasmania* sp. y *Linepithema* sp., Coleoptera herbívoros (Elateridae, Curculionidae (Baridinae), Melolonthidae (*Cyclocephala* sp., *Plectris* sp., *Ceraspis* sp. y *Phylophaga* sp.) o saprófagos (Scarabaeidae, Aphodiinae, Scarabaeinae), Diplopoda detritófagos (Polixenida y Polidesmida Morfoespecie 2).

Por el contrario, en los sitios con labranza, los macroinvertebrados se ven sometidos al estrés de la simplificación de la vegetación y pérdida de MO, la labranza y la aplicación de agroquímicos. Pocos macroinvertebrados, como algunas hormigas (*Baciseros* sp., *Solenopsis* sp., *Cardiocondyla* sp., *Pheidole* sp., *Hypoponera* sp. y *Paratrechina* sp.), Coleoptera (*Megacephala sobrina Dejeani*), Araneae (Theriidae), Blattaria (Blattellidae), Dermaptera, symphylidos y Chilopoda (Geophilomorpha) tienen habilidad para sobrevivir a estos cambios.

La fauna depredadora domina en los suelos cultivados, mientras que los sitios menos alterados albergaron macroinvertebrados con diferente hábito alimenticio. Además, la presencia de hormigas de los géneros *Hypoponera*, *Solenopsis* y *Pheidole* en suelos perturbados coincide con los resultados obtenidos por Fejoo *et al.* (1999) y Lobry de Bruyn (1999), quienes registraron el género *Paratrechina* como habitante frecuente de ambientes perturbados, por lo cual se propuso como grupo importante para la recuperación de la calidad del suelo y para predecir sistemas que se encuentren en proceso de agotamiento biológico o de regeneración. Probablemente, la mayoría de la fauna depredadora está conformada por especies exóticas que se adaptan con mayor facilidad a los ambientes alterados

y son capaces de coevolucionar en un medio adverso para las especies nativas.

La remoción del suelo por la maquinaria ocasiona mayor compactación de las primeras capas del mismo y contribuyen a acelerar los procesos de descomposición de la MO, al dejarla expuesta en las capas superficiales. Sólo *P. corethrurus* se adapta a esta condición, mientras que *A. gracilis* y *D. annae* (epigeicas, habitantes del mantillo y la superficie del suelo) y *P. elongata* (endogeica) desaparecen. Estos procesos están asociados con una menor disponibilidad de C y disminución de las condiciones físicas que permitan la vida (Fejoo *et al.*, 2004, 2005). Los sistemas de labranza también pueden afectar las cantidades de elementos, como el C y el N, en el suelo. Estudios realizados por López y Bello (1997) mostraron que el promedio de estos dos elementos en los 0-25 cm de profundidad del suelo fue 24% superior en suelos sin labranza que en suelos bajo labranza convencional.

Brussaard y Ferrera (1997) plantean que la labranza reducida permite al suelo regenerarse y mantener una estructura favorable, abastecer a la planta con las cantidades suficientes de alimento en el tiempo y le ayuda a prevenir o suprimir plagas y enfermedades. Asimismo, Lal (1998), Wardle (1995) y Filser *et al.* (1995) realizaron estudios acerca del efecto de las prácticas de manejo del suelo sobre la macrofauna del mismo y demostraron que éstas causan alteraciones, como cambios estructurales, eliminación o reducción de especies y disminución de la abundancia y biomasa de la macrofauna, mientras que las prácticas de labranza de conservación, especialmente la no labranza, generan complejas interacciones bióticas en el suelo debido a los cambios físicos y químicos que se producen en él.

Al respecto, Hussain *et al.* (1998) encontraron que la cantidad de agua contenida en los primeros 15 cm del suelo fue de 8 a 66% más alta en suelos sin labranza, que en aquéllos donde se realizó labranza. Según Ramírez (1998), esto se debe a que el suelo removido queda desprotegido y expuesto a los rayos del sol y, por lo tanto, las pérdidas de agua aumentan y afectan la biota del suelo al alterar su hábitat. Además, la cobertura vegetal sobre la superficie del suelo en sistemas sin labranza convencional mejora la estabilidad de los agregados y la densidad aparente del suelo, debido a que, una vez descompuestos, ayudan a formar la bioestructura del suelo y permiten el aumento en la porosidad y contenido de agua presente en los poros. Esta descomposición de los materiales vegetales depende también del tipo de

uso del suelo. Varios estudios realizados sobre este tema corroboran las anteriores afirmaciones; por ejemplo, Hussain *et al.* (1998) encontraron que en suelos donde no se realiza labranza se presentó una mayor estabilidad de los agregados (30%) en los primeros 15 cm del suelo, comparado con el suelo bajo labranza convencional (19%); asimismo, Bordousky *et al.* (1999) encontraron diferentes respuestas en la densidad del suelo al dejar los residuos de cultivo (sorgo y cebada) y utilizar sistema de labranza convencional y labranza reducida.

Asimismo, ciertas prácticas agrícolas, como la introducción de labranza, tractores, aplicación de fertilizantes y agroquímicos, y las transformaciones de los ecosistemas en agroecosistemas, reducen severamente la diversidad, la abundancia y la biomasa de las comunidades de macroinvertebrados de manera directa e indirecta; el efecto directo más obvio es la muerte de muchas especies epigeicas y endogeicas, este efecto depende de las características morfológicas de cada especie individual. Los efectos indirectos se deben a la destrucción de la capa superficial, cavidades y refugios naturales, exposición y compactación del suelo, pérdida de flujo de la MO, destrucción de las fuentes de alimento, variación de la arquitectura de la vegetación y cambios en la cobertura vegetal y dinámica microclimática dentro del sistema por las pérdidas de humedad (Wallwork, 1976; El Titi e Ipach, 1989; House y Alzugaray, 1989; Lavelle y Pashanasi, 1989; Stinner y House, 1990; Lavelle *et al.*, 1994).

Según Stinner y House (1990), cuando se realiza la labranza puede cambiarse la composición de las comunidades y los modelos de distribución horizontal y vertical de las comunidades de macroinvertebrados; este efecto ocurre en el momento o en el transcurso de varios años, dependiendo del grado de perturbación que se cause. Estos autores también consideran que en los sistemas de labranza de conservación se observa una capa más espesa de mantillo que en los sistemas de labranza convencional; este factor es de gran importancia, ya que permite la amortiguación de la temperatura del suelo y la humedad extrema, lo que provee un medio más estable para los invertebrados que habitan el mantillo y el suelo. Además, los cambios de labranza tienen influencia en la densidad y la estructura de la comunidad de arvenses, lo que afecta a muchos insectos y otros invertebrados, los cuales ecológicamente están muy relacionados con ellas.

## CONCLUSIONES

- Los resultados demuestran que la estructura (biodiversidad, abundancia y biomasa) de los macroinvertebrados del suelo es afectada por la alteración que provoca la introducción de labranza convencional y cincel vibratorio. Asimismo, se observó que el tiempo de permanencia de los tratamientos con labranza de conservación no es suficiente para una completa recuperación de las comunidades.
- Se encontró que varios grupos de macroinvertebrados, como los coleópteros *Megacephala sobrina Dejeani*, las hormigas de los géneros *Baciseros* sp., *Solenopsis* sp., *Cardiocondyla* sp., *Pheidole* sp., *Hypoconera* sp. y *Paratrechina* sp., las arañas las familias Theriidae, Lyniphidae y Lycosidae, la familia Blattellidae, Dermaptera Labiduridae y los hemípteros Cicadidae tienen gran capacidad de adaptación a suelos alterados por la labranza, lo que hace posible su utilidad como indicadores de ambientes perturbados.
- La abundancia y biomasa de los macroinvertebrados del suelo no presentaron correlación con las variables abióticas evaluadas (humedad y densidad aparente del suelo, contenido de materia orgánica, carbono y nitrógeno), sólo la abundancia y la biomasa correlacionaron de manera significativa con los contenidos de calcio.
- Los usos del cacaotal, siembra directa y mulch tiller se vieron favorecidos por la disminución de la densidad aparente y el aumento de la humedad, sin embargo, no fueron significativas las diferencias en los contenidos de materia orgánica, carbono, nitrógeno y calcio. Esta lenta recuperación de los usos con signos más fuertes probablemente requiera de más tiempo para comprobar el efecto del tratamiento y los cambios en los tipos de coberturas.
- En este estudio, tanto la biodiversidad como la abundancia y la biomasa de macroinvertebrados son una herramienta útil para conocer las condiciones del suelo, su respuesta a los cambios de manejo y capacidad de recuperación, los cuales son las señales más sensibles de cambio del uso del suelo con respecto a las variables físicas y químicas evaluadas. La biomasa fue la variable de mayor sensibilidad en los tratamientos.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira y a la Corporación Instituto Colombiano Agropecuario,

CORPOICA de Palmira, por facilitar la infraestructura y financiar el presente trabajo. A Heimar Quintero Vargas por contribuir con la revisión y corrección del artículo. El segundo autor también agradece a la Universidad Tecnológica de Pereira, de la cual es profesor, por brindar el tiempo y el espacio para llevar a cabo esta publicación.

## LITERATURA CITADA

- Anderson, J. M. and J. S. I. Ingram. 1993. Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods. CAB International. Wallingford, UK.
- Benckiser, G. 1997. Fauna in soil ecosystem. Marcel Dekker. New York, NY, USA.
- Bengtsson, J. 2002. Disturbance and resilience in soil animal communities. *Eur. J. Soil Biol.* 38: 221-227.
- Blair, J., P. Boleen, and D. Freckman. 1996. Soil invertebrates as indicator of soil quality. pp. 273-292. *In: J. Doran and A. Jones (eds.). Methods for assessing soil quality. Special Publication 49. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.*
- Bordousky, D., M. Choudhary, and C. Gerard. 1999. Effect of tillage, cropping and residue management on soil properties in the Texas Rolling plains. *Soil Sci.* 164: 15-21.
- Brown, J. H. 1995. Macroecology. University of Chicago. Chicago, IL, USA.
- Brussaard, L. and R. Ferrera. 1997. Soil ecology in sustainable agricultural systems. Lewis Publisher. New York, NY, USA.
- Buckerfield, J. C. 1992. Earthworm populations in dryland cropping soils under conservation-tillage in South Australia. *Soil Biol. Biochem.* 24: 1667-1672.
- Cadet, P., D. Masse, and J. Thioulouse. 2005. Relationships between plant-parasitic nematode community, fallow duration and soil factors in the Sudano-Sahelian area of Senegal. *Agric. Ecosyst. Environ.* 108: 302-317.
- Cassagne, N., C. Gersand, and T. Gauquelin. 2003. Relationships between Collembola, soil chemistry and humus types in forest stands (France). *Biol. Fertil. Soils* 37: 355-361.
- Clapperton, M. J. 1999. Tillage practices, and temperature and moisture interactions affect earthworm populations and species composition. *Pedobiologia* 43: 658-665.
- Curry, P. J., D. Byrne, and O. Schmidt. 2002. Intensive cultivation can drastically reduce earthworm populations in arable land. *Eur. J. Soil Biol.* 38: 229-232.
- Decaens, T., P. Lavelle, J. Jiménez, G. Escobar, and G. Rippstein. 2001. Impact of land management on soil macrofauna in the Eastern plains of Colombia. pp. 19-41. *In: J. Jiménez and R. J. Thomas (eds.). Nature's plan: soil macroinvertebrate communities in the neotropical savannas of Colombia. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.*
- El Titi, A. and U. Ipach. 1989. Soil fauna in sustainable agriculture: results of an integrated farming system at Lautenbach, F. R.G. *Agric. Ecosyst. Environ.* 27: 561-572.
- Feijoo, M. A., P. Knapp, P. Lavelle, and A. Moreno. 1999. Quantifying soil macrofauna in a Colombian watershed. *Pedobiologia* 43: 513-517.
- Feijoo, M. A., H. Quintero, C. Fragozo y A. Moreno. 2004. Patrón de distribución y listado de especies de las lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) en Colombia. *Acta Zool. Mex.* 20: 197-220.
- Feijoo, M. A., M. C. Zúñiga, and J. C. Camargo. 2005. Signs to detect regeneration and degradation of agroecosystems in the coffee growing region of Colombia. *Livestock Res. Rural Dev.* 17, Art. 25.
- Filser, J., H. Fromm, R. Nagel, and K. Winter. 1995. Effects of previous intensive agriculture management of microorganism and the biodiversity of soil fauna. *Plant Soil* 170: 123-129.
- Fragoso, C., P. Lavelle, E. Blanchart, B. Senapati, J. Jiménez, M. Martínez, T. Decaens, and J. Tondoh. 1999. Earthworm communities of tropical agroecosystems: origin, structure and influence of management practices. pp. 27-55. *In: P. Lavelle, L. Brussaard, and P. Hendrix (eds.). Earthworm management in tropical agroecosystems. CAB International. Wallingford, UK.*
- Giller, K. E., M. H. Beare, P. Lavelle, A. M. Izac, and M. J. Swift. 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agrosystem function. *Appl. Soil Ecol.* 6: 3-16.
- House, G. and M. Alzugaray. 1989. Influence of cover cropping and no tillage practices on community composition of soil Arthropods in a North Carolina agroecosystem. *Agroecosyst. Environ. Entomol.* 18: 302-307.
- House, G. and J. Parmelee. 1985. Comparison of soil arthropods and earthworms from conventional and no tillage agroecosystems. *Soil Tillage Res.* 5: 351-360.
- Hussain, I., K. Olson, and S. Siemen. 1998. Long-term tillage effects on physical properties of eroded soil. *Soil Sci.* 163: 970-981.
- Lal, R. 1998. Effects of macrofauna on soil properties in tropical ecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 24: 101-106.
- Langmaack, M., S. Schrader, U. Rapp-Bernhardt, and K. Kotzke. 2002. Soil structure rehabilitation of arable soil degraded by compaction. *Geoderma* 105: 141-152.
- Lavelle, P. and B. Pashanasi. 1989. Soil macrofauna and land management in Peruvian Amazonia (Yurimaguas, Loreto). *Pedobiologia* 33: 283-291.
- Lavelle, P. and A. V. Spain. 2001. Soil ecology. Kluwer Academic Publishers. London, UK.
- Lavelle, P., G. Gilot, C. Fragozo, and B. Pashanasi. 1994. Soil fauna and sustainable land use in the humid tropics. pp. 291-308. *In: D. Greenland and I. Szabolcs (eds.). Soil resilience and sustainable land use. CAB International. Wallingford, UK.*
- Linden, D., F. Hendrix, D. Coleman, and P. van Vliet. 1994. Faunal indicators of soil quality. pp. 91-106. *In: J. Doran, D. Coleman, D. Bezdicsek, and B. Stewart (eds.). Defining soil quality for a sustainable environment. Special Publication 35. Soil Science Society of America. Madison, WI, USA.*
- Lobry de Bruyn, L. 1999. Ants as bioindicator of soil function in rural environments. *Agric. Ecosyst. Environ.* 74: 425-441.
- Madero, E., A. García, J. Borrero, C. A. Gomez y L. Yamil. 2000. Distribución de suelos magnésicos del Valle del Cauca e hipótesis de formación. *Rev. Suelos Ecuatoriales* 30: 50-55.
- Murray, R. 1992. Probabilidad y estadística. McGraw-Hill. México, D. F.
- Pankhurst, C. 1994. Biological indicators of soil health and sustainable productivity. pp. 331-352. *In: D. Greenland and I. Szabolcs (eds.). Soil resilience and sustainable land use. CAB International. Wallingford, UK.*

- Pankhurst, C., B. Hawke, H. McDonald, C. Kirkby, J. Buckerfield, P. Michelsen, K. O'Brien, V. Gupta, and B. Doube. 1995. Evaluation of soil biological properties as potential bioindicators of soil health. *Aust. J. Exp. Agric.* 35: 1015-1028.
- Paoletti, M. 1999. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agric. Ecosyst. Environ.* 74: 137-155.
- Paoletti, M., D. Sommaggio, M. Favretto, G. Petruzzelli, B. Pezzarossa, and M. Barbaferi. 1998. Earthworms as useful bioindicator of agroecosystem sustainability in orchard and vineyards with different inputs. *Appl. Soil Ecol.* 10: 137-150.
- Parmelee, R. W., M. H. Beare, W. Cheng, P. F. Hendrix, S. J. Rider, D. A. Crossley Jr., and D. C. Coleman. 1990. Earthworms and enchytraeids in conventional and zero-tillage agroecosystems: a biocide approach to assess their role in organic matter breakdown. *Biol. Fertil. Soils* 10: 1-10.
- Parmelee, R. W., P. J. Bohlen, and J. M. Blair. 1998. Earthworms and nutrient cycling: integrating across the ecological hierarchy. pp. 123-143. *In*: C. A. Edwards (ed.). *Earthworm ecology*. CRC Press. Boca Raton, FL, USA.
- Ramírez, R. 1998. Los sistemas de labranza y su papel en la agricultura sostenible. *Cuadernos de Agronomía* 3: 33-37.
- SAS Institute. 1993. *SAS user's guide: statistics*. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- SPAD. 1997. Logiciel diffusé par CISIA. Version 3.21. CISIA. Saint-Mandé, France.
- Stinner, B. and G. House. 1990. Arthropods and other invertebrates in conservation-tillage agriculture. *Ann. Rev. Entomol.* 35: 299-318.
- Stork, N. and P. Eggleton. 1992. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *Am. J. Alternative Agric.* 7: 38-47.
- Wallwork, J. 1976. *The distribution and diversity of soil fauna*. Academic Press. London, UK.
- Wardle, D. 1995. Impacts of disturbance on detritus food webs in agroecosystems of contrasting tillage and weed management practices. *Adv. Ecol. Res.* 26: 105-159.