

DIVERSIDAD Y ABUNDANCIA DE COLÉMBOLOS EDÁFICOS EN UN BOSQUE PRIMARIO, UN BOSQUE SECUNDARIO Y UN CAFETAL EN COSTA RICA^{1/}

Cesar Guillén^{2/*}, Felipe Soto-Adames^{**}, Monika Springer^{***}

Palabras clave: Colémbolos, biodiversidad, abundancia, taxonomía.

Keywords: Springtails, biodiversity, abundance, taxonomy.

Recibido: 14/12/05

Aceptado: 07/09/06

RESUMEN

Se estudió la diversidad y abundancia de los colémbolos del suelo en 3 ecosistemas: un bosque primario; un bosque secundario; y un cafetal, en el Parque Nacional Tapantí, Costa Rica. Mensualmente, se tomó 8 muestras de suelo en cada ecosistema, para un total de 360 muestras. Se encontró un total de 23751 colémbolos distribuidos en 9 familias y 16 especies, de las cuales 10 no habían sido descritas. Dentro de esas especies se encontró a *Harlomillsia oculata* como nuevo informe para Centroamérica. De los 3 ecosistemas, el bosque primario fue el más diverso ($H' = 2,406$), seguido por el bosque secundario ($H' = 2,174$) y por último el cafetal, que presentó la menor diversidad ($H' = 1,651$). Contrario a lo sucedido con la diversidad, la mayor abundancia se encontró en el cafetal con 10111 colémbolos.

ABSTRACT

Diversity and abundance of soil springtails in a primary forest, a secondary forest and a coffee plantation in Costa Rica. Diversity and abundance of soil springtails were studied in 3 ecosystems: a primary forest; a secondary forest; and a coffee plantation, in Tapantí National Park, Costa Rica. Each month, 8 soil samples were taken in each ecosystem, for a total of 360 samples. A total of 23751 springtails was found, which were distributed in 9 families and 16 species; 10 of the latter have not been described. We found *Harlomillsia oculata* as a new record for Central America. From the 3 ecosystems the primary forest was the most diverse ($H' = 2.406$), followed by the secondary forest ($H' = 2.174$) and the last was the coffee plantation, which presented the least diversity ($H' = 1.651$). In contrast with diversity, the greatest abundance was found in the coffee plantation, with 10111 springtails.

INTRODUCCIÓN

Los colémbolos, junto con los ácaros, son los grupos de artrópodos más abundantes e importantes de la mesofauna del suelo, ya que intervienen activamente en los procesos de degradación de la materia orgánica, así como

el reciclaje y la mineralización de los elementos (Hopkin 1997, Palacios-Vargas 2000, Rusek 1998). Por su gran adaptabilidad tanto fisiológica como ecológica, los colémbolos han colonizando todo tipo de ambientes, en todas las altitudes y latitudes del planeta, lo que los hace uno de los grupos de artrópodos más abundantes de

1/ Este trabajo es parte de la tesis de M.Sc. del primer autor. Programa de Estudios de Posgrado en Biología, Universidad de Costa Rica.

2/ Autor para correspondencia. Correo electrónico: cguillen@cariari.ucr.ac.cr

* Facultad de Ciencias Agroalimentarias, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

** Universidad de Vermont. EE.UU.

*** Escuela de Biología, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

la biomasa de los suelos (Hopkin 1997). Las estimaciones en cuanto al número de especies a nivel mundial varía, aunque el censo más reciente apunta a más de 7600 especies (Bellinger *et al.* 2004), de las cuales más de 1600 han sido descritas en el nuevo mundo. Hopkin (1997) por el contrario, mencionó que el número de especies puede superar las 50000. Independientemente de la cantidad de especies que existen en el mundo, el número que queda por describir es enorme, encontrándose la mayoría como habitantes del suelo y de la hojarasca de los árboles en los bosques tropicales lluviosos (André *et al.* 1994, Deharveng *et al.* 1989, Stork y Eggleton 1992).

El estudio de la colembofauna en la zona neotropical ha sido escaso (Mari Mutt y Bellinger 1990), debido en parte a la complejidad de los ecosistemas y al alto endemismo en poca distancia. Esto, unido a la falta de claves y descripciones de la fauna local hace que exista un déficit amplio de información, tanto taxonómica como ecológica. Específicamente, en el caso de los colémbolos edáficos, estos estudios además se dificultan por la variabilidad de los suelos y sus interacciones físicas, químicas, biológicas y de manejo (Rösek 1989).

En los suelos bajo cultivo, el uso intensivo, la mecanización, las aplicaciones indiscriminadas de agroquímicos, los monocultivos extensivos y la compactación de los suelos, entre otras prácticas, han provocado que las poblaciones de colémbolos del suelo se comporten de forma irregular, favoreciendo de esta manera el establecimiento de algunas especies oportunistas. Gisin (1955), mencionó que en Europa *Brachystomella parvula* es una especie predominante de suelos degradados, *Neanura muscorum* una especie ocasional e *Isotomurus palustris* y *Sminthurides* sp son especies típicas de suelos húmedos.

Para las zonas tropicales, casi no existe información referente al uso de la fauna del suelo como bioindicador y menos aún utilizando colémbolos, por lo que es necesario estudiar más sobre la ecología de este grupo, con el objetivo de poder caracterizar algunas de las especies que presentan ese potencial.

En Costa Rica, los estudios de la fauna de colémbolos son escasos, iniciándose con Handshin (1927), quien documentó las primeras 10 especies, de las cuales 7 no habían sido descritas previamente. Entre 1931 y 1933 Denis aumentó esta lista con 88 especies nuevas para el país, de las cuales 48 fueron especies aún no descritas. Posterior a 1933, solamente 9 especies han sido agregadas a la lista de colémbolos de Costa Rica; 2 de ellas descritas recientemente por Soto-Adames y Guillén (Manuscrito sometido). En la última década sólo un artículo ha sido publicado sobre colémbolos en Costa Rica donde se incluye la lista de especies de Costa Rica realizada por Palacios-Vargas (1992).

Debido al desconocimiento que existe en el país, referente a la colembofauna, se decidió estudiar la diversidad y abundancia de colémbolos con énfasis en la familia Entomobryidae *sensu lato* en un bosque primario, un bosque secundario y un cafetal en el Parque Nacional Tapantí, Cartago, Costa Rica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Áreas de estudio

El estudio se realizó de enero del 2003 a marzo del 2004 en 3 ecosistemas en el Parque Nacional Tapantí, Cartago, Costa Rica. Un bosque primario (9°43.880' N y 83°46.821' O), a 1555 msnm. La vegetación estaba compuesta principalmente por árboles de *Quercus*, *Persea*, *Tabebuia*, *Heliocarpus* y *Agnus*, con 2 órdenes de suelos predominantes: Humic Hapluduls y Litic Udorthents (esquelético). La pendiente varió de 90-100%. Un bosque secundario, ubicado alrededor de la entrada del mismo parque, en el sector Tapantí (9°45.712' N y 83°47.357' O) a 1236 msnm. La vegetación estaba conformada por Melastomataceas, *Persea*, *Cecropia*, así como *Quercus* y *Tabebuia* con diámetros inferiores a las 15". El suelo predominante es Litic Udorthents; la pendiente varió de 80-90%. El tercer sitio estaba compuesto por un cafetal (*Coffea arabica* var. Caturra), de manejo convencional

con poca sombra, ubicado 2 km. al oeste de la entrada del parque (9°46.103' N y 83°47.859' O), a 1238 msnm. El suelo es Fluventic Udorthents, con una pendiente <10%.

Muestreo e aislamiento

En cada uno de los 3 ecosistemas se eligió 8 puntos de muestreo distanciados 20 m y distribuidos en un transecto lineal de 6 puntos y 2 puntos adicionales, uno a cada lado del centro. En cada punto se estableció una microparcela de 1,5x1,5 m, la cual se muestreó aleatoriamente. El muestreo se repitió mensualmente y durante los 15 meses que duró la investigación. De cada punto se tomó una muestra de 1000 cm³ de suelo, la cual fue colocada en embudos de Berlesse-Tulberg por 6 días (Edwards 1991). Los especímenes fueron recolectados en alcohol de 95% y posteriormente separados y contados con ayuda de un estereoscopio.

Identificación

De cada una de las morfoespecies encontradas, se montaron series de 10 individuos en porta objetos con medio Hoyer, los cuales fueron identificados a nivel de familia usando la clave de Palacios-Vargas (1990). Para la identificación de los géneros y especies se usó claves y descripciones especializadas, incluyendo la clave de colémbolos de Norte América (Christiansen y Bellinger 1980), la clave de las especies del género *Lepidocyrtus* en las Americas (Soto-Adames, inédita), la revisión del género *Dicranocentrus* (Mari Mutt 1979), la clave de los miembros americanos del género *Trogolopedetes* (Palacios-Vargas *et al.* 1986), así como otra literatura especializada. Además se contó con la colaboración del Dr. Felipe Soto-Adames de la Universidad de Vermont, EE.UU.

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante un ANOVA y pruebas de *T-Student*. Para determinar la diversidad de colémbolos se hizo un ANOVA

con los seudovalores de los índices Shannon-Wiener para cada mes y cada una de las especies y por último se calculó un índice general de Shannon-Wiener para cada ecosistema. Para calcular la prueba de la hipótesis nula se usó el procedimiento propuesto por Hutcheson en 1970 (citado por Zar 1996), donde se calculó el índice de diversidad ponderado (H_p) en función de la frecuencia de cada especie. Para cada muestra se calculó la varianza del índice de diversidad ponderado, además de las diferencias de las varianzas de las muestras. Se calculó el índice de equidad de Pielou, para cada ecosistema para determinar la proporción de la diversidad observada con relación a la máxima diversidad esperada.

RESULTADOS

Número de colémbolos recolectados

De las 360 muestras recolectadas en los 15 meses de muestreo, se obtuvo un número total de 23751 individuos; superando el cafetal, casi en el doble el número de colémbolos encontrados, al bosque primario (Figura 1).

Los bosques primario y secundario tuvieron la misma riqueza de especies, en comparación con el cafetal, que presentó una riqueza menor (Figura 2). Esta diferencia fue determinada por la especie *Harlomillsia oculata*, la cual no se observó en el cafetal (Cuadro 1).

La figura 3 muestra la variación en el número de colémbolos en los 3 ecosistemas a lo largo de los 15 meses del estudio. La mayor cantidad de colémbolos en los bosques primario y secundario se presentó en julio de 2003 con 650 y 986 especímenes, respectivamente; mientras que en el cafetal la mayor cantidad se presentó en enero de 2004 con 1855 especímenes.

De enero a diciembre del 2003 la abundancia de colémbolos en los bosques primario y secundario fue similar. En el cafetal, la abundancia fue menor, en comparación con los otros 2 ecosistemas; sin embargo, se notó un incremento considerable a partir de enero del 2004 (Figura 3).

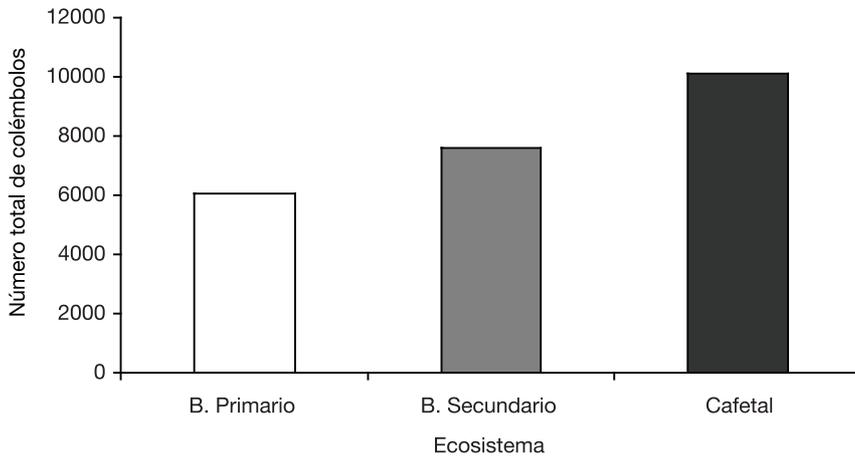


Fig. 1. Número total de colémbolos recolectados en el cafetal, bosque secundario y primario en el Parque Nacional Tapantí, Costa Rica (enero 2003 a abril 2004).

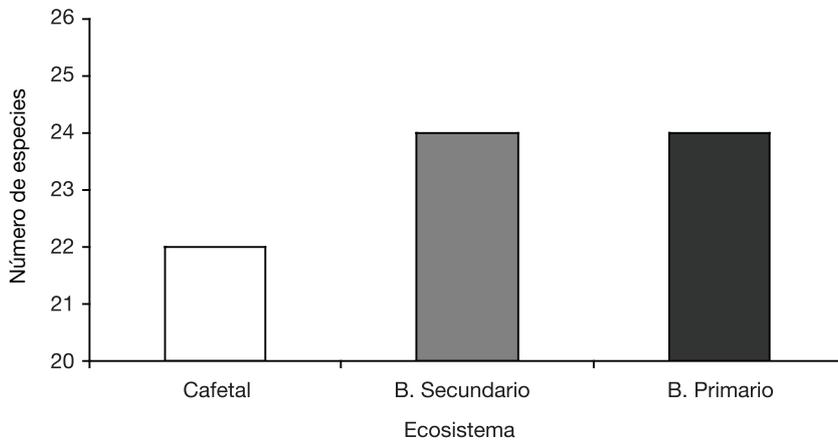


Fig. 2. Número de especies de colémbolos encontradas en el cafetal, bosque secundario y primario en el Parque Nacional Tapantí, Costa Rica (enero 2003 a abril 2004).

Se encontró que junio fue el mes que presentó la menor abundancia tanto en el cafetal como en el bosque secundario (166 y 261 individuos 1000 cm^{-3} , respectivamente). La menor abundancia de colémbolos en el bosque primario (251 especímenes 1000 cm^{-3}) se observó en los meses de febrero del 2003 y enero del 2004.

Especies de colémbolos encontradas

Durante todo el periodo de estudio se encontró un total de 24 especies de colémbolos, de las cuales 16 pertenecen a la familia Entomobryidae, 2 a la familia Sminthuridae y 1 a cada una de las siguientes familias: Isotomidae, Neelidae,

Cuadro 1. Distribución de las especies de colémbolos en un cafetal, un bosque secundario y un bosque primario, durante los 15 meses de estudio.

| TAXON | Cafetal | | Bosque Secundario | | Bosque Primario | |
|------------------------------|---------|--------|-------------------|--------|-----------------|--------|
| | N.º | % | N.º | % | N.º | % |
| Entomobryidae | | | | | | |
| <i>Entomobrya</i> sp. | 4 | 0,04 | 45 | 0,59 | 95 | 1,57 |
| <i>Sinella</i> sp. | 25 | 0,25 | 25 | 0,33 | 41 | 0,68 |
| <i>Dicranocentrus marias</i> | 895 | 8,85 | 498 | 6,57 | 399 | 6,59 |
| <i>Heteromurus</i> sp. | 4 | 0,04 | 2003 | 26,42 | 409 | 6,75 |
| <i>Seira</i> sp.1 | 28 | 0,28 | 19 | 0,25 | 30 | 0,50 |
| <i>Seira</i> sp.2 | 2 | 0,02 | 21 | 0,28 | 18 | 0,30 |
| <i>Seira</i> sp.3 | 12 | 0,12 | 5 | 0,07 | 9 | 0,15 |
| <i>Seira</i> sp.4 | 0 | 0,00 | 22 | 0,29 | 98 | 1,62 |
| <i>Lepidocyrtus</i> sp.1 | 2907 | 28,75 | 417 | 5,50 | 390 | 6,44 |
| <i>Lepidocyrtus</i> sp.2 | 4 | 0,04 | 83 | 1,09 | 235 | 3,88 |
| <i>Lepidocyrtus</i> sp.3 | 771 | 7,63 | 15 | 0,20 | 26 | 0,43 |
| <i>Pseudosinella</i> sp. | 17 | 0,17 | 47 | 0,62 | 33 | 0,54 |
| <i>Salina</i> sp. | 62 | 0,61 | 27 | 0,36 | 15 | 0,25 |
| <i>Trogolophysa</i> sp.1 | 113 | 1,12 | 392 | 5,17 | 190 | 3,14 |
| <i>Trogolophysa</i> sp.2 | 5 | 0,05 | 18 | 0,24 | 30 | 0,50 |
| <i>Trogolophysa</i> sp.3 | 13 | 0,13 | 226 | 2,98 | 174 | 2,87 |
| Cyphoderidae | | | | | | |
| <i>Cyphoderus</i> sp. | 398 | 3,94 | 687 | 9,06 | 451 | 7,44 |
| Oncopoduridae | | | | | | |
| <i>Harlomillsia oculata</i> | 0 | 0,00 | 57 | 0,75 | 361 | 5,96 |
| Isotomidae | | | | | | |
| <i>Isotomurus</i> sp. | 4174 | 41,28 | 2215 | 29,21 | 2203 | 36,37 |
| Neelidae sp. | 14 | 0,14 | 233 | 3,07 | 87 | 1,44 |
| Sminthuridae sp.1 | 37 | 0,37 | 102 | 1,35 | 102 | 1,68 |
| Sminthuridae sp.2 | 3 | 0,03 | 74 | 0,98 | 179 | 2,95 |
| Neanuridae sp. | 125 | 1,24 | 117 | 1,54 | 239 | 3,95 |
| Onychiuridae sp. | 498 | 4,93 | 234 | 3,09 | 244 | 4,03 |
| Total | 10111 | 100,00 | 7582 | 100,00 | 6058 | 100,00 |

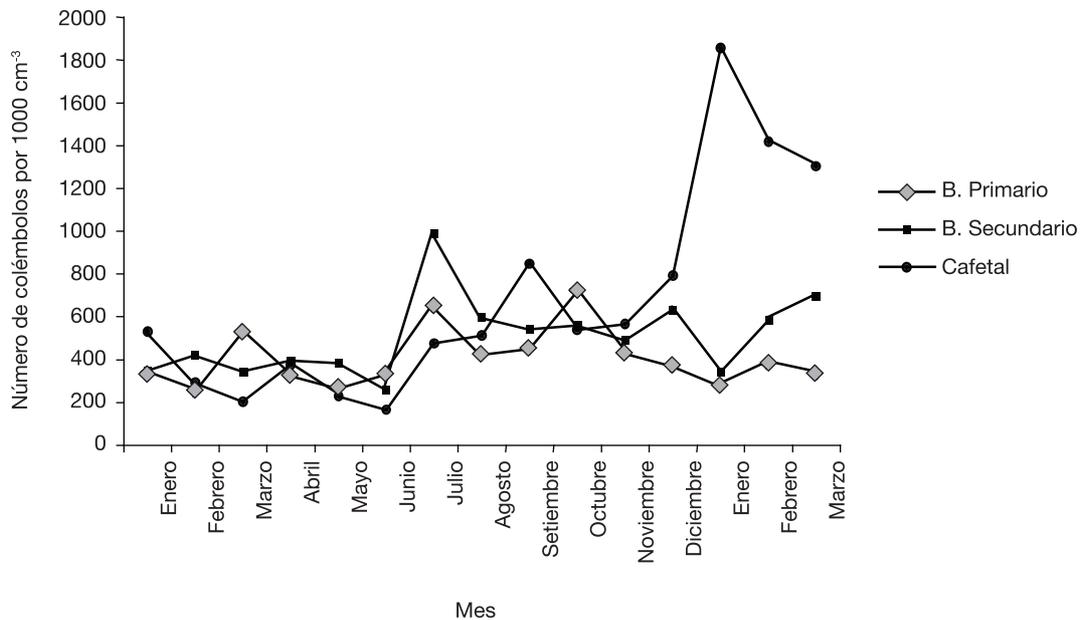


Fig. 3. Variación mensual en el número de colémbolos en el bosque primario, bosque secundario y cafetal en el Parque Nacional Tapantí, Costa Rica (enero 2003 a marzo 2004).

Neanuridae, Onichiuridae, Oncopodiridae, Cyphoderidae (Cuadro 1). De estas especies al menos 10 no han sido informadas en la literatura para Costa Rica, lo que representa un aporte significativo a la lista de especies publicada por Mari Mutt y Bellinger (1990), en el Catálogo de Colémbolos Neotropicales.

Harlommillsia oculata se presentó de forma frecuente en el bosque primario, esporádicamente en el bosque secundario y nunca en el cafetal (Cuadro 1). Esta preferencia de hábitat concuerda con los sitios en los que se ha encontrado esta especie en los EE.UU., en el Estado de Tamaulipas en el norte de México y en Perú.

El cafetal presentó el número menor de especies, en comparación con los bosques primario y secundario durante todo el año (Figura 4). En los meses de setiembre y noviembre, el bosque secundario superó escasamente al bosque primario.

Abundancia de las especies encontradas

De todas las especies encontradas, *Isotomurus* sp fue la más abundante en los 3 ecosistemas con un

41% en el cafetal, un 36% en el bosque primario y un 29% en el bosque secundario. En el cafetal *Lepidocyrtus* sp1. ocupa el segundo lugar en abundancia, mientras que en el bosque secundario la segunda especie más abundante fue *Heteromurus* sp. Para el resto de las especies no se encontró una clara dominancia, por el contrario muchos de los valores estuvieron por debajo del 1%.

Con respecto a la abundancia de colémbolos, los 3 ecosistemas fueron significativamente diferentes $F_{2, 315}=10,54$, ($p<0,01$) al igual que la diversidad a través de las fechas de muestreo y entre las fechas de muestreo y los 3 ecosistemas $F_{14, 315}=6,07$ y $F_{28, 315}=4,53$, respectivamente ($p<0,01$). La diversidad de colémbolos es significativamente diferente entre los 3 ecosistemas $F_{37, 0,8}=44,70$ y $p<0,01$. El bosque primario es el ecosistema que presentó la mayor diversidad $H^{\prime}=2,406$, seguido por el bosque secundario $H^{\prime}=2,174$ y por último el cafetal que presentó la menor diversidad $H^{\prime}=1,651$. De los 3 ecosistemas el cafetal fue el que presentó una dominancia alta de unas pocas especies, contrario a los bosques secundario y primario (Cuadro 2).

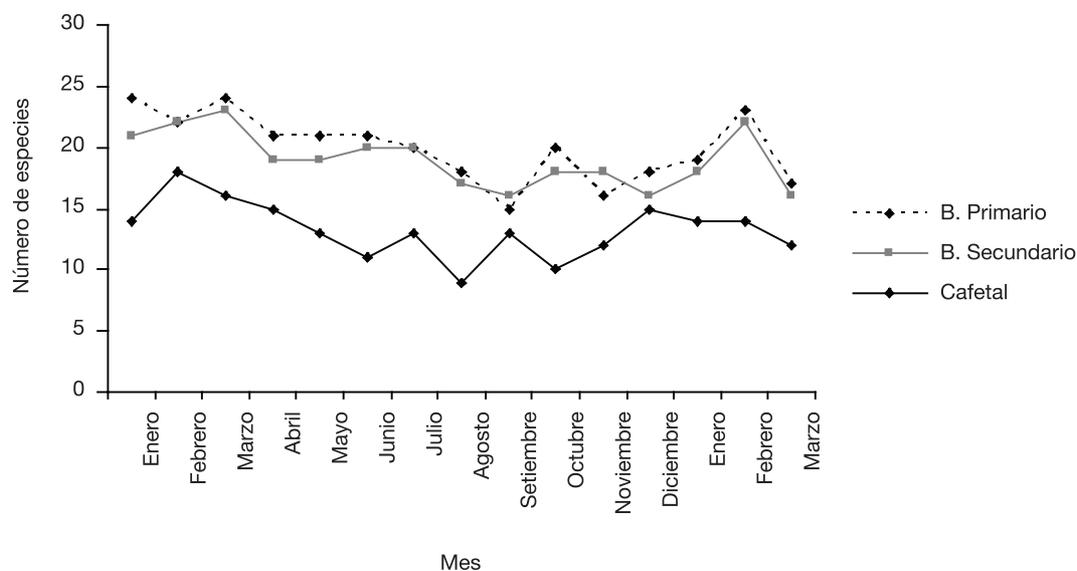


Fig. 4. Variación mensual en el número de especies de colémbolos en el bosque primario, bosque secundario y cafetal en el Parque Nacional Tapantí, Costa Rica (enero 2003 a marzo 2004).

Cuadro 2. Índice de diversidad y características relacionadas en la comunidad de colémbolos.

| Características | Ecosistema | | |
|---------------------------------------|-------------|---------------|-------------|
| | Cafetal | B. Secundario | B. Primario |
| Densidad total | 10111 | 7582 | 6058 |
| Número de muestras (n) | 120 | 120 | 120 |
| Riqueza (número de spp) | 22 | 24 | 24 |
| Diversidad H' | 1,651 | 2,174 | 2,406 |
| Igualdad $E, H'/lns$ | 0,53 | 0,68 | 0,75 |
| Especies dominantes ¹ | <i>Dmar</i> | <i>Dmar</i> | <i>Dmar</i> |
| | <i>Lep1</i> | <i>Het</i> | <i>Het</i> |
| | <i>Lep3</i> | <i>Lep1</i> | <i>Lep1</i> |
| | <i>Isot</i> | <i>Tro1</i> | <i>Cyp</i> |
| | | <i>Cyp</i> | <i>Hocu</i> |
| | | <i>Isot</i> | <i>Isot</i> |
| Porcentaje de dominancia ² | 87 | 82 | 70 |

1 Especies dominantes con rangos superiores a un 5% en cada ecosistema: *Lep 1*, *Lepidocyrtus* sp1; *Lep 3*, *Lepidocyrtus* sp 3; *Isot*, *Isotomidae*; *Dmar*, *Dicranocentrus marias*; *Het*, *Heteromurus*; *Tro1*, *Trogolaphysa* sp1; *Cyp*, *Cyphoderus*; *Hocu*, *Harlomillsia oculata*.

2 Porcentajes de las especies dominantes del total de colémbolos recolectados en cada ecosistema.

DISCUSIÓN

Se encontró que el bosque primario presentó la menor cantidad de colémbolos; sin embargo, fue el ecosistema más diverso de los 3, hecho que se puede deber a varias razones. Por un lado, una compleja composición florística, con un mantillo muy heterogéneo, típico de los bosques tropicales lluviosos, el cual durante el proceso de descomposición favorece una gran diversidad de hongos y bacterias que son una de las principales fuentes de alimento de los colémbolos (Ferreira *et al.* 1994). Una descomposición constante de restos vegetales, lo que produce concentraciones altas de ácidos húmicos, que dan como resultado valores bajos de pH, idóneos para el establecimiento de una flora rica en hongos. Al haber una mayor diversidad vegetal, aumenta la cantidad de plantas con asociaciones micorrízicas, las cuales sirven también de alimento a las poblaciones de colémbolos (Seres *et al.* 2004). De igual manera, una alta diversidad de plantas produce gran variedad y abundancia de exudados radicales, los cuales sirven como fuente de alimento para los colémbolos, los hongos y las bacterias, de los que también se alimentan muchos de ellos. Esta alta diversidad encontrada en el bosque primario concuerda con lo propuesto por Oliveira *et al.* (1995), Bonnet *et al.* (1979), Gers y Izarra (1983), Jordana *et al.* (1987), Gama *et al.* (1991), quienes indican que entre más estables sean los bosques, mayor será su diversidad.

Por otra parte, el bosque primario presentó una cantidad alta de especies lo cual coincide con lo mencionado por Kopeszki y Meyer (1994) y Röske (1989), quienes encontraron que los bosques clímax o con una gran estabilidad vegetal tienden a ser muy diversos y poco abundantes en colémbolos.

El tipo de suelo y sus propiedades tanto físicas como químicas es otro de los factores que puede influir en las poblaciones de colémbolos, pues varios autores como Kováč (1994), Luizão (1985), Dittmer *et al.* (2000), Eaton *et al.* (2004) y Larsen *et al.* 2004; han documentado ampliamente sobre las características del suelo y su relación con los colémbolos.

Hågvar (1987), encontró que *Isotoma notabilis* presenta una correlación positiva con el pH del suelo, por lo que la caracterizó como una especie calciofílica. Este hecho puede explicar, en parte, la densidad tan alta de Isotomidos en el cafetal, pues en este cultivo es frecuente tratar los suelos con fuentes de calcio con el objetivo de disminuir las poblaciones de hongos del suelo así como los desbalances nutricionales de las plantas.

Referente a la composición y abundancia de colémbolos en el bosque secundario, se observó que están compuestas por un número alto de especies del bosque primario y el cafetal; no obstante fue clara la dominancia de la especie *Heteromurus* sp y especies del género *Trogolaphisa*, ambas caracterizadas como generalistas (Cabral 1994).

Diferencias menores a media unidad en los índices de diversidad de Shannon-Wiener entre el bosque secundario y el bosque primario se pueden deber al estado avanzado de madurez en que se encuentra este bosque secundario. Los resultados obtenidos en esta investigación concuerdan con los obtenidos por Oliveira y Deharveng (1995), quienes encontraron una mayor diversidad en un bosque primario en comparación con un bosque secundario en Manaos, Brasil.

Contrariamente, se observó una marcada diferencia entre los índices de diversidad de Shannon-Wiener del bosque secundario y primario con relación al cafetal, hecho que se puede deber a la condición del cafetal como monocultivo extensivo, el cual muchas veces favorece el establecimiento de una gran abundancia de colémbolos y una baja diversidad.

La baja diversidad encontrada en el cafetal se puede deber al hecho de que este es perturbado periódicamente por labores agrícolas como: aplicaciones de fungicidas, las cuales afectan de forma negativa las poblaciones de hongos del suelo; aplicaciones de insecticidas y nematicidas, que en dosis altas terminan alterando la flora y fauna del suelo, de la cual dependen estos organismos. La alta abundancia de *Isotomurus* sp en esta investigación, coincide con lo encontrado por Ditter y Scharader (2000), y Culik *et al.* (2002)

quienes mencionan que este género es frecuente en los suelos agrícolas europeos y brasileños. La gran abundancia de la especie *Isotomurus* sp encontrada en enero del 2004 puede obedecer a un comportamiento de agregación, que es común en muchas de las especies de colémbolos (Negri 2004, Hopkin 1997) o a la disminución de la precipitación en estos meses que son típicos de la estación seca. Con respecto a *Dicranocentrus marias*, se encontró una abundancia mayor en los meses de enero a marzo, que es la época más seca del año, por lo que se podría pensar que esta especie se ve favorecida por una baja precipitación, observación que coincide con lo obtenido por Cabral (1994) en un cafetal en Brasil.

El aumento del número de colémbolos observado en el bosque secundario para el mes de julio del 2003 se debe al aumento de *Isotomurus* sp, hecho que se puede asociar con una disminución de la precipitación en este mes.

En esta investigación se encontró que existe una clara preferencia de hábitat por parte de algunas especies de colémbolos, tal es el caso de *Harlomillsia oculata*, en el bosque primario; *Heteromurus* sp en el bosque secundario y *Lepidocyrtus* sp 1 en el cafetal, lo cual hace suponer que estas especies pueden ser utilizadas como un indicador biológico de la calidad del suelo o del manejo que se le está dando a los ecosistemas. Sin embargo, es necesario estudiar más detalladamente algunas variables que pueden estar influyendo sobre estas especies de colémbolos.

AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Investigaciones Agronómicas y el Museo de Insectos de la Universidad de Costa Rica por el apoyo brindado en esta investigación. Al M.Sc. Rafael Mata y a la Ing. Jessica Oviedo por la identificación de los suelos. A la Dra. Rossana Giordano de la Universidad de Vermont, EE.UU. por su hospitalidad y amistad.

LITERATURA CITADA

- ANDRE H.M., NOTI M.I., LEBRUM P. 1994. The soil fauna: the other last biotic frontier. *Biodiversity and Conservation* 3:45-56.
- BELLINGER P.F., CHRISTIANSEN K.A., JANSSENS F. 2004. Checklist of the Collembola of the World. <http://www.collembola.org>
- BONNET L., CASSAGNAU P., DEHARVENG L. 1979. Recherche d'une méthodologie dans l'analyse de la ropture des équilibres biocénotiques: application aux Collemboles édaphiques des Pyrénées. *Rev. Ecol. Biol.Sol.* 16(3): 373-401.
- CABRAL R.S. 1994. Avaliação qualitativa e quantitativa de Collembola (Insecta) em ecossistemas de *Coffea arabica* L. Tesis de Maestría, Universidad Federal de Viçosa, Brasil. 139 p.
- CHRISTIANSEN K., BELLINGER P. 1980. The Collembola of North America, North of the Rio Grande: a taxonomic analysis. 2nd ed. Grinnell College 4 v, Grinnell. Iowa. USA. 1518 p.
- CHRISTIANSEN K., BELLINGER P. 1988. Marine littoral Collembola of North and Central America. *Bull. Mar. Science* 42(2):215-245.
- CROSSLEY J.R., MUELLER D.A., PERDUE J.C. 1992. Biodiversity of microarthropods in agricultural soils: Relations to processes. *Agric. Ecosyst. Environmental* 40:34-76.
- CULIK M.P., DE SOUZA VENTURA L. 2002. Biodiversity of Collembola in tropical agricultural environment of Espírito Santo, Brasil. *Applied Soil Ecology* 21:49-58.
- DEHARVENG L., BEDOS A., LEKSAWASDI P. 1989. Diversity in tropical forest soils: The Collembola of Doi Inthanon (Thailand). *In: Proc. 3rd Int. Sem. Apterigota*, Siena. Italy. 317-28 p.
- DENIS J.R. 1931. Contributo alla conoscenza del "microgenton" di Costa Rica, II. Collemboles de Costa Rica avec une contribution au species de l'ordre. *Boll. Lab. Entomol. Agr.Portici* 25: 69-170.
- DENIS J.R. 1933. Contributo alla conoscenza del "microgenton" di Costa Rica, III. Collemboles de

- Costa Rica avec une contribution au species de l'ordre (deuxieme note). Boll.Lab. Entomol.Agr. Portici 27: 222-322.
- DITTMER S., SCHRADER S. 2000. Longterm effects of soil compactation and tillage on Collembola and straw decomposition in arable soil. *Pedobiologia* 44:527-538.
- EATON R. 2004. Effects of organic matter removal, soil compaction, and vegetation control on Collembolan population. *Pedobiologia* 48:121-128.
- EDWARDS C. 1991. The assessment of populations of soil-inhabiting invertebrates. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 34:145-176.
- FERREIRA C.S., DA GAMA M.M., SOUSA J.P., VASCONCELOS T.M. 1994. Comparative study of the collembola population from a *Pinus pinaster* Aitom forest and *Eucalyptus globulus* Labill. Plantation, *Cienc. Biol. Ecol. Syst.*, (Portugal), 14 (1/2):19-34.
- DA GAMA M.M., NOGUEIRA A., MURIAS DOS SANTOS A.F.A. 1991. Effets du reboisement par *Eucalyptus globulus* sur les Collemboles édaphiques. *Rev. Ecol. Biol.Sol.* 28(1):9-18.
- GERS C., IZARRA D.C. 1983. Rupture de l'équilibre biocénétique des populations de Collemboles à la station de ski de Calmazeille-Formiguères (Pyrénées Orientales). *Bull.Soc. Hist. Nat.*, (Toulouse) 119: 63-69.
- GISIN H. 1955. Recherches sur la relation entre la faune endogée de Collemboles et les qualités agroligiques de sols viticoles. *Revue Suisse Zoologique* 62(37):601-648.
- HÅGVAR S. 1987. Why do collembolans and mites react to changes in soil acidity? *Ent. Meddr.* 55 (2/3): 115-119.
- HANDSHIN E. 1927. Collembolen aus Costa Rica. *Entomol. Mitt* 16(2):110-118.
- HOPKIN S.P. 1997. Biology of springtails (Insecta: Collembola). Oxford University Press, Oxford, 333 p.
- JORDANA R., ARBEA J.I., MORAZI I., MONTENEGRO E., MATEO M.D., HERNANDEZ M.A., HERRERA L. 1987. Effect of reforestation by conifers in natural biotopes of middle and South Navarra (Northern Spain). *Revue Suisse Zool.* 94(3):491-502.
- KOPESZKI H., MEYER E. 1994. Artenzusammensetzung und Abundanz von Collembolen in Waldböden Vorarlbergs (Österreich). *Ber.nat.med.Verein Innsbruck.* 81:151-166.
- KOVÁČ L. 1994. Effect of soil type on collembolan communities in agroecosystems. *Acta Zoologica Fennica* 195:89-93.
- LARSEN T., SCHJØNNING., AXELSEN J. 2004. The impact of soil compaction on eudaphic Collembola. *Applied Soil Ecology* 26: 273-281.
- LUIZÃO F.J. 1985. Influência da calagem e aducação orgânica na mesofauna e nas propriedades físicas de um latossolo amarelo textura argilosa, R.bras. *Ci.solo* 9: 81-84.
- MAES J.M., PALACIOS-VARGAS J.G. 1988. Catálogo de los Insecta Apterygotade Nicaragua. *Revista Nicaragüense de Entomología* 4:1-9.
- MARI MUTT J.A. 1979. A revision of the genus *Dicranocentrus* Schött (Insecta: collembola: Entomobryidae). *Bull. Agricultur. Experimental. Station. University of Puerto Rico Rio Piedras, Puerto Rico.* 259:1-79.
- MARI MUTT J.A., BELLINGER P.F. 1990. A catalog of the neotropical Collembola including nearctic areas of México, flora and fauna handbook N° 5 Sandhill Crane Press, Gainesville, Florida, USA. 237 p.
- NEGRI I. 2004. Spatial distribution of Collembola in presence and absence of a predator. *Pedobiologia* 48:585-588.
- OLIVEIRA E.P., DEHARVENG L. 1995. Response of soil collembola (Insecta) communities to forest disturbance in Central Amazonia (Brazil). UPR 9014 du CNRS, Laboratoire de Zoologie. Université P. Sabatier, 31062 Toulouse-Cedex (France).
- PALACIOS-VARGAS J.G., OJEDA M., CHRISTIANSEN K. 1986. Taxonomía y biogeografía de *Troglopedetes* (Collembola: Paronellidae) en America, con énfasis en las especies cavernícolas. *Folia Entomológica Mexicana* 65:3-35.
- PALACIOS-VARGAS J.G. 1990. Diagnósis y clave para determinar las familias de Collembola de la región neotropical. Facultad de Ciencias. UNAM, Mexico. 15 p.
- PALACIOS-VARGAS J.G. 1992. Guide to the springtails of Panamá and Costa Rica (Collembola). *In: Insects*

- of Panamá and Mesoamerica. Selected studies. D. Quintero and A. Aeillo (eds.) Oxford University Press. 25-36 p.
- PALACIOS-VARGAS J.G. 2000. Los Collembola (Hexapoda Rntognatha) de Jalisco, Mexico. *Dugesiana* 7(1): 23-36.
- RÖSKE H. 1989. Collembola fauna on diferente types of agriculturally used soil. *In: Proc.3rd Int. Sem. Apterigota*, Siena Italy. 283-290 p.
- RUSEK J. 1998. Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity and Conservation* 7:1207-1219.
- SOTO-ADAMES F.N., GUILLÉN-SÁNCHEZ C. 2004. Two new species of marine springtails from Costa Rica. Artículo sometido.
- STORK N.E., EGGLETON P. 1992. Invertebrates as determinants and indicators of soil quality. *American Journal of Alternative Agriculture* 7:23-32.
- VÁZQUEZ MA.M., PALACIOS-VARGAS J.G. 2004. Catálogo de los colémbolos (Hexapoda: Collembola) de Sian Ka'an Quintana Roo, México. 123 p.
- ZAR J.H. 1996. *Biostatistical Analysis*. 3rd Ed. Prentice. New Jersey, USA. 988 p.

