

## ESTUDIO ECOLÓGICO DE LAS COMUNIDADES DE COLÉMBOLOS EN ZONAS REFORESTADAS CON EUCALIPTO Y PINO EN ASTURIAS (NOROESTE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA)

M.J. Lucíañez & N. Gómez Silgado

Dpto. Biología (Zoología). Universidad Autónoma de Madrid. Cantoblanco, 28049 Madrid.

**Resumen:** En este trabajo se efectúa un estudio comparativo de las comunidades de colémbolos existentes en diversos ecosistemas autóctonos y alóctonos del término municipal de Luarca (Asturias). Se observan variaciones en la distribución de especies entre los distintos tipos de bosques, en función de los parámetros físico-químicos y otras variables, como la influencia humana o el tipo de vegetación. Se determinan posibles especies indicadoras de diversas variables edáficas o de alguno de los factores anteriormente citados. Como conclusión más importante, se puede observar que las condiciones edáficas generadas por un eucaliptal bien instalado no se muestran tan diferentes a las presentes en un bosque natural, y que el principal factor que condiciona la distribución de la fauna colembológica es el contenido en materia orgánica del suelo.

**Palabras clave:** Collembola, *Eucalyptus globulus*, reforestación, Asturias (norte de España)

### Ecological study of Collembola communities from soils reforested with *Eucalyptus* and pine species (NW Iberian Peninsula)

**Abstract:** A study was carried out by comparing communities of Collembola living in different ecosystems (native forests and various plantations of exotic tree species, mainly *Eucalyptus globulus* and pine forest) in Luarca (Asturias, northern Spain). Significant differences were found between the various ecosystems involving the number of individuals, the number of taxa and diversity indexes, in connection with physical and chemical parameters and other variables, such as anthropic effect linked to the management of forest and reforestation. The Collembola could therefore be used as early bioindicators of changes brought about in soil properties by the effects of the exotic species *per se* and the management techniques used in the plantation. The main conclusion was that the edaphic characteristics of an old *Eucalyptus globulus* plantation are not very different from those of natural sites, and the most important factor affecting the distribution of Collembola is the quantity and quality of organic matter found in the soil.

**Key words:** Collembola, *Eucalyptus globulus*, reforestation, Asturias (northern Spain).

### Introducción

Son muchos los estudios realizados sobre el comportamiento ecológico de los eucaliptos, así como sobre su influencia en la biodiversidad animal y vegetal. Algunos autores (González *et al.*, 1989), consideran el eucalipto como una especie alóctona que degrada los suelos, dejándolos estériles para la agricultura, destruyendo los equilibrios ecológicos y reduciendo la diversidad biológica. En cambio, otros autores (Vázquez *et al.*, 1997) señalan ciertas ventajas sobre esta especie vegetal, como su adaptación a terrenos pobres y producción de madera de buena calidad. Se comprueba además que intercepta menos cantidad de agua que otras especies vegetales, como por ejemplo el roble, con lo cual el aporte de las precipitaciones al suelo es mayor en un eucaliptal.

En el norte de la Península Ibérica han sido varios los autores que han dado a conocer diversa información sobre la influencia de *Eucalyptus globulus* Labill. sobre la fauna. Pina (1983), Bara *et al.* (1985) y Fernández y Galerza (1986) por ejemplo, al comparar la fauna encontrada entre eucaliptales y pinares, muestran diferencias entre los distintos tipos de vegetación.

Respecto a los cambios observados en las comunidades de colémbolos, se han realizado trabajos sobre la colonización de zonas reforestadas con especies no autóctonas, en concreto eucalipto, en Australia (Coy, 1997). En España, la influencia de las repoblaciones sobre los colémbolos, ha sido tratada por numerosos autores como Arbea & Jordana (1985), Pinto *et al.* (1997), Sousa *et al.* (1997),

Ruiz Ortega (1999), entre otros. Referido a la influencia del eucaliptal sobre los colémbolos, generalmente se afirma que la reforestación con *E. globulus* influye en las comunidades, siendo la fauna de zonas naturales o zonas con otro tipo de vegetación, más rica y más diversa que la asociada al eucalipto. El empobrecimiento de la fauna del suelo en las plantaciones de eucaliptos ha sido citada por muchos autores (Gama *et al.*, 1989, 1991, 1994, 1995, 2003; Sousa & Gama, 1994; Vasconcelos & Gama, 1994; Sousa *et al.*, 1997; Barrocas *et al.*, 1998).

Los colémbolos, al igual que otros grupos de invertebrados edáficos, como los ácaros, ofrecen ciertas ventajas para comprobar la calidad de los ecosistemas terrestres: su diversidad es elevada, así como su abundancia numérica, se muestrean de manera fácil y se pueden encontrar en todas las estaciones (Maurizio *et al.*, 1991). Son considerados como buenos indicadores de las características del suelo, de su nivel de actividad y de las modificaciones del sustrato. De esta forma son abundantes las citas de autores que los utilizan como bioindicadores para revelar las diferencias en el desarrollo de los bosques y su influencia en la evolución normal de los ecosistemas (Arpin *et al.*, 1984; Jordana *et al.*, 1987; Ariño *et al.*, 1992; Mateos, 1992).

Debido a su carácter bioindicador, este estudio pretende contribuir al conocimiento y comprensión de la posible influencia de *E. globulus* sobre las comunidades de colémbolos, y por ello sobre el suelo, en distintos ecosistemas cercanos a Luarca (Asturias).

Tabla I. Características de los perfiles edáficos muestreados

	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4	Perfil 5	Perfil 6	Perfil 7	Perfil 8	Perfil 9
Muestras	M1	M2-M3	M4	M5-M6	M7	M8-M9-M10	M11	M12	M13
Altitud	175 m	220 m	260 m	280 m	265 m	330 m	260 m		
Posición Fisiográfica	fondo valle	ladera escarpada	fondo valle	pendiente cóncava	ladera escarpada	pendiente cóncava	ladera escarpada	ladera escarpada	ladera escarpada
Vegetación	castaño roble, aliso laurel + helecho	eucalipto brezo	eucalipto	eucalipto +helecho	eucalipto	pinar brezo	gramíneas tojo	roble abedul castaño cerezo	eucalipto
Material de Partida	cuarcitas pizarras	coluvión cuarcitas areniscas	cuarcitas pizarras	cuarcitas areniscas	cuarcitas areniscas	areniscas	cuarcitas areniscas	cuarcitas areniscas	coluvión cuarcitas areniscas
Influencia Humana	no	sí	sí	sí	sí	sí	sí	no	sí
Clasificación Edafológica	leptosol úmbrico	cambisol húmico	leptosol úmbrico	cambisol húmico	cambisol húmico	podsol háplico	leptosol úmbrico	cambisol húmico	cambisol húmico

Tabla II. Variables físico-químicas estudiadas en cada muestra

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
<b>PH</b>	4,4	3,7	4,5	3,4	4	4,8	3,6	3,8	3,7	4,4	4,5	5,8	3,8
<b>Materia Orgánica (%)</b>	10,5	18,4	14,6	29,1	11,5	1,4	40	38,5	17,4	2,7	10,8	12,4	70,4
<b>Conductividad (µS/ cm)</b>	76	132	96	87	7	42	102	72	56	51	51	89	47

El plan de trabajo consiste en primer lugar en la identificación de todas las especies de colémbolos encontradas, realizándose un listado taxonómico; después se efectúa un estudio de la diversidad y riqueza de las comunidades muestreadas, completando el trabajo con la realización de distintos análisis multivariantes que permiten determinar las relaciones existentes entre las especies, y entre las especies y las distintas muestras.

Los resultados obtenidos a partir de estos análisis permitirán hacer un estudio ecológico que nos facilite observar si existe relación entre las especies y la vegetación de las muestras en las que habitan; en cuyo caso se comprendería cómo los colémbolos pueden ser buenos indicadores del grado de alteración que podría sufrir el suelo por el efecto del eucalipto.

## Material y métodos

### Área de estudio:

El área de estudio se sitúa al sur del municipio de Luarca (UTM 29TPJ9524), en el noroeste de Asturias. La zona específica del estudio ocupa el tramo inferior de la cuenca del río Esva, concretamente en el Monte la Chamiella.

Biogeográficamente la zona pertenece al Subsector Galaico-asturiano Septentrional (Provincia Cantabro-Atlántica), unidad biogeográfica que se extiende en Asturias al Oeste de la cuenca baja del río Narcea. Las características distintivas de la cubierta vegetal son la presencia de vegetación oligotrófica del carbayo (*Blechno spicanti-Quercetum roboris* S.) y la ausencia casi total de plantas eutróficas y de encinares, debido a la abundancia de dominio silíceo. La vegetación original estaría compuesta por plantas propias de las áreas atlánticas ibéricas. Actualmente se distinguen: bosques y prebosques mesófilos (carbayedas, alisedas, mardroñales, formaciones de brezo blanco, xesteiras), brezales y tojales de *Ulex europaeus*, *Ulex cantrabricus* y *Erica mackajana*; prados y cultivos hortícolas, prados de siega y diente; prados de siega higrófilos; cultivos herbáceos (huer-

tas y vallicares); turberas y otros tipos de vegetación tales como vegetación de roquedos, de pedregales de río, de gleras, de comunidades acuáticas flotantes (Díaz González y Fernández-Prieto, 1994, Mayor López y Díaz González, 1977).

El muestreo se realizó en invierno de 2001, y se tomaron trece muestras de las cuales, dos pertenecen a zonas naturales en las que no ha habido influencia humana y representan bosques autóctonos de la zona, ocho a eucaliptales con distinto tipo de vegetación y con alguna tala, y tres a pinar y brezo. La correspondencia entre la vegetación y las muestras es la siguiente: Zona natural: **M1** y **M12** (muestra representativa de bosque original de Sierra Chamiella). Eucaliptales: **M2**, **M3**, **M4**, **M5**, **M6**, **M7** y **M13**. **M2** y **M3** corresponden a suelos de evolución podsólica con mor en superficie por efecto del eucalipto. **M13** representa un eucaliptal con cuatro talas. Gramíneas y tojo (albergó un eucaliptal con anterioridad): **M11**. Pinar con brezo: **M8**, **M9** y **M10**.

### Estudio edafológico:

Las muestras recogidas pertenecen a nueve perfiles edáficos diferentes, siendo sus características las mostradas en la tabla I. La tabla II resume las variables físico-químicas estudiadas correspondientes a cada muestra.

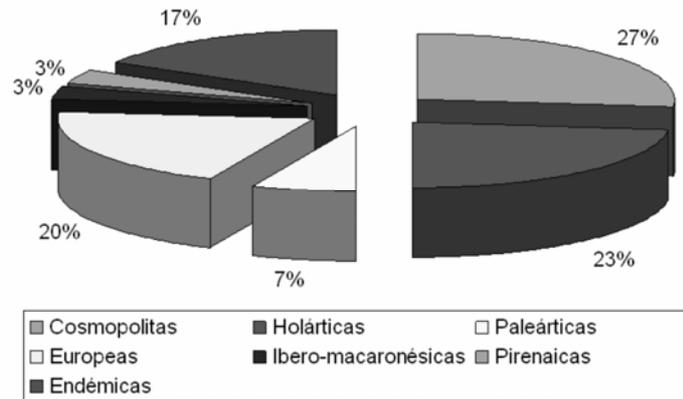
### Extracción, preparación e identificación de la fauna.

#### Análisis numérico:

El volumen de suelo recogido para la extracción de la fauna fue de 100 cc. El método tradicional de extracción que se utiliza es el conocido sistema Berlese-Tüllgren. Tras el tratamiento con ácido láctico y el montaje en preparaciones permanentes, se procede a la determinación taxonómica a nivel de especie de todos los ejemplares de colémbolos encontrados.

Una vez calculada la frecuencia y abundancia de cada especie, con el objetivo de analizar la posible variación en la composición faunística de cada muestra se calculan los

**Fig. 1.** Porcentaje de categorías biogeográficas de las especies de colémbolos encontradas.



siguientes índices que miden sobre todo la riqueza y estructura de la comunidad (Moreno, 2000): riqueza específica (S), índices de dominancia (Índice de Simpson  $\lambda$ ), índices de equidad (Índice de Shannon-Wiener  $H'$ , y equidad de Pielou  $J'$ ). Como análisis multivariantes se han realizado: análisis de Cluster o de conglomerados, análisis de componentes principales y clasificación divisiva.

## Resultados

### Estudio faunístico:

Se han identificado un total de 906 colémbolos pertenecientes a 32 especies, cuya distribución en las muestras se observa en la tabla del anexo. Desde el punto de vista biogeográfico, las categorías encontradas presentan los porcentajes de la figura 1.

Según estos datos se encuentra un elevado número de especies de amplia distribución geográfica, ya que el 57% de las especies son cosmopolitas, holárticas y paleárticas, y el 13% de las especies son endémicas ibéricas. Sin embargo, el número de ejemplares de algunas de las especies de distribución restringida es notablemente elevado, como se verá a continuación.

Las especies más abundantes son *Folsomia setosa* Gisin, 1963, con 128 ejemplares, *Isotomiella madeirensis* (Gama, 1959) con 121 individuos, y *Mesaphorura isochoaeta* Arbea y Jordana, 1989, con 108.

*Folsomia setosa* es una especie centroeuropea, restringida a la zona septentrional de España. Es típica de bosques caducifolios (Arbea & Jordana, 1985), sin embargo la mayor parte de las citas corresponden a eucaliptales y hayedos (Pozo & Martínez, 1983; Pozo, 1986). Es muy abundante en la muestra M13 donde alcanza casi el 50% de los individuos encontrados.

*Isotomiella madeirensis* es una especie distribuida hasta ahora en Portugal continental y Madeira, y aunque ha sido encontrada en suelos de acacias, pinares y musgos, es especialmente abundante en bosques de eucaliptos (Gama, 1959a y 1959b). Posiblemente sea más abundante en la Península de lo que hasta ahora se cree, debido a su confusión con *I. paraminor* Gisin, 1942, muy semejante a ella. En este trabajo abunda en M1 y M12, los dos puntos de bosque natural, llegando a alcanzar aproximadamente el 75% de todo el muestreo.

*Mesaphorura isochoaeta* es una especie endémica de la Península Ibérica, localizada en la mitad septentrional y típica de bosques de coníferas y caducifolios (pinares, hayedos, robledales, alerces y en brezales). Se distribuye de

manera muy homogénea en las muestras M4, M7 y M8 correspondientes a eucaliptal, y M11, muestra de gramíneas con tojo.

Son también destacables otras especies como *Tetracanthella* sp., que abunda notablemente en la muestra M4 (95% de la población total, tabla del anexo), y posiblemente se trate de una nueva especie. *Anurophorus satchelli* Goto, 1956 abunda en M2 (eucaliptal con brezo), M12 (natural) y M13 (eucaliptal con 4 talas); se trata de una especie europea, restringida por tanto a la cornisa septentrional española. Hasta ahora ha sido encontrada en pinar y distintos bosques caducifolios, es la primera cita en eucaliptales.

*Pseudosinella alba* (Packard, 1873) sólo ha aparecido en eucaliptal (M4), igual que *Mesaphorura macrochaeta* Rusek, 1976 (M4, M5 y M11) y que *Isotomurus* gr. *palustris* (M4, M5 y M6). *Hypogastrura tuberculata* (Cassagnau, 1959) solo se ha encontrado en zona natural (M1), y *Tomocerus minor* (Lubbock, 1862) solo aparece en pinar con brezo (M8 y M9).

Son también destacables *Folsomia ocellata* Jordana, 1979 y *F. decopsis* Steiner, 1958, también endémicas de la Península Ibérica.

### Estudio ecológico:

El número de individuos de cada especie y muestra figura en la tabla del anexo. La tabla III recoge el número total de especies y de ejemplares, y los distintos índices de diversidad y riqueza calculados.

Comparando la tabla II y III se observa que las muestras M8 (pinar con brezo), M4 (eucaliptal) y M13 (eucaliptal) presentan las poblaciones más abundantes (192, 154 y 148 ejemplares respectivamente), el pH más bajo y el mayor porcentaje en materia orgánica. En esta variable destaca también la muestra M7 con un gran contenido en materia orgánica y una comunidad también importante (80 individuos). Las muestras M6 (eucaliptal con helecho) y M10 (pinar con brezo) presentan el menor contenido en materia orgánica, y junto con M9 (pinar con brezo) las menores poblaciones (13, 5 y 12 ejemplares respectivamente). Respecto a las muestras de bosque natural, M1 y M12, contienen poblaciones numerosas de colémbolos, pero no son las más destacadas, como ocurre igualmente con su porcentaje de materia orgánica.

La mayor riqueza específica se presenta en la muestra M8 (19) seguida de M12 con 13 especies. La menor riqueza corresponde a las muestras M3 (eucaliptal con brezo) en la que no se ha encontrado ningún ejemplar de colémbolos, M2 (eucaliptal con brezo) y M10 (pinar con brezo).

Tabla III. Abundancia, riqueza e índices de diversidad calculados en cada muestra

	M1	M2	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13
N	86	35	154	32	13	80	192	12	5	35	113	148
S	8	3	10	9	5	6	19	9	3	7	13	10
$\lambda$	0,427	0,84	0,299	0,236	0,231	0,313	0,113	0,125	0,44	0,525	0,189	0,199
H'	1,226	0,347	1,583	1,691	1,525	1,349	2,466	2,138	0,950	1,098	1,953	1,875
Hmax	2,079	1,098	2,302	2,197	1,609	1,792	2,944	2,197	1,098	1,946	2,565	2,302
J'	0,589	0,316	0,687	0,769	0,947	0,753	0,837	0,973	0,865	0,564	0,761	0,814

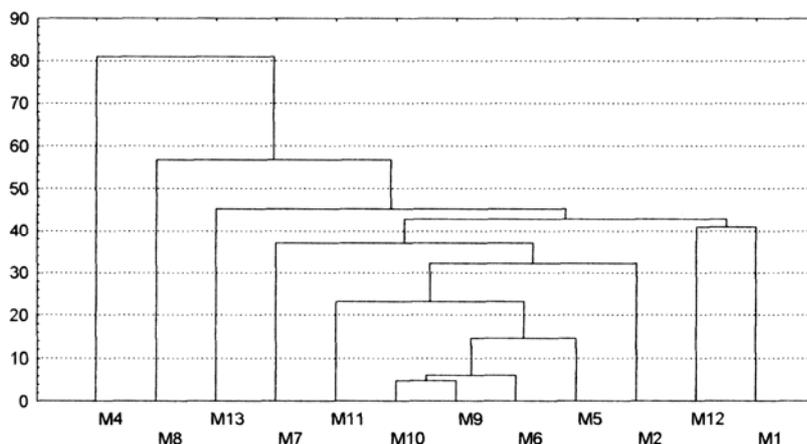


Fig. 2. Cluster realizado mostrando el grado de similitud entre las distintas muestras analizadas.

Respecto a la diversidad y la uniformidad, se observa en la tabla que correspondiendo con el contenido en materia orgánica los índices de diversidad más altos se encuentran en las muestras M8 ( $H' = 2,466$  y  $H_{max} = 2,944$ ), M9 ( $H' = 2,138$  y  $H_{max} = 2,197$ ) y M12 ( $H' = 1,953$  y  $H_{max} = 2,565$ ). Así mismo, la menor diversidad se encuentra en las muestras M2 ( $H' = 0,347$  y  $H_{max} = 1,098$ ) y M10 ( $H' = 0,95$  y  $H_{max} = 1,098$ ). Los valores mayores del índice de equidad ( $J'$ ) corresponden a las muestras M9 (0,973), M6 (0,947), M10 (0,865) y M8 (0,837), indicando la existencia de poblaciones homogéneas en cuanto a su composición específica. Corresponden de nuevo a muestras de pinar con brezo o de eucaliptal (M6). La muestra M2, de eucaliptal con helecho, además de presentar el índice de diversidad menor, muestra un índice de dominancia superior a todos los demás, debido a la casi exclusiva presencia de una especie: *Anurophorus satchelli*, encontrada también en M12 y M13, en una población menos numerosa.

La muestra M8, además de su diversidad, riqueza y uniformidad, presenta un conjunto de especies único, con *Folsomia ocellata*, *F. decopsis*, *Willemia anophthalma* Börner, 1901 y *Mesaphorura yosii* (Rusek, 1967), todas con un buen número de ejemplares.

#### Análisis multivariantes

Para la realización de estos análisis se ha eliminado la muestra M3 (sin ejemplares de colémbolos) y la especie *Sminthurinus aureus* (Lubbock, 1862) (un ejemplar en una muestra). En las representaciones gráficas se han usado abreviaturas para denominar las especies, las cuales aparecen en la tabla del anexo.

La figura 2 representa el Cluster realizado analizando las distintas muestras, y las figuras 3 y 4 muestran los resultados obtenidos mediante el análisis de Componentes Principales realizado sobre la abundancia de las distintas especies de colémbolos.

Se observa en la figura 2, una clara asociación entre M12 y M1, ya que ambas son de bosque natural que no han sufrido ningún tipo de alteración, y entre M9 y M10, de suelo de pinar con brezo. M4, muestra de eucaliptal, aparece apartada de las demás, y de la misma forma sucede con M8.

Respecto al análisis de Componentes Principales, los cuatro primeros factores absorben el 75,92% de la varianza: el factor 1 representa el 32,5%, el factor 2 el 17,3% de la varianza, 15,02 el tercero, y 11,1% el factor 4. La gráfica realizada con los factores 1 y 2 representados en los ejes X e Y se muestra en la figura 3. Se observa que el eje X separa las especies más abundantes y características de la muestra M8 de todas las demás. Esta muestra es la única que corresponde a un horizonte orgánico superficial de pinar con brezo, con alto contenido en materia orgánica. El segundo cuadrante del plano formado por la región positiva del eje Y (factor 2) y negativa del X (factor 1) distribuye las especies abundantes en las muestras M1, M2, M12 y M13, de bosque natural y eucaliptal más antiguo, que coinciden en la abundancia notable de algunas de sus especies.

En la región negativa del eje X e Y, se sitúan las especies representativas de la muestra M4, de eucaliptal, con alto contenido en materia orgánica. El factor 2 por lo tanto, separa las especies características de esta muestra M4, de eucaliptal, con el pH más ácido de todo el muestreo.

El factor 3 (figura 4) aísla las especies de la muestra M1, de horizonte superficial de bosque natural, con leve cantidad de materia orgánica. El factor 4 (eje Y) podría producir una discriminación entre las especies más abundantes en la M12 y en la M13. Ambas muestras son semejantes en sus especies e incluso en su abundancia, pero algunos taxones son más representativos de M12 y se colocan en la región negativa del eje Y (figura 4), y los más abundantes en la M13 se colocan en la región positiva del eje. M12 corresponde a un robledal y M13 a un eucaliptal de cuatro talas.

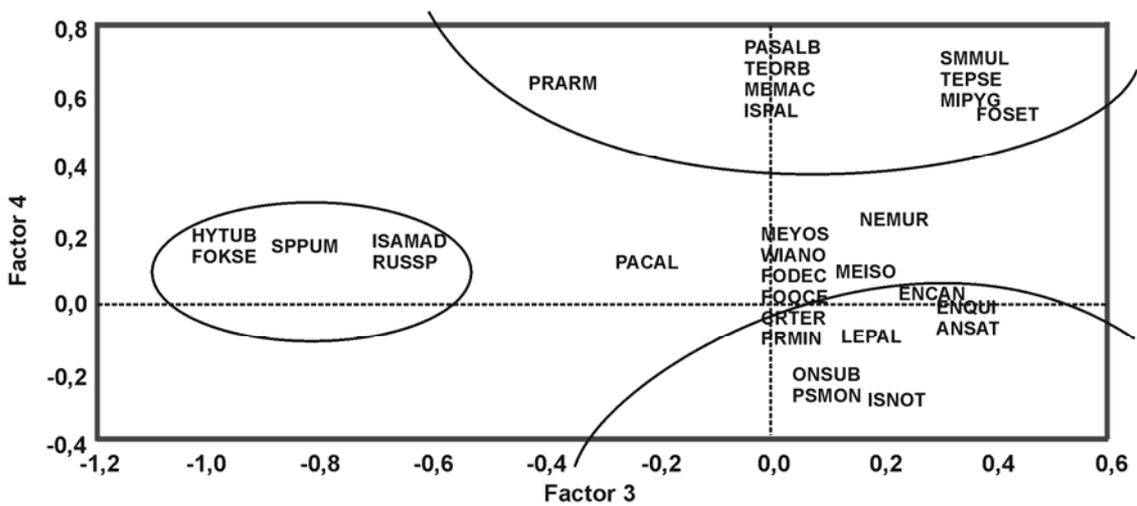
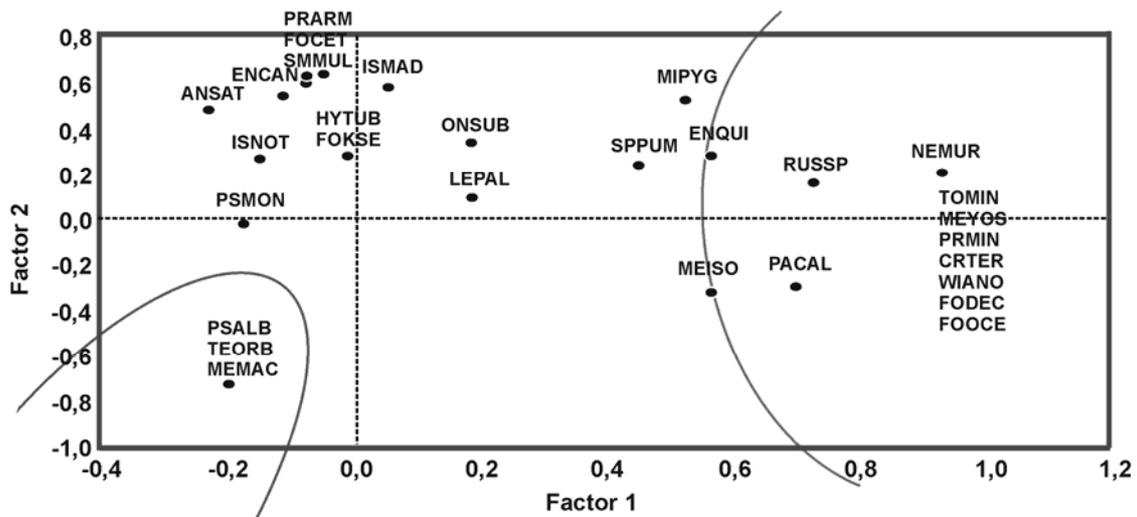


Fig. 3. Análisis de componentes principales representando los factores 1 y 2.

Fig. 4. Análisis de componentes principales representando los factores 3 y 4.

En la clasificación divisiva obtenida a partir de especies discriminantes de cada muestra, se obtuvo el árbol de la figura 5. Como se puede observar las dos primeras especies discriminantes son *Willemia anophtalma* y *Mesaphorura yosii* ambas especies presentes en la muestra M8, suelo superficial, con bastante cantidad de materia orgánica y con un pH que se aproxima a 4.

La siguiente división se debe a la especie *Micranurida pygmea* Börner, 1901. Se trata de una especie típicamente forestal, acidófila o ácido-tolerante, característica de humus bruto (Arpin *et al.*, 1984). Las muestras en las que aparece presentan un pH más bajo (M7, M9, M12 y M13, en la muestra M12, con pH elevado apareció un solo individuo), que las muestras donde no se halla (M1-M6, M10 y M11).

Siguiendo la subdivisión en la que se encuentra presente *M. pygmea*, aparece *Tetracanthella pilosa* Schött, 1891 como discriminante entre especies, agrupando las muestras dos a dos. De este modo se asocian las muestras M12 y M13, con *T. pilosa* presente, y M7 y M9, con ausencia de la especie. *T. pilosa* se ha encontrado tanto en musgos sobre rocas como troncos, hojarasca y suelo en distintos tipos de bosques, aunque asociada normalmente a zonas montañosas (Jordana y Arbea, 1990). Prefiere las capas

superficiales y muestras de mayor contenido en materia orgánica.

*Paratullbergia callipygos* (Börner, 1903) caracteriza con su presencia las muestras M1, M4, M5, M10 y M11, y con su ausencia las muestras M2 y M6. Son éstas, pobres en materia orgánica con una riqueza de individuos y especies baja, correspondientes a un eucaliptal con brezo y eucaliptal con helecho, de profundidad. *Folsomia ocellata* y *F. decopsis* separan con su presencia conjunta la muestra M5, de eucaliptal y helecho. Ambas especies parecen ser bastante ácido tolerantes, apareciendo en bosques de eucaliptos del norte peninsular (Arbea & Jordana, 1985).

En la última subdivisión la especie discriminante es *Mesaphorura isochaeta*, que separa las muestras M4 y M11, en las que está presente, de M10 y M1. Esta especie ha sido encontrada en bosques de pinos, hayas, robles y brezales, lo que parece indicar su preferencia por los medios cerrados o boscosos (Jordana *et al.*, 1997); en este caso separa dos eucaliptales (M4 y M11) de una zona de pinar y brezo de profundidad (M10) y de una zona de bosque natural (M1). Su presencia en M4 y M11 puede ser debida al mayor contenido en materia orgánica de estas dos muestras.

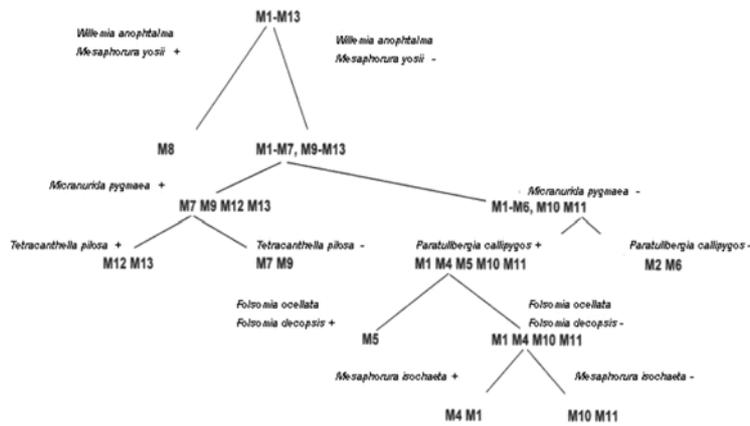


Fig. 5. Representación gráfica de la clasificación divisiva efectuada.

## Discusión

El análisis de todos los datos parece indicar que no se observan diferencias significativas entre algunas muestras de eucaliptal y muestras de otros medios, ya sean naturales o de reforestación con otras especies vegetales. Así por ejemplo, la abundancia en número de individuos encontrada en la muestra M4 (eucaliptal) es la segunda de todo el muestreo. Además, los valores de abundancia de algunas especies alcanzan su valor más alto en muestras de eucalipto, como es el caso de *Tetracanthella* sp. en la muestra M4. El hecho de que algunas especies aparezcan de manera muy abundante en muestras de eucalipto parece ser debido a la disminución o desaparición de especies que alteran sus efectivos debido a una perturbación en el medio, así especies más resistentes toman ventaja sobre las nuevas condiciones edáficas y se incrementa su abundancia (Bonnet *et al.*, 1976, 1977, 1979; Arbea & Jordana, 1985).

Comparando los resultados de diversidad, se observa que las muestras de eucaliptal presentan menor número de especies; sin embargo, cabe destacar que M13 (eucaliptal con cuatro talas) es la segunda en número de especies más elevado. Estudios previos que han comparado fauna de eucaliptales con fauna de bosques de otras especies vegetales afirman un empobrecimiento en la diversidad en bosques de *Eucalyptus*, generalmente atribuido a cambios en parámetros químicos del suelo, tales como la materia orgánica, el contenido en carbono y nitrógeno, la humedad, etc (Gama *et al.*, 1994; Sousa & Gama, 1994; Vasconcelos & Gama, 1994; Sousa *et al.*, 1997).

Los resultados del análisis de cluster muestran la asociación de las dos muestras de zona natural, por otro lado las muestras de eucalipto y sotobosque se unen a las de profundidad de pinar y brezo, y también con las de gramíneas y tojo (antiguo eucaliptal). Además, una de las muestras de eucaliptal se sitúa muy próxima a la de zona natural. Por tanto, se podría concluir que las condiciones edáficas que generan la cubierta vegetal de un eucaliptal bien instalado, permanecen incluso cuando el eucalipto es talado y desaparece, y son semejantes a las generadas en un pinar de repoblación con sotobosque de brezo. Curiosamente, el eucaliptal de cuatro talas tiene unas condiciones edáficas más próximas a las de zonas naturales.

Como factores que afectan la distribución de las especies de colémbolos en este muestreo, aparecen especialmente la cantidad de materia orgánica y el pH del suelo. En el estudio sin embargo se observa alguna contradicción respecto al primer factor, pues siendo la muestra M13 la de mayor

contenido en materia orgánica, la mayor población se encuentra en otras (M8) con menor cantidad. Las razones pueden ser varias: la primera es que se consideran importantes en la calidad del sustrato otros factores como el grosor de los estratos del suelo, el pH, o la relación carbono/nitrógeno (Richards, 1987). Y la segunda razón que influye en el número de individuos y especies de las comunidades del suelo, es la calidad de la materia orgánica de la que se alimentan los colémbolos. Estos muestran preferencias por determinadas especies de hongos de las que se alimentan y por sus estados de desarrollo (Graca, 1993). La materia orgánica presente en zonas boscosas de pinares, robledales, etc..., parece ser de mejor calidad y más preferida que la materia orgánica producida en un suelo de eucaliptal; esto podría explicar el dato de que la muestra M13 presente menor número de individuos siendo la de mayor contenido en materia orgánica. Además, el grosor de la capa de materia orgánica que se produce en un eucaliptal es de menor desarrollo que la de otros suelos dominados por otras especies vegetales.

Es de resaltar además el dato de que las especies más abundantes del muestreo, e incluso también de las zonas de eucaliptal, son de distribución restringida y hábitos estenoi-cos, aunque hay excepciones. Así, *Folsomia setosa* (128 individuos) es europea y de montaña; *Isotomiella madeirensis* (121 ejemplares) es de distribución restringida, o son endémicas como *Mesaphorura isochoaeta* (108 individuos) y *Tetracanthella* sp. (80 ejemplares); y aunque se encuentran especies cosmopolitas la densidad es muy baja, señalando estos resultados que, las especies más abundantes son de distribución más restringida que las menos numerosas.

Finalmente, la influencia del eucalipto sobre las comunidades de colémbolos depende, como se deduce de las referencias bibliográficas y de este trabajo, de los cambios que aquel produzca en las características del suelo, pero también van a influir los procedimientos utilizados en su plantación (mantenimiento o no de la vegetación que le rodea) y el manejo de la población (limpiezas regulares y talas); cuanto menos alterado se encuentre el horizonte orgánico, la cubierta vegetal, y en general el ecosistema en el establecimiento de la plantación, las condiciones edáficas serán más adecuadas para los microartrópodos del suelo.

Se puede decir además, que en las zonas repobladas con eucalipto y pino se ha regenerado la fauna colembológica (principalmente con especies de amplia distribución) pero se mantienen y se desarrollan especies de distribución estenoica y endémica de la zona natural original.

## Referencias bibliográficas

- ARBEA, J.I. & R. JORDANA 1985. Efecto de una repoblación con coníferas en un robledal de Navarra sobre los colémbolos edáficos. *Bolm. Soc.Port. Ent.*, **2**(1): 277-286
- ARIÑO, A., M. MORAZA, M.A. HERNANDEZ & R. JORDANA 1992. Cambios en la edafofauna de hayedos alterados. *Actas Congreso Internacional del Haya*, Pamplona: c60-c66.
- ARPIN, P., J. F. PONGE, B. DABIN & A. MORI 1984. Utilisation des nématodes Mononchida et des Collemboles pour caractériser des phénomènes pédobiologiques. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, **21**(2): 243-268.
- BARA, S., A. RIGUEIRO, M. C. GIL, P. MANSILLA & M. ALONSO 1985. *Efectos ecológicos del Eucalyptus globulus en Galicia. Estudio comparativo con Pinus pinaster y Quercus robur*. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones agrarias. 377 pp.
- BARROCAS, H.M., M. GAMA, J. P. SOUSA & C.S. FERREIRA 1998. Impact of reforestation with *Eucalyptus globulus* Labill on the edaphic collembolan fauna of Serra Monchique (Algarve, Portugal). *Misc. Zool.*, **21**(2): 9-23.
- BONNET, L., P. CASSAGNAU & L. DEHARVENG 1976. Un exemple de rupture de l'équilibre biocénotique par déboisement: les peuplements de collemboles édaphiques du Piau d'Engaly (Hautes Pyrénées). *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, **13**(2): 337-351.
- BONNET, L., P. CASSAGNAU & L. DEHARVENG 1977. Influence du déboisement et du reboisement sur les biocénoses de collemboles dans quelques sols pyrénéés. *Bull. Ecol.*, **8**(3): 321-332.
- BONNET, L., P. CASSAGNAU & L. DEHARVENG 1979. Recherche d'une méthodologie dans l'analyse de la rupture des équilibres biocénotiques: applications aux Collemboles édaphiques des Pyrénées. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, **13**(3): 373-401.
- COY, R. 1997. The impact of fire on soil invertebrates in *Eucalyptus regnans* forest at Powelltown, Victoria. *Biodiversity Series Paper* No. 15, Abbotsford, Victoria, Australia. 20 p.
- DÍAZ GONZÁLEZ, T. Y J. FERNÁNDEZ-PRIETO 1994. La vegetación de Asturias. *Itineraria geobotánica*, **8**: 243-528.
- FERNANDEZ, A. & A. GALERZA 1986. Estructura y clases de áreas en distintos medios del tramo costero del País Vasco. *Bol. Est. Centr. Ecología*, **29**: 59-66.
- GAMA, M.M. 1959a. Contribuição para o estudo dos Colémbolos do Arquipélago da Madeira. *Mem. Est. Mus. Zool. Univ. Coimbra*, **257**: 1-42.
- GAMA, M.M. 1959b. Contribuição para o estudo dos Colémbolos de Portugal Continental. *Mem. Est. Mus. Zool. Univ. Coimbra*, **260**: 1-33
- GAMA, M.M., A. F. SANTOS & A. NOGUEIRA 1989. Comparaison de la composition de populations de Collemboles de peuplements d'eucalyptus (*Eucalyptus globulus*) et de Chêne-liège (*Quercus suber*). *Proceedings of the 3rd International Seminar on Apterygota*: 339-345. Siena (Italy).
- GAMA, M.M., A. F. SANTOS & A. NOGUEIRA 1991. Effects du reboisement par *Eucalyptus globulus* sur les Collemboles édaphiques. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, **28**: 9-18.
- GAMA, M.M., J. P. SOUSA & T.M. VASCONCELOS 1994. Comparison of collembolan populations from Portuguese Forests *Quercus rotundifolia* Lam and *Eucalyptus globulus* Labill. In: *Proffesor Germano da Fonseca Sacarrao. Arqs. Mus. Bocage*, Lisboa: 201-204.
- GAMA, M.M., J. P. SOUSA & T.M. VASCONCELOS 1995. Comparison of collembolan populations structure from Portuguese forest of *Pinus pinaster* Aiton and *Eucalyptus globulus* Labill. *Bull. Ent. Pologne*, **64**: 77-89.
- GAMA, M.M., J. P. SOUSA, T. M. VASCONCELOS, C. S. FERREIRA & H. BARROCAS 2003. Changes in biodiversity patterns of soil Collembola caused by eucalyptus plantations in Portugal: a synthesis. *Acta Entomologica Iberica e Macaronesica*, **1**: 11-22.
- GONZALEZ, F., M. RUIZ & C. LEVASSOR 1989. *Efectos de las plantaciones de eucaliptos en el Norte de España*. Informe para la Dirección General de Medio Ambiente, Seguridad Nuclear y Protección Civil.
- GRAÇA, M. 1993. Pattern and processes in detritus-based stream systems. *Limnologica*, **23**: 107-114.
- JORDANA, R. & J.I. ARBEA 1990. *Catálogo de Colémbolos Ibéricos. Base de datos*. Publicaciones de Biología de la Universidad de Navarra. 231 pp.
- JORDANA, R., J. I. ARBEA, L. MORAZA & M.H. HERNANDEZ 1987. Efecto de la repoblación forestal sobre la fauna del suelo. Estudio a nivel específico. *Actas VIII Bienal de la Real Sociedad Española de Historia Natural*, Pamplona, 547-554.
- JORDANA, R., J. I. ARBEA, M. J. LUCIAÑEZ & J.C. SIMÓN 1997. *Fauna Ibérica. Vol 8, Collembola, Poduromorpha*. Museo Nacional de Ciencias Naturales y Consejo Superior de Investigaciones Científicas. 807 pp.
- MATEOS, E. 1992. *Colémbolos edáficos de encinares de la Serra del L'Obac y la Serra de Prades (Sierra prelitoral catalana)*. *Efectos de los incendios forestales sobre estos artrópodos*. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. 403 pp.
- MAURIZIO, G., M. PAOLETTI, R. FAVRETTO, B. STINNER, F. PURRINGTON & J.E. BATER 1991. Invertebrates as bioindicators of soil use. *Agr. Ecosys. Env.*, **34**: 341-362.
- MAYOR LÓPEZ, M. & T. DÍAZ GONZÁLEZ 1977. Síntesis de la vegetación asturiana. *Documents phytosociologiques*, **1**: 159-173.
- MORENO, C.E. 2000. *Métodos para medir la biodiversidad*. Manuales y Tesis SEA. Vol 3, 81 pp.
- PINA, J.P. 1983. *Nidificantes de povoamentos artificiais de Pinus pinaster e Eucalyptus globulus*. Instituto superior de Agronomía. Lisboa.
- PINTO, J.P., M. A. SOUSA, M. GRACA & M.M. GAMA 1997. Forest soil collembola. Do tree introductions make a difference?. *Pedobiologia*, **41**: 131-138.
- POZO, J. 1986. Ecological factors affecting collembolan populations. Ordenation of communities. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, **23**(3): 299-311.
- POZO, J. & J. MARTÍNEZ 1983. Ecología de las poblaciones de colémbolos de un eucaliptal vizcaíno. *Actas I Congreso Ibérico de Entomología*, León, 2: 587-601.
- RICHARDS, B.N. 1987. *The Microbiology of Terrestrial Ecosystems*. Longman Group Eds. London. 403 pp.
- RUIZ ORTEGA, M. 1999. *Fluctuaciones en la biodiversidad de la fauna edáfica provocadas por repoblaciones de coníferas en bosques del Sistema Central, con especial referencia a las comunidades de colémbolos: estudio ecológico y taxonómico*. Universidad Autónoma de Madrid. Tesis doctoral. 576 pp.
- SOUSA, J. P. & M.M. GAMA 1994. Rupture in a Collembola community structure from a *Quercus rotundifolia* Lam. forest due to the reforestation with *Eucalyptus globulus* Labill. *Eur. J. Soil Biol.*, **30**(2): 71-78.
- SOUSA, J.P., J. V. VINGADA, H. M. BARROCAS & M.M. GAMA 1997. Effects of introduced exotic tree species on Collembola communities: the importance of management techniques. *Pedobiologia*, **41**: 145-153.
- VASCONCELOS, T.M. & M.M. GAMA 1994. Estudo comparativo da biodiversidade colembologica em povoamentos de Pinheiro bravo e Eucalipto. *Silva Lusitana*, **2**(2): 179-191.
- VÁZQUEZ, J., R. GUTIÉRREZ & C. PAÑEDA 1997. *La contribución del cultivo del eucalipto al desarrollo de las áreas rurales*. Ediciones Celulosas de Asturias, S.A. Asturias. 157 pp.

**ANEXO I: Número de individuos de cada especie y muestra estudiadas.**

Ab=Abedul, A=Aliso, B=Brezo, C=Castaño, Ce=Cerezo, E=Eucaliptal, G=Gramíneas, H=Helecho, L=Laurel, P=Pinar, R=Roble, T=Tojo. 1: Antiguo eucaliptal; 2: Cuatro talas.

ESPECIE		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	TOTAL INDIV
		C, R, A, L, H	E, B	E, B	E	E, H	E, H	E	P, B	P, B	P, B	G, T (1)	R, Ab, Ce, C	E (2)	
<i>Hypogastrura tuberculata</i>	HYTUB	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Willemia anophthalma</i>	WIANO	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	10
<i>Rusekella sp</i>	RUSP	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
<i>Micranurida pygmea</i>	MIPYG	0	0	0	0	0	0	1	7	1	0	0	1	10	20
<i>Endonura cantabrica</i>	ENCAN	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	2	9
<i>Onychiurus subargus</i>	ONSUB	1	0	0	0	0	0	0	2	0	1	2	6	0	12
<i>Protaphorura armata</i>	PRARM	17	1	0	4	0	3	11	2	0	0	0	4	17	59
<i>Mesaphorura isochaeta</i>	MEISO	0	0	0	14	6	0	25	30	2	0	25	6	0	108
<i>Mesaphorura macrochaeta</i>	MEMAC	0	0	0	21	1	0	0	0	0	0	2	0	0	24
<i>Mesaphorura yosii</i>	MEYOS	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	13
<i>Paratullbergia callipygos</i>	PACAL	4	0	0	3	10	0	0	11	0	1	2	0	0	31
<i>Anurophorus satchelli</i>	ANSAT	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	1	25	18	76
<i>Tetracanthella sp.</i>	TETSP	0	0	0	76	0	0	0	0	1	3	0	0	0	80
<i>Tetracanthella pilosa</i>	TEPIL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	21	26
<i>Cryptopygus termophilus</i>	CRTER	0	0	0	1	0	0	0	30	0	0	0	0	0	31
<i>Folsomia decopsis</i>	FODEC	0	0	0	0	1	0	0	9	0	0	0	0	0	10
<i>Folsomia Ksenemani</i>	FOKSE	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
<i>Folsomia ocellata</i>	FOOCE	0	0	0	0	1	0	0	40	0	0	0	0	0	41
<i>Folsomia setosa</i>	FOSET	1	0	0	4	1	4	35	7	2	0	0	20	54	128
<i>Proisotoma minima</i>	PRMIN	0	0	0	0	1	0	0	8	2	0	0	0	0	11
<i>Isotomurus gr palustris</i>	ISPAL	0	0	0	25	10	3	0	0	0	0	0	0	0	38
<i>Pseudisotoma monochaeta</i>	PSMON	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Isotomiella madeirensis</i>	ISMAD	53	0	0	2	1	0	5	9	0	0	2	35	14	121
<i>Isotoma notabilis</i>	ISNOT	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	2
<i>Entomobrya quinquelineata</i>	ENQUI	0	0	0	0	0	2	0	2	1	0	0	1	1	7
<i>Pseudosinella alba</i>	PSALB	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
<i>Lepidocyrtus pallidus</i>	LEPAL	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	1	1	0	6
<i>Tomocerus minor</i>	TOMIN	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	4
<i>Neelus murinus</i>	NEMUR	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	1	2	9
<i>Sphaeridia pumilis</i>	SPPUM	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3
<i>Sminthurus multifasciatus</i>	SMMUL	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	9	10
<i>Sminthurinus aureus</i>	SMAUR	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
<b>TOTAL INDIVIDUOS</b>		<b>86</b>	<b>35</b>	<b>0</b>	<b>154</b>	<b>32</b>	<b>13</b>	<b>80</b>	<b>192</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>35</b>	<b>113</b>	<b>148</b>	<b>905</b>
<b>TOTAL ESPECIES</b>		<b>8</b>	<b>3</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>19</b>	<b>9</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>13</b>	<b>10</b>	<b>32</b>