

Comunitats de col·lèmbols epiedàfics en boscos del Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa

ALBERT RIBES i EDUARDO MATEOS

Departament de Biologia Evolutiva, Ecologia i Ciències Ambientals, Facultat de Biologia, Universitat de Barcelona. Avinguda Diagonal 645, 08028 Barcelona.

emateos@ub.edu

Rebut: 13.2.2019
Acceptat: 17.2.2019

RESUM

Les comunitats de microartròpodes del sòl, com ara els col·lèmbols (Hexapoda: Collembola), representen un bon indicador de l'estat de l'ecosistema edàfic. Al Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa (PNZVG) (La Garrotxa, Girona), que presenta un mosaic de formacions boscoses ben caracteritzades, existeixen molt poques dades sobre aquest important i nombrós grup d'artròpodes. Per aquest treball es van processar mostres de col·lèmbols obtingudes mitjançant trampes de caiguda *pitfalls* instal·lades en dues parcel·les, d'una hectàrea cadascuna, al PNZVG l'estiu de l'any 2012. Una de les parcel·les era una fageda mentre que l'altra presentava una vegetació típica de bosc mixt. La fageda era una formació forestal més madura i homogènia, mentre que el bosc mixt era un ecosistema menys madur i més heterogeni pel que fa al pendent, la composició d'espècies vegetals i l'estructura vegetal. Al laboratori es va procedir a la separació i classificació dels col·lèmbols fins arribar al nivell taxonòmic d'espècie per a tots els exemplars obtinguts. Per a cada tipus de bosc es van analitzar les dades de col·lèmbols a nivell de comunitat i a nivell específic. Es van comptabilitzar 2.772 col·lèmbols distribuïts en 20 espècies diferents. Els resultats indiquen que les espècies de col·lèmbols estaven distribuïdes de forma agregada d'una manera més evident en el bosc mixt, fet que podria estar associat amb la major heterogeneïtat estructural d'aquest tipus de bosc. La riquesa potencial d'espècies va ser superior a la fageda, la qual cosa estaria relacionada amb la major maduresa ecològica d'aquesta formació forestal. Es van trobar diferències significatives a nivell específic i a nivell de comunitat entre la fageda i el bosc mixt en termes de composició específica, abundància, riquesa d'espècies, diversitat i freqüència de col·lèmbols. Aquestes diferències podrien estar relacionades amb la disparitat estructural dels dos boscos estudiats.

Paraules Collembola, *pitfalls*, PNZVG, sòls forestals, comunitats edàfiques, fageda, bosc mixt, diversitat, diversitat potencial, distribució espacial.

ABSTRACT

Communities of epiedafic springtail (Collembola) in the forests of La Garrotxa Volcanic Zone Natural Park

Soil microarthropods communities, such as springtails (Hexapoda: Collembola), are a good indicator of the state of the edaphic ecosystem. In La Garrotxa Volcanic Zone Natural Park (PNZVG) (La Garrotxa, Girona), which presents a mosaic of well-characterized forest formations, there is little data on this important and abundant group of arthropods. In the present work samples of springtails obtained through pitfall traps installed in two plots, one hectare each, in the PNZVG in the summer of 2012 were processed. One of the plots was a beech forest while the other had a typical vegetation of mixed forest. The beech forest was a more mature and homogeneous forest formation, while the mixed forest was a less mature and more heterogeneous ecosystem as regards the slope, plant species composition and vegetation structure. In the laboratory all springtail specimens were sorted and classified to species level. For each type of forest springtail data was analyzed at specific and community level. In total 2772 springtails belonging to 20 different species were counted. The results showed that the springtails species were distributed in an aggregate way more clearly in the mixed forest, which could be associated with the higher structural heterogeneity of this forest type. The potential species richness was higher in the beech forest, which would be related to the higher ecological maturity of this forest formation. Significant differences were found at a specific and community level between beech forest and mixed forest in terms of specific composition, species richness, abundance, diversity and frequency of springtails. These differences could be related to the structural disparity of the two studied forests.

Keywords: Collembola, pitfalls, PNZVG, forest soils, soil communities, beech forest, mixed forest, diversity, potential diversity, spatial distribution.

INTRODUCCIÓ

El Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa (PNZVG) és el millor exponent del paisatge volcànic de la península Ibèrica. El paisatge vegetal de la zona volcànica es caracteritza per una transició entre un paisatge vegetal mediterrani, submediterrani i centreeuropeu. Gairebé el 71% del Parc Natural està ocupat per formacions boscoses, especialment alzinars, fagedes i rouredes, però també pinedes, vernedes, boscos de ribera, suredes i boscos mixtes vernedes (Mapa d'hàbitats d'interès comunitari de Catalunya, 2007). El Parc Natural també destaca per la seva diversitat faunística i té espècies de gran interès, sobretot pel que fa als invertebrats. Existeixen algunes espècies poc comunes, però cal tenir en compte que el grau de coneixement d'aquest grup és encara molt baix, i les darreres dades que es tenen són les que estan incloses al Catàleg faunístic del PNZVG (Nebot, 1995): 164 invertebrats no artròpodes, 20 artròpodes no insectes i 1083 insectes. A data d'avui, no existeix cap publicació que hagi analitzat ni caracteritzat les comunitats de col·lèmbols d'aquest parc a nivell específic, per tant aquest treball és la primera contribució que s'ha fet al coneixement d'aquest grup d'hexàpodes en aquest espai natural.

Els col·lèmbols són microartròpodes que constitueixen un important component de la mesofauna edàfica en tots els ecosistemes terrestres. Estan considerats com els hexàpodes més abundants del món (Hopkin, 2002), ja que en un metre quadrat de sòl destinat a pastures o en boscos temperats, hi poden haver entre 40.000 i 200.000 exemplars de mitjana, densitats que només són superades per la població d'àcars del sòl (Handschin, 1955). Presenten un règim

alimentari fonamentalment micòfag i detritívor amb una dieta composta per hifes fúngiques i detritus orgànics. També poden tenir un règim fitòfag, omnívor, copròfag, bacteriòfag o depredador. Tenen un paper essencial en la formació de la microestructura del sòl en els estadis primerencs de la successió edàfica i, sovint, el perfil primari del sòl està format en la seva totalitat pels excrements dels col·lèmbols (Rusek, 1975). En els sòls més desenvolupats, com són els sòls forestals, els col·lèmbols participen en la desintegració de la fullaraca i dels excrements de la macro i megafauna, així com en la descomposició de la matèria orgànica i la respiració edàfica gràcies a que s'alimenten d'hifes fúngiques (Rusek, 1998; Cortet, 1999).

Els col·lèmbols estan ben diferenciats en grups ecomorfològics que ocupen els diferents horitzons edàfics (Rusek, 1998). Els col·lèmbols epiedàfics viuen sobre les plantes o sobre la fullaraca i es caracteritzen per tenir una talla gran, vuit ulls, antenes, potes i furca llargues i estar ben pigmentats. Els col·lèmbols hemiedàfics viuen a les capes intermèdies del sòl i presenten antenes i potes moderadament llargues així com ulls i pigment ben desenvolupats. Els col·lèmbols euedàfics habiten les capes més profundes del sòl i tenen antenes i potes curtes, ulls en nombre reduït o absents i cos sense pigment (Jordana, 1997). L'estructura de les comunitats d'aquests grups ecomorfològics és un paràmetre indicatiu del grau de desenvolupament del sòl durant els processos de successió ecològica (Rusek, 1989). Degut a la seva importància en la funcionalitat del sistema edàfic (Brussaard, 1998), la seva elevada abundància i diversitat (Petersen, 2002) i la seva sensibilitat a les pertorbacions del medi (Lavelle *et al.*, 2006), els col·lèmbols es consideren bons bioindicadors de la qualitat del sòl (Stork, 1995; Cortet, 2002; Ponge *et al.*, 2003; Parisi *et al.*, 2005). Per aquest motiu s'utilitzen freqüentment per estimar la biodiversitat del sòl i l'impacte de les activitats humanes sobre aquesta biodiversitat (Parisi *et al.*, 2005).

L'anàlisi de les comunitats de col·lèmbols edàfics es pot realitzar utilitzant paràmetres quantitius globals (com ara l'abundància, la riquesa d'espècies i la diversitat total) o paràmetres quantitius que, en aquest cas, tenen en compte totes les espècies separadament (anàlisis multivariants). Els paràmetres d'abundància i diversitat no solen ser difícils d'estimar, per contra la riquesa d'espècies és un indicador més complicat d'avaluar. En general, amb els protocols de mostreig habituals no es detecta la totalitat de les espècies d'un lloc determinat, tot i això cal considerar que les espècies no detectades en un primer moment també pertanyen al conjunt d'espècies potencialment presents en aquell indret (Oksanen, 2016). Per aquest motiu, quan interessa estimar el nombre total d'espècies presents en una comunitat és necessari l'ús d'estimadors de riquesa d'espècies.

En qualsevol ecosistema, i en els ecosistemes edàfics en particular, els patrons de distribució espacial de les espècies són una resposta a l'heterogeneïtat de l'ambient on viuen i, en general, s'assumeix que un ambient heterogeni causa distribucions espacials agregades en les espècies (Sereda *et al.*, 2012). Als sòls forestals, la fusta morta, la coberta de molsa i la fullaraca, han demostrat ser estructures que creen condicions mediambientals complexes que afecten a l'elecció de l'hàbitat per part dels artròpodes edàfics (Grear & Schmitz, 2005; Ziesche & Roth, 2008). Per tant, és previsible que les poblacions de les espècies animals que habiten els sòls de boscos amb diferent grau d'heterogeneïtat tinguin diferent distribució espacial.

El present treball se centra en l'estudi de les comunitats de col·lèmbols epiedàfics de dues formacions forestals ben contrastades, una fageda i un bosc mixt, del PNZVG. Els objectius que es pretenen assolir són 1) elaborar un llistat d'espècies de col·lèmbols epiedàfics de la fageda i el bosc mixt, 2) analitzar la distribució espacial i la riquesa potencial d'espècies de col·lèmbols en aquests boscos, i 3) comparar l'estructura de les comunitats d'aquests hexàpodes als dos tipus de bosc amb l'objectiu de determinar si diferents formacions forestals properes (a escala de metres de separació) alberguen diferents comunitats de fauna edàfica.

MATERIALS I MÈTODES

Zona i mètode de mostreig

Les mostres de col·lèmbols amb les que s'ha treballat en aquest estudi procedeixen d'un mostreig realitzat en el marc de les XIII Jornades del Grup Ibèric d'Aracnologia que van tenir lloc al Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa (PNZVG) entre el 29 de juny i el 2 de juliol del 2012 (Domènech & Arnedo, 2018). Els col·lèmbols es van obtenir mitjançant un mostreig amb trampes de caiguda (pitfalls) en dues parcel·les, d'una hectàrea cadascuna, localitzades al volcà del Puig Jordà ubicat dins del terme municipal de Santa Pau (la Garrotxa). Una de les parcel·les, situada al pendent sud del volcà, tenia una vegetació típica de bosc mixt (coordenades al centre de la parcel·la N 42.14646 E 2.508456, altitud de 590 m), amb *Quercus ilex* L. i *Quercus humilis* Mill. com espècies arbòries fonamentals, i un sotabosc amb espècies com *Teucrium scorodonia* L., *Lathyrus linifolius* (Reichard) Bässler, *Stachys officinalis* (L.) Trevis. i *Deschampsia flexuosa* (L.) Trin. L'altra parcel·la, situada al nord del volcà, tenia una vegetació típica de fageda (coordenades al centre de la parcel·la N 42.149025 E 2.508576, altitud de 560 m), amb *Fagus sylvatica* L. com a única espècie arbòria i amb un sotabosc escàs. Les trampes *pitfall* constaven d'un flascó i un col·lector de 8 cm de diàmetre amb una solució d'etilenglicol al 50%. Les trampes es van situar amb una separació de 5 m i de tal manera que en ambdues parcel·les poguessin abastar tot el terreny de forma homogènia. De cada parcel·la es va analitzar el contingut de 63 trampes *pitfall* que van estar actives del 10 de juny a l'1 de juliol de 2012. Els artròpodes que havien caigut en les trampes es van conservar en etanol 70° i es van separar per grans grups taxonòmics. Tots els exemplars de la classe Collembola van ser identificats a nivell d'espècie emprant bibliografia específica de cada grup (Berg, 2007; Fjellberg, 2007; Jordana & Arbea, 1989; Jordana, 1997). Per dur a terme aquesta identificació els exemplars es van muntar en preparacions microscòpiques permanents utilitzant líquid Hoyer prèvia transparentació amb àcid làctic. Les preparacions van ser observades a microscòpia òptica de contrast de fases.

Tractament i anàlisi de les dades

Paràmetres globals

Per a cada tipus de bosc es van calcular els paràmetres d'abundància total, riquesa total i diversitat total acumulada de col·lèmbols. Per al càlcul de la diversitat es va utilitzar l'índex de Shannon-Wiener amb logaritmes en base 2. Com a estimador de la riquesa potencial d'espècies a cada tipus de bosc es va calcular l'índex "Chao1" i la seva desviació estàndard (Chao, 1984). Aquest índex estima el nombre potencial d'espècies d'una comunitat basant-se en el nombre d'espècies estranyes presents en un col·lectiu de mostres (Chao, 1984). Tots aquests paràmetres es van calcular utilitzant el paquet estadístic Primer (PRIMER-E, 2001).

Anàlisi de les espècies

Per a cada espècie de col·lèmbol, a cada tipus de bosc, es va calcular l'abundància mitjana (la mitjana d'exemplars presents en el total de *pitfalls* de cada parcel·la) i la freqüència relativa (tant per cent dels 63 *pitfalls* de cada bosc on es troba una determinada espècie). Amb l'objectiu de comparar les abundàncies mitjanes de les espècies a cada tipus de bosc es va utilitzar el test estadístic *t* de Student utilitzant el programari Sigma Plot (versió 11.00).

Per a cada espècie es va calcular l'índex de Morisita com a mesura de la dispersió o agregació dels seus individus dins de cada tipus de bosc (Morisita, 1959). Quan el valor de l'índex de Morisita és superior a 1 significa que els individus d'aquesta espècie estan distribuïts de forma agregada en la parcel·la de mostreig. En canvi, si el valor de l'índex és inferior a 1 vol dir que el patró de distribució de l'espècie és regular o uniforme. Finalment, quan el valor de l'índex és igual a 1 implica que l'espècie es distribueix de forma aleatòria dins de la parcel·la. L'índex de Morisita es caracteritza per ser independent de la densitat poblacional de l'espècie, però alhora es veu molt afectat per la mida de la mostra (Krebs, 1999). És per això que en aquest treball es va optar per calcular aquest índex només en els casos en què l'abundància total de l'espècie fos igual o superior a 6 individus.

Anàlisi de les comunitats

Es van calcular els valors mitjans d'abundància, riquesa i diversitat (amb l'índex de Shannon-Wiener amb logaritmes en base 2) de les comunitats de col·lèmbols per a cada tipus de bosc. Aquests valors mitjans es van comparar entre la fageda i el bosc mixt mitjançant el test estadístic *t* de Student utilitzant el programari Sigma Plot (versió 11.00).

Es va efectuar una anàlisi multivariant de les comunitats de col·lèmbols dels dos tipus de bosc seguint el següent esquema: 1) Transformació logarítmica de les dades en la forma "log x+1", 2) càlcul de la matriu de similituds entre tots els *pitfalls* dels dos tipus de bosc mitjançant l'índex de Bray Curtis, 3) representació de la matriu de similituds utilitzant la tècnica *non mètric multidimensional scaling* (nMDS) i 4) càlcul de l'anàlisi de similituds (ANOSIM) entre els dos tipus de bosc. Tots aquests càlculs es van dur a terme utilitzant el paquet estadístic Primer (PRIMER-E, 2001).

L'anàlisi nMDS és una tècnica d'ordenació multivariant que tracta de representar les similituds existents entre un conjunt d'objectes (els *pitfalls* dels dos tipus de bosc en el nostre cas) en un espai geomètric de poques dimensions. El grau en què la representació en dimensió reduïda conserva les distàncies originals entre els objectes ve determinada pel grau d'estrès del nMDS. Per a una representació en dues dimensions, un estrès inferior a 0,05 indica una excel·lent representació de les dades originals, un l'estrès superior a 0,1 indica que la qualitat de la representació és elevada, un estrès superior a 0,2 indica que la representació es bona, i un estrès superior a 0,3 indica que la representació és pobre (nMDS Tutorial in R, 2012).

L'ANOSIM és un test estadístic no paramètric que permet analitzar les diferències entre dos o més grups de mostres (en aquest cas els dos tipus de bosc) d'una matriu de similituds. L'anàlisi ANOSIM dóna un valor R general (entre 0 i 1) que permet la comparació entre els grups. Cada valor de R té una prova de permutació aleatòria associada a un nivell de significació. Un valor elevat de R suggereix diferències de composició específica entre els grups de mostres, mentre que un valor baix de R indica que no hi ha diferències de composició específica entre els grups.

RESULTATS

Resultats globals

Del total de *pitfalls* analitzats es van comptabilitzar 2.772 col·lèmbols dels quals es van identificar 20 tàxons a nivell d'espècie (TAULA 1). A la fageda es van trobar un total de 753 col·lèmbols pertanyents a 13 espècies diferents i es va obtenir una diversitat total acumulada de 2,00. En aquest bosc destacava sobretot l'espècie *Tomocerus flavescens* amb 416 individus, i a més distància es trobava *Lepidocyrtus montseniensis* amb 155 exemplars. Al bosc mixt es van trobar 2.019 col·lèmbols de 17 espècies i la diversitat total acumulada fou de 1,95. L'espècie amb una major abundància va ser *Ceratophysella enganidensis* amb 1.182 individus, i molt per sota es trobaven *Lepidocyrtus montseniensis* amb 426 exemplars i *Orchesella quinquefasciata* amb 154.

TAULA 1. Espècies de col·lèmbols. S'indica la família a la que pertany (columna Família) cada espècie (columna Espècie) i l'abundància total de cadascuna d'elles en cada bosc (columnes Fageda i Bosc Mixt). Al final de la taula s'indiquen els paràmetres globals d'abundància, nombre d'espècies i diversitat a cada tipus de bosc, així com els valors del nombre d'espècies potencials obtinguts amb l'índex Chao1 (\pm error estàndard).

Família	Espècie	Fageda	Bosc Mixt
Entomobryidae	<i>Entomobrya nivalis</i> Christiansen, 1958	14	89
Entomobryidae	<i>Heteromurus major</i> (Moniez, 1889)	-	6
Entomobryidae	<i>Lepidocyrtus lanuginosus</i> (Gmelin, 1788)	24	44
Entomobryidae	<i>Lepidocyrtus montseniensis</i> Mateos, 1985	155	426
Entomobryidae	<i>Orchesella quinquefasciata</i> (Bourlet, 1842)	1	154
Isotomidae	<i>Folsomia</i> sp.	-	1
Tomoceridae	<i>Tomocerus flavescens</i> Gisin, 1944	416	36
Tomoceridae	<i>Tomocerus minor</i> (Lubbock, 1862)	31	2
Hypogastruridae	<i>Ceratophysella enganidensis</i> (Gisin, 1949)	-	1182
Hypogastruridae	<i>Hypogastrura affinis</i> (Lucas, 1846)	-	3
Hypogastruridae	<i>Microgastrura minutissima</i> (Mills, 1934)	-	3
Hypogastruridae	<i>Triacanthella perfecta</i> Denis, 1929	3	-
Hypogastruridae	<i>Xenylla</i> sp.	2	-
Neanuridae	<i>Pseudachorutes parvulus</i> Börner, 1901	1	37
Odontellidae	<i>Superodontella conglobata</i> Arbea & Jordana, 1991	-	4
Bourletiellidae	<i>Deuterosminthurus bicinctus</i> (Koch, 1840)	1	5
Dicyrtomidae	<i>Dicyrtoma fusca</i> (Lubbock, 1873)	21	-
Sminthuridae	<i>Allacma fusca</i> (Linnaeus, 1758)	83	8
Sminthuridae	<i>Disparrhopalites patrizii</i> (Cassagnau & Delamare, 1953)	1	13
Sminthuridae	<i>Lipothrix lubbocki</i> (Tullberg, 1872)	-	6
	Abundància total	753	2019
	Nombre total d'espècies	13	17
	Diversitat total acumulada	2,00	1,95
		21	17,5
	Index Chao1 (\pm ee)	(\pm 11,662)	(\pm 1,323)

Estimació del nombre potencial d'espècies

A la TAULA 1 s'indiquen els valors de l'índex Chao1 obtinguts per als dos tipus de bosc. Aquest índex va estimar que a la parcel·la de la fageda hi podrien arribar a haver fins a 21 espècies, és a dir, 8 més de les 13 espècies detectades en els mostrejos. Per a la parcel·la del bosc mixt, en canvi, l'estimació de l'índex va donar un valor de 17,5 espècies, que va resultar molt pròxim a les 17 espècies trobades realment en els mostrejos.

Les espècies de col·lèmbols i la seva distribució espacial

A la TAULA 2 s'indica, per a cada espècie, l'abundància mitjana (amb l'error estàndard associat) que presentava a cada tipus de bosc. També es mostren en aquesta taula resultats de les proves t de Student que es van fer per analitzar les

TAULA 2. Paràmetres de les espècies de col·lèmbols. Abundància mitjana de les espècies en els 63 *pitfalls* de la fageda (columna Fageda) i el bosc mixt (columna Bosc Mixt); ee: error estàndard. Les tres últimes columnes indiquen el resultat dels tests estadístics t de Student realitzats per a cada espècie comparant l'abundància mitjana entre la fageda i el bosc mixt. t: valor de l'estadístic t; p-valor: valor p de la t de Student; Dif: sentit de la diferència de les abundàncies mitjanes de cada espècie entre la fageda (F) i el bosc mixt (M), considerant un nivell crític de probabilitat del 0,05.

Espècie	Fageda	ee	Bosc Mixt	ee	t	p-valor	Dif
<i>Entomobrya nivalis</i>	0,22	0,09	1,41	0,36	-3,195	0,001	F<M
<i>Heteromurus major</i>	-	-	0,10	0,04	-	0,007	F<M
<i>Lepidocyrtus lanuginosus</i>	0,38	0,12	0,70	0,21	-1,319	0,095	F=M
<i>Lepidocyrtus montseniense</i>	2,46	0,42	6,76	1,70	-2,464	0,008	F<M
<i>Orchesella quinquefasciata</i>	0,02	0,02	2,44	0,61	-3,958	<0,001	F<M
<i>Folsomia sp.</i>	-	-	0,02	0,02	-	0,161	F=M
<i>Tomocerus flavescens</i>	6,60	0,91	0,57	0,15	6,560	<0,001	F>M
<i>Tomocerus minor</i>	0,49	0,13	0,03	0,02	3,605	<0,001	F>M
<i>Ceratophysella enganidensis</i>	-	-	18,76	6,63	-	0,003	F<M
<i>Hypogastrura affinis</i>	-	-	0,05	0,03	-	0,042	F<M
<i>Microgastrura minutissima</i>	-	-	0,05	0,03	-	0,042	F<M
<i>Triacanthella perfecta</i>	0,05	0,03	-	-	-	0,042	F>M
<i>Xenylla sp.</i>	0,03	0,02	-	-	-	0,079	F=M
<i>Pseudachorutes parvulus</i>	0,02	0,02	0,59	0,21	-2,69	0,005	F<M
<i>Superodontella conglobata</i>	-	-	0,06	0,03	-	0,022	F<M
<i>Deuterosminthurus bicinctus</i>	0,02	0,02	0,08	0,05	-1,166	0,124	F=M
<i>Dicyrtoma fusca</i>	0,33	0,23	-	-	-	0,073	F=M
<i>Allacma fusca</i>	1,32	0,30	0,13	0,07	3,896	<0,001	F>M
<i>Disparrhopalites patrizii</i>	0,02	0,02	0,21	0,13	-1,43	0,079	F=M
<i>Lipothrix lubbocki</i>	-	-	0,10	0,05	-	0,029	F<M

diferències entre les abundàncies mitjanes de cadascuna de les espècies entre els dos boscos. Els resultats d'aquestes proves van indicar que deu espècies van ser més abundants al bosc mixt, quatre espècies van ser més abundants a la fageda i sis espècies no van mostrar preferència per cap dels dos ambients.

A la TAULA 3 s'indica, per a cada espècie, la freqüència d'aparició a les trampes *pitfall*, el valor de l'índex de Morisita que presentava a cada tipus de bosc i la longitud del cos dels adults de cadascuna d'elles. Pel que respecta a les freqüències, comparant les TAULES 2 i 3, es pot veure com les espècies més abundants en cada bosc eren les que es trobaven més freqüentment en les trampes de caiguda. Pel que fa a la distribució espacial (índex de Morisita), la majoria de les espècies en les que es va calcular l'índex mostraven valors superiors a 1 i per tant tindrien una distribució espacial agregada en les dues parcel·les. Tan sols una espècie (*Heteromurus major*) presentava un índex de Morisita amb valor zero, la qual cosa indica que tenia una distribució uniforme a la parcel·la de bosc mixt.

Les comunitats de col·lèmbols

La comparació dels valors mitjans d'abundància, riquesa i diversitat totals entre els dos tipus de bosc va indicar que tots tres paràmetres presentaven valors significativament superiors en el bosc mixt (TAULA 4).

L'anàlisi nMDS va permetre visualitzar conjuntament la similitud de totes les trampes *pitfall* en funció de la seva composició en espècies de col·lèmbols (FIGURA 1). Els grups de trampes *pitfall* de cadascun dels boscos van quedar majoritàriament

TAULA 3. Paràmetres de les espècies de col·lèmbols. Freqüència d'aparició de les espècies en la fageda (columna Fageda %) i el bosc mixt (columna Bosc Mixt %), expressada com a percentatge de pitfalls, sobre un total de 63 pitfalls, en els que cada espècie està present. Valor de l'índex de Morisita obtingut per a cada espècie a la fageda (columna Fageda IM) i al bosc mixt (columna Bosc Mixt IM). Longitud en mil·límetres dels exemplars adults de cada espècie (columna Long).

Espècie	Fageda %	Bosc Mixt %	Fageda IM	Bosc Mixt IM	Long
<i>Entomobrya nivalis</i>	12,7	41,27	8,31	4,38	2,5
<i>Heteromurus major</i>	-	9,52	-	0,00	2,0
<i>Lepidocyrtus lanuginosus</i>	20,63	26,98	4,34	5,33	1,2
<i>Lepidocyrtus montsenienseis</i>	60,32	77,78	2,39	4,76	2,5
<i>Orchesella quinquefasciata</i>	1,59	60,32	-	4,52	4,5
<i>Folsomia sp.</i>	-	1,59	-	-	0,8
<i>Tomocerus flavescens</i>	93,65	30,16	2,02	3,70	6,0
<i>Tomocerus minor</i>	28,57	3,17	3,12	-	4,0
<i>Ceratophysella enganidensis</i>	-	74,60	-	8,71	1,8
<i>Hypogastrura affinis</i>	-	4,76	-	-	2,5
<i>Microgastrura minutissima</i>	-	4,76	-	-	0,6
<i>Triacanthella perfecta</i>	4,76	-	-	-	1,2
<i>Xenylla sp.</i>	3,17	-	-	-	1,0
<i>Pseudachorutes parvulus</i>	1,59	19,05	-	7,57	1,0
<i>Superodontella conglobata</i>	-	6,35	-	-	1,0
<i>Deuterosminthurus bicinctus</i>	1,59	4,76	-	-	0,8
<i>Dicyrtoma fusca</i>	9,52	-	27,90	-	2,0
<i>Allacma fusca</i>	50,79	6,35	3,44	13,50	3,5
<i>Disparhopalites patrizii</i>	1,59	7,94	-	23,42	1,0
<i>Lipothrix lubbocki</i>	-	6,35	-	8,40	2,0

	Fageda	Bosc Mixt	t	p-valor	Dif
Abundància mitjana ($\pm se$)	11,95 ($\pm 1,41$)	32,05 ($\pm 8,70$)	-2,281	0,0130	F<M
Riquesa específica mitjana ($\pm se$)	2,88 ($\pm 0,17$)	3,86 ($\pm 0,24$)	-3,263	0,0007	F<M
Diversitat mitjana	1,14 ($\pm 0,084$)	1,36 ($\pm 0,081$)	-1,953	0,0270	F<M

TAULA 4. Paràmetres de les comunitats de col·lèmbols. Valors mitjans (\pm error estàndard) d'abundància, riquesa i diversitat de les comunitats de col·lèmbols per a cada tipus de bosc (columnes Fageda i Bosc Mixt). S'inclou el resultat dels tres tests estadístics t de Student realitzats per a cada paràmetre comparant l'abundància, riquesa i diversitat mitjanes entre la fageda i el bosc mixt. t: valor de l'estadístic t; p-valor: valor p de la t de Student; Dif: sentit de la diferència de l'abundància, riquesa i diversitat mitjanes entre la fageda (F) i el bosc mixt (M).

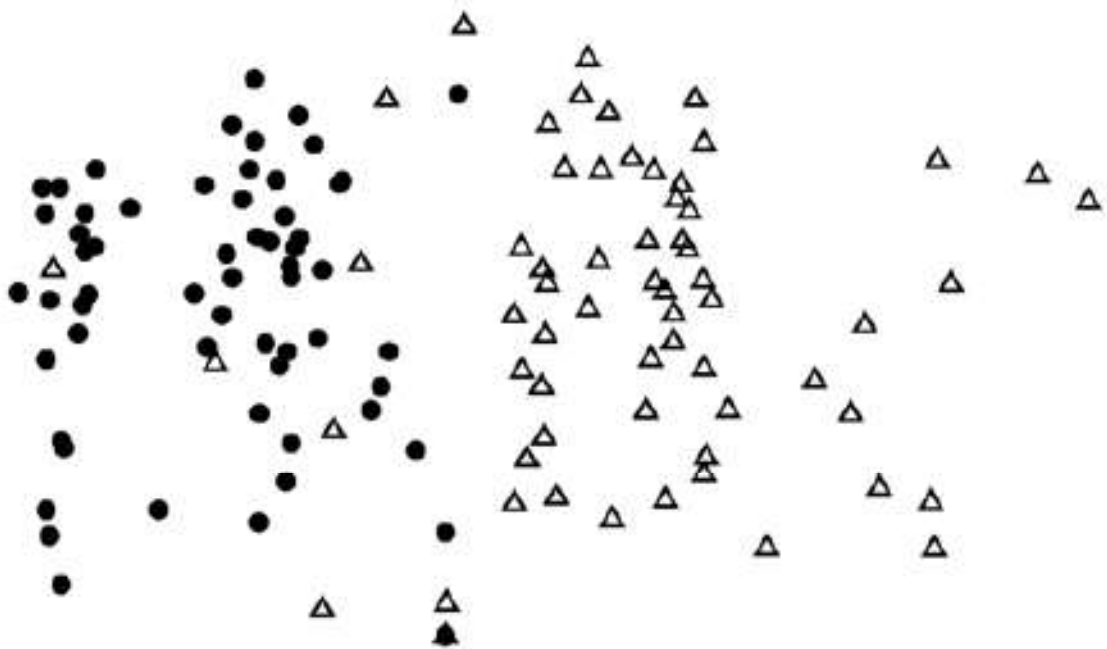


FIGURA 1: *non metric multidimensional scaling* (nMDS). Representació dels 63 *pitfalls* de cada formació forestal elaborat a partir de la matriu de similituds obtinguda amb l'índex Bray-Curtis i realitzada amb les abundàncies de les espècies de col·lèmbols en els *pitfalls* del bosc mixt (triangles) i de la fageda (cercles). Stress=0,17.

diferenciats en dos grups principals. Cal destacar que l'estrès de la representació en dues dimensions del nMDS va ser de 0,17 i per tant la qualitat de la representació es va considerar elevada. L'anàlisi ANOSIM realitzat, amb un valor R de 0,614 i un p-valor de 0,001 (amb 999 permutacions), va indicar que la composició específica de col·lèmbols era significativament diferent entre la fageda i el bosc mixt.

DISCUSSIÓ

Les característiques ecològiques dels dos boscos estudiats són molt importants a l'hora d'analitzar les possibles causes dels resultats obtinguts amb les comunitats de col·lèmbols. Pel que respecta a la fageda, es tracta d'un bosc que està situat a la cara nord del volcà i això li suposa estar sotmès a una menor insolació durant les hores diürnes. Com a conseqüència d'això i degut a l'abundant densitat de faigs amb un cobricel arbori important, es tracta d'un ambient molt humit. Aquest bosc també es caracteritza per ser homogeni, ja que té el faig com a única espècie arbòria dominant i un sotabosc força reduït. El relleu d'aquesta parcel·la destaca per no tenir pendents pronunciats, aquest fet permet que la matèria orgànica que cau dels arbres quedi distribuïda de forma homogènia per tota la superfície del sòl.

En contrast, el bosc mixt està situat a la cara sud del volcà, això implica molta més insolació i sequedat ambiental per la falta d'un estrat arbori consistent i continu. Tanmateix, és un tipus de bosc més heterogeni pel que fa a la vegetació i el sotabosc. D'aquesta parcel·la cal destacar el fort pendent al que estan sotmeses la flora, la fauna i la matèria orgànica que per aquesta raó acaba acumulant-se majoritàriament a les parts baixes.

El bosc mixt presentava valors d'abundància, riquesa i diversitat mitjanes per *pitfall* significativament superiors respecte a la parcel·la de la fageda. El mateix passava amb la majoria de les abundàncies mitjanes de cada espècie. El fet que en general es detectin abundàncies, riqueses i diversitats més elevades en el bosc mixt pot ser atribuïble a què aquest bosc és més heterogeni i, en conseqüència, ofereix més varietat d'hàbitats i una major diversitat de recursos alimentaris per als col·lèmbols.

Nombre potencial d'espècies de col·lèmbols

El resultat de l'índex Chao1, que estima el número d'espècies potencials que es podria arribar a trobar a cada ambient, van mostrar que a la fageda el nombre d'espècies potencials era força superior al trobat en els mostresos, fet que no ocorre al bosc mixt. El fet que la fageda presenti una major quantitat d'espècies potencials pot tenir relació amb la circumstància que aquest tipus de bosc representa una fase més madura de l'ecosistema en comparació amb el bosc mixt que exemplifica un estadi més primerenc de la successió ecològica a la zona. Quan un bosc o ecosistema es troba en les fases més madures de la seva successió pot albergar un major nombre d'espècies considerades estranyes (Leiva *et al.*, 2009).

El resultat de l'índex Chao1 a la fageda és un clar indicador de què el mostreig dut a terme en aquesta parcel·la no ha estat suficient per arribar a trobar tota la diversitat de col·lèmbols que realment s'hi acumula. Tot i això, la riquesa potencial en espècies que aquest índex proporciona per a la fageda, porta associada una desviació estàndard de $\pm 11,662$ i per tant cal tenir en compte que aquests resultats són estimacions que caldria confirmar amb nous mostresos.

Les espècies de col·lèmbols i la seva distribució espacial

Un fet a destacar és que moltes de les espècies de col·lèmbols que es van trobar eren, en general, de gran mida corporal i típicament epiedàfiques. De mitjana es considera que la mida corporal d'un col·lèmbol està al voltant del mil·límetre. De les 20 espècies identificades en ambdues parcel·les, un total de 13 espècies van superar el mil·límetre de longitud i únicament 3 espècies en quedaven per sota (TAULA 3). Aquesta "gran mida" relativa de les espècies no és d'estranyar si es té en compte que, en general, les trampes pitfall afavoreixen la captura d'espècies epiedàfiques (més grans i amb antenes i potes llargues) en detriment de les espècies hemiedàfiques i euedàfiques.

La majoria de les espècies trobades presentaven un aparell bucal mastegador. Aquestes espècies actuen com a bones disgregadores de la matèria orgànica edàfica, ja que amb les seves mandíbules i maxil·les esmicolen les partícules orgàniques i faciliten la seva descomposició (Mateos, 2016). Únicament les espècies *Pseudachorutes parvulus* i *Microgastrura minutissima* posseeixen un aparell bucal de tipus suctor que els permet alimentar-se per succió dels fluids en procés de fermentació.

L'efecte de l'heterogeneïtat del medi ambient en la formació de patrons espacials de les espècies de col·lèmbols ha estat analitzat en el present treball mitjançant l'índex de Morisita. La mitjana d'aquest indicador per a les espècies en el bosc mixt va ser de 8,60, un valor superior a la mitjana que es va obtenir a la fageda (7,36). Aquests resultats indiquen que en tots dos boscos les espècies de col·lèmbols mostraven una distribució espacial agregada, però el fet que aquest valor fos superior en el bosc mixt pot estar relacionat amb la major heterogeneïtat ambiental que caracteritza aquest tipus de bosc.

Les comunitats de col·lèmbols

Existeixen pocs estudis sobre comunitats de col·lèmbols utilitzant mostrejos amb trampes de caiguda (*pitfalls*), de fet a Catalunya tan sols existeixen els estudis referenciats per Andrés *et al.* (1999). El paràmetre de mesura estandarditzat que s'utilitza en aquest tipus de mostrejos és el nombre d'exemplars obtinguts per trampa i per dia ($\text{ind} \cdot \text{trampa}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$). En un estudi realitzat amb trampeig *pitfall* en un alzinar del Montseny (Andrés *et al.*, 1999) es van obtenir un total de 0,419 col·lèmbols $\cdot \text{trampa}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$. En el nostre cas, en els 21 dies que va durar el mostreig al PNZVG, en el bosc mixt es van obtenir 1,526 col·lèmbols $\cdot \text{trampa}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$, i a la fageda 0,569 col·lèmbols $\cdot \text{trampa}^{-1} \cdot \text{dia}^{-1}$. Per tant, respecte a l'alzinar del Montseny, la fageda del PNZVG presenta densitats de fauna similars, mentre que el bosc mixt del PNZVG alberga una comunitat de fauna edàfica molt més abundant. En termes d'abundància, riquesa i diversitat mitjanes, el bosc mixt també presenta valors significativament superiors a la fageda, la qual cosa pot estar relacionada amb la major heterogeneïtat estructural que presenta aquesta formació boscosa.

Les anàlisis multivariants realitzades (nMDS i ANOSIM) mostren clarament que la composició específica de les comunitats de col·lèmbols epiedàfics de la fageda i el bosc mixt són significativament diferents. És a dir, cada tipus de bosc presenta una comunitat de col·lèmbols característica i ben diferenciada.

REFERÈNCIES

- ANDRÉS, P.; MATEOS, E.; ASCASO & C. 1999. Soil arthropods. In: *Ecology of Mediterranean Evergreen Oak Forests* (F. Rodà et al. eds) Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. p. 341-354.
- BERG, M. P. 2007. De springstaarten van Nederland: het genus *Orchesella* (Hexapoda: Entognatha: Collembola). *Nederlandse Faunistische Mededelingen*, 26: 77-92.
- BRUSSAARD, L. 1998. Soil fauna, guilds, functional groups and ecosystem processes. *Applied Soil Ecology*, 9(1): 123-135.
- CHAO, A. 1984. Nonparametric estimation of the number of classes in a population. *Scandinavian Journal of statistics*, 11: 265-270.
- CORTET, J. 1999. Les microarthropodes du sol et la décomposition de la matière organique, bioindicateurs de la gestion des sols agricoles en zones de grandes cultures. PhD. Université de Provence.
- CORTET, J.; RONCE, D.; POINSOT-BALAGUER, N.; BEAUFRETON C.; CHABERT, A., VIAUX, P. & CANCELA DE FONSECA, J. P. 2002. Impacts of different agricultural practices on the biodiversity of microarthropod communities in arable crop systems. *European Journal of Soil Biology* 38(3): 239-244.
- DOMÈNECH M. & ARNEDO, M. A. 2018. Bioinventariat de les comunitats d'aranyes de la Garrotxa. *Annals de la delegació de la Garrotxa de la Institució Catalana d'Història Natural*, 8: 57-75.
- FJELLBERG, A. 2007. *Collembola of Fennoscandia and Denmark: Entomobryomorpha and Symphypleona*. Part II. Brill. Leiden-Boston.
- GREAR, J. S. & SCHMITZ, O. J. 2005. Effects of grouping behavior and predators on the spatial distribution of a forest floor arthropod. *Ecology*. 86(4): 960-971.
- HANDSCHIN, E. 1955. Considérations sur la position systématique des Collembolés. *Mémoires de la Société Royale d'Entomologie de Belgique*, 27: 40-53.
- HOPKIN, S. P. 2002. *The Biology of the Collembola (springtails)*. Natural History Museum. London
- JORDANA, R. 1997. *Collembola: Poduromorpha*. Museo Nacional de Ciencias Naturales CSIC-CSIC. Madrid.
- JORDANA, R. & ARBEA, J. I. 1989. Clave de identificación de los géneros de Colémbolos de España (Insecta: Collembola). Publicaciones de Biología de la Universidad de Navarra. Navarra – *Serie Zoológica*, 19: 1-15.
- KREBS, C. J. 1999. *Ecological methodology*. 2.ed. Benjamin/Cummings. New York 1999.
- LAVELLE, P.; DECAËNS, T; AUBERT, M.; BAROTA, S.; BLOUIN, M.; BUREAU, F.; MARGERIE, P.; MORA, P. & ROSSIC, J.P. 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology*, 42: 3-15.
- LEIVA, J. A., MATA, R., ROCHA, O. J.; GUTIÉRREZ SOTO, M. V. 2009. Cronología de la regeneración del bosque tropical seco en Santa Rosa, Guanacaste, Costa Rica: II. La vegetación en relación con el suelo. *Revista de Biología Tropical*, 57(3): 817-836.
- MATEOS, E. 2016. La fauna del sòl i les xarxes tròfiques edàfiques. *L'Atzavara*, 26: 15-24.
- MORISITA, M. 1959. Measuring of the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns. *Mem. Fac. Sci. Kyushu Univ. Ser. E*, 2(21): 5-235.
- NEBOT, J. 1995. *Catàleg faunístic del Parc Natural de la Zona Volcànica de la Garrotxa 2na part*. PNZVG.
- nMDS Tutorial in R. 2012. [en línia] <https://jonlefcheck.net/2012/10/24/nmds-tutorial-in-r/> [Data de consulta: 18 Juliol 2016].
- OKSANEN, J. 2016. Vegan: Ecological diversity [en línia]. <https://cran.r-project.org/web/packages/vegan/vignettes/diversity-vegan.pdf>. [Data de consulta: 18 Juliol 2016].
- PARC NATURAL DE LA ZONA VOLCÀNCIA DE LA GARROTXA, 2019. Mapa d'hàbitats d'interès comunitari. <http://parcsnaturals.gencat.cat/ca/garrotxa/coneixeu-nos/patrimoni-natural-cultural/habitats/>.

- PARISI, V.; MENTA, C.; GARDI, C.; JACOMINI, C. & MOZZANICA, E. 2005.** Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 105(1): 323–333.
- PETERSEN, H. 2002.** General aspects of collembolan ecology at the turn of the millennium. *Pedobiologia*, 46(3): 246–260.
- PONGE, J.F.; GILLET S.; DUBS, F.; FEDOROFF, E.; HAESE, L.; SOUSA, J.P. & LAVEDLLE, P. 2003.** Collembolan communities as bioindicators of land use intensification. *Soil Biology and Biochemistry* 35(6): 813–826.
- PRIMER-E. 2001.** Primer 5 for Windows version 5.2.2. PRIMER-E ltd.
- RUSEK, J. 1975.** bodenbildende Funktion von Collembolen und Acarina. *Pedobiologia*, 15: 299–308.
- RUSEK, J. 1989.** Ecology of collembola. *In: Third international seminar on Apterygota, Siena* p. 271–281.
- RUSEK, J. 1998.** Biodiversity of collembolan and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity and Conservation*, 7(9): 1207–1219.
- SEREDA, E.; BLICK, T.; DOROW, W. H.; WOLTERS, V. & BIRKHOFFER, K. 2012.** Spatial distribution of spiders and epedaphic Collembola in an environmentally heterogeneous forest floor habitat. *Pedobiologia*, 55(5): 241–245.
- STORK, N. E. 1995.** Measuring and monitoring arthropod diversity in temperate and tropical forests. *In: Measuring and Monitoring Biodiversity in Tropical and Temperate Forests* (Boyle, T. J. B. & Boontawee, B. Eds). p. 257–270.
- ZIESCHE, T. M. & ROTH, M. 2008.** Influence of environmental parameters on small-scale distribution of soil-dwelling spiders in forests: What makes the difference, tree species or microhabitat? *Forest Ecology and Management*, 255(3): 738–752.