

# **Ecología y aspectos funcionales de la biodiversidad en el suelo**

**R. Jordana Buttica**

*Catedrático de Biología Animal. Universidad de Navarra.*

## **INTRODUCCIÓN**

Agradezco mucho la oportunidad que me dan de hablar aquí, en este congreso de Agricultura Ecológica, sobre un tema de gran trascendencia, al que llevo dedicados 20 años de investigación. Me refiero al suelo, y considerado no sólo en los aspectos de soporte de las plantas, de su textura, de su composición química, etc., sino principalmente en relación a los seres que lo habitan y que son responsables de sus características y de sus propiedades.

## **MODOS DE ENTENDER EL SUELO**

El suelo puede ser entendido de dos maneras:

a) como un producto generado por la acción de los agentes físico-químicos (clima) sobre una roca madre, juntamente con el aporte orgánico de diversos orígenes, que da lugar a unos materiales químicamente complejos y con una estructura determinada, que es el soporte de las plantas y el lugar donde realizan su actividad diferentes organismos.

b) como un producto de la actividad vital de los organismos (bacterias, hongos, plantas y animales) que, juntamente con los factores climáticos, actúan sobre un sustrato inorgánico y dan lugar a un soporte dinámico para la vida de esos mismos organismos.

## **El suelo es algo vivo**

Si nos atenemos a la segunda definición podemos considerar el suelo como algo vivo, con su propia fisiología, que es el equilibrio dinámico que se establece entre los organismos y el medio físico. Por eso podemos decir que el suelo respira, y de hecho podemos medir su respiración, que es debida a la de sus componentes. Del mismo modo, el suelo responde a la entrada de la materia orgánica con un aumento de su biomasa microbiana; o se activa la respiración y aumenta la biomasa al aumentar la humedad y la temperatura. El suelo crece, se estructura mejor, etc.

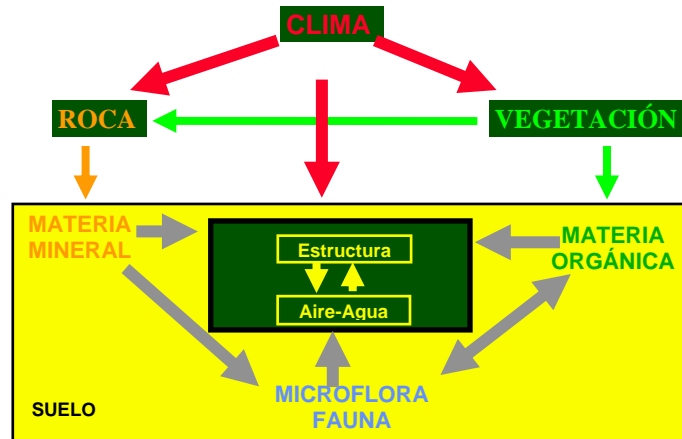


Figura 1. Esquematación del origen y componentes del suelo.

Por la misma razón es clásica la definición del suelo como un ecosistema abierto dotado de particularidades estructurales y funcionales, que está integrado por organismos en estrecha relación e interacción con el medio físico, químico y orgánico que le sirve de soporte y de medio de vida, y que presenta una cierta autorregulación que le da un equilibrio dinámico.

Para Di Castri el suelo es un subsistema endógeno, que por integración con el epigeo da lugar a un ecosistema terrestre autosuficiente y autorregulado. Los dos subsistemas son abiertos e interdependientes.

En la Figura 1 se esquematiza el origen y los componentes del suelo.

En primer lugar está la roca madre, que normalmente constituye el material parenteral que sirve de base para la producción de suelo. La roca, por la acción de los factores climáticos (Temperatura, agua, etc.) y de la vegetación, es meteorizada y aporta al suelo la materia mineral. De otra parte, la vegetación (hojarasca y raíces muertas) y las heces de infinidad de organismos, junto con sus cadáveres y sus mudas, forman el aporte de materia orgánica al suelo. La microflora y la fauna del suelo actúan sobre ambas materia, la mineral y la orgánica, y contribuyen a la estructuración del medio en el que viven.

#### ¿Qué fauna vive en el suelo?

¿Qué organismos están presentes en el suelo? La lista resulta muy larga, pero podemos abreviarla mencionando sólo aquellos que se encuentran bien representados o que tienen gran actividad en los suelos.

Llamamos macrofauna a la integrada por organismos que tiene un tamaño superior a 10,4 mm, prácticamente 1 cm, mesofauna la formada por organismos comprendidos entre 10,4 y 0,16 mm y microfauna a la de menos de 0,16 mm (Tabla 1).

Tabla 1.

MACROFAUNA	MESOFAUNA	MICROFAUNA
(> 10,4 mm)	(< 10,4 mm, > 0,16 mm)	(< 0,16 mm)
Lumbricidae	Chilopoda	Colembola
Chilopoda	Diplopoda	Acari
Diplopoda	Isopoda	Tardigrada
Isopoda	Insecta	Rotifera
Insecta	Enchytreidae	Nematoda
Enchytreidae	Opiliones	Protozoa
	Pseudoscorpiones	Hongos
	Diplura	Bacterias
	Protura	
	Collembola	
	Acari	
	Tardigrada	
	Rotifera	
	Nematoda	

De la lista presentada en la macrofauna, son especialmente relevantes los Lumbricidae, ya que, aunque el número de especies suele ser muy pequeño (2-12 especies en la misma muestra), su biomasa suele ser grande en algunas áreas: entre 5 y 250 g/m<sup>2</sup> en peso seco, con un mínimo en suelos de bosques ácidos y un máximo en praderas básicas (Wallwork, 1970; Addan et al., 1991) lo que supone una biomasa media de unos 1.275 kg/ha de materia seca (unos 6.000 kg de peso fresco).

En algunos tipos de hábitats tienen importancia los diplópodos, y otros artrópodos como las larvas de dípteros, que pueden convertirse en los principales detritívoros de la superficie del suelo, cuando no hay lombrices; en ese caso el superficial, bajo la hoja rasca, suele aparecer cubierto de gran cantidad de heces, que son la base de alimentación de los hongos y bacterias. así ocurre en las zonas áridas mediterráneas en algunos ambientes con exceso de materia orgánica y con poca tasa de degradación, como son los pinares de la Zona media y sur de Navarra (Jordana et al., 1981 (Figura 2).

En lugares húmedos pueden ser importantes los isópodos.

Dependiendo de la humedad y de la calidad de la materia orgánica se pueden poblaciones enquistadas encontrar de bastante grandes -estoy hablando de hasta 134.000 individuos por m<sup>2</sup> O'Connor, 1967)-, si bien las poblaciones fluctúan mucho a lo largo del año y están compuestas por muy pocas especies. En un robledal de Leiza, en Navarra, hemos llegado a contabilizar hasta 114.000 ejemplares por m<sup>2</sup>, mientras que en un carrascal en Biurrun no llegan a 20.000 por m<sup>2</sup> (Jordana et al., 1990).

Algo diferente ocurre con los colémbolos, que se encuentran en gran número en el suelo; unos 40.000 individuos por m<sup>2</sup>. así, las poblaciones encontradas por mí en el trabajo citado, varían entre 20.000 y 50.000 individuos por m<sup>2</sup>, número muy simi-

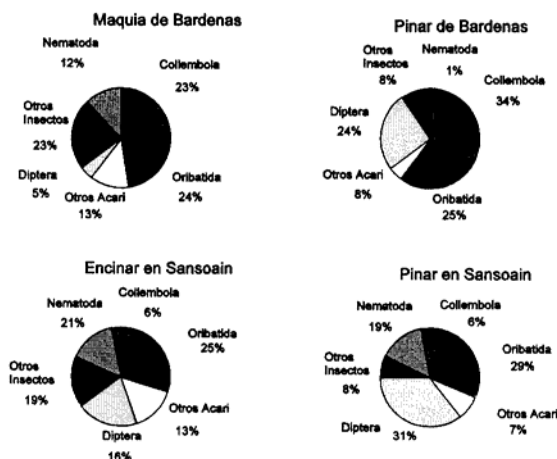


Figura 2. Pinares de la zona media y sur de Navarra

lar al encontrado por otros investigadores en diferentes localidades europeas. El número de especies que encontramos en los suelos es muy elevado: unas 80 especies en una localidad. Su biomasa, en cambio, es muy pequeña, pero su función en el suelo es bastante importante.

Lo mismo sucede con los ácaros, que se encuentran en poblaciones muy numerosas -cerca a los 200.000 individuos por  $m^2$ -, y con muchas especies -cerca de 200-. Las poblaciones son muy variables a lo largo del año y sus fluctuaciones están relacionadas con muy diferentes factores.

Las poblaciones de nematodos son difíciles de evaluar, pero cuando se realizan los muestreos con estudios previos de muestra mínima (ariño et al., 1996) y la extracción se efectúa por medio de centrifugación en gradiente de sacarosa (Jordana et al., 1987) se pueden lograr estimaciones próximas a la realidad. Los números que se encuentran en la bibliografía (Wallwork, 1970) son de 4-20 millones por  $m^2$  en una pradera y de casi 30 millones por  $m^2$  en un robleal. Los datos obtenidos por nosotros (Jordana et al., 1990) son de 100 mil a 9 millones de nematodos por  $m^2$  en un robleal, que suponen unas biomásas estimadas de 2,5 kg por ha. El número de especies es alrededor de 200.

En un trabajo clásico Clark (1971) realiza la estimación de la microfauna del suelo en un recuento de unos dos mil millones de células bacterianas por gramo de suelo, que supondrían unas 4.500 kg de peso vivo por hectárea y por 15 cm de profundidad. Una simple transformación nos permite estimar en una tonelada el peso seco por hectárea. Los actinomicetes son diez veces menos en número que las bacterias, y los hongos 100 veces menos. En biomasa, en cambio, las bacterias y los

Tabla 2.

Grupo	Número/m <sup>2</sup>	Biomasa g(ps)/m <sup>2</sup>	Biomasa media kg(ps)/ha
Lumbricidae	50-400	5-250	1000
Diplopoda	2-200	0,4-1	7
Isopoda	<500	0,28	2,5
Insecta		3-10	65
Enchitreidae	10-34 x 10'	2-10	60
Collembola	25-50 x 10'	0,009-0,13	2
Acari	50-200 x 10'	0,12-0,9	5
Nematoda	0,19 x 10 <sup>6</sup>	0,005-0,45	2,5
Protozoa	1-20 x 10 <sup>6</sup>	1,6-4	30
Hongos	2-5000 x 10 <sup>9</sup>	200	2000
Actinomic	2-5000 x 1V	100	1000
Bacterias	2-5000 x 10 <sup>n</sup>	100	1000
Totales	2,22 x 10 <sup>11</sup> -5,55 x 10 <sup>14</sup>	412,5-676,8	5174

actinomicetes se encuentran en las mismas cantidades, pero son la mitad de los hongos del suelo. Debe advertirse que se trata en todos los casos de una generalización, pues las variaciones de unos y otros son muy grandes y dependen del pH del suelo y del grado y tipo de humificación y de otros factores.

Con todo lo dicho hasta aquí, espero haber demostrado que el suelo está vivo, pues contiene unas 25 toneladas de peso fresco por hectárea y por 15 cm de profundidad, lo que equivale a una vacada de 50 vacas de 500 kg cada una en una hectárea, por poner un término de comparación.

### Diversidad

La vida del suelo, su respiración, la movilización de nutrientes, la percolación del agua, la humificación de la materia orgánica, etc., depende de la biomasa, pero de una biomasa formada, en el suelo de cada localidad, por unas especies determinadas y propias. La actividad y fisiología de los suelo ante una variación del medio, su respuesta y capacidad de reacción ante las perturbaciones depende de las diferentes especies que en él viven. Sucede que especies oportunistas muy poco representadas, son las que comenzarán la colonización en el medio perturbado, convirtiéndose en especies colonizadoras de la nueva sucesión. En definitiva depende de la diversidad.

El término diversidad tiene muy diferentes connotaciones o significados. Podemos hablar con Lovejoy (1994) de:

a) diversidad evolutiva que significa radiación adaptativa;

- b) diversidad biológica como característica de una comunidad determinada;
- c) diversidad total de la tierra o variedad de la vida; es decir, número de especies;
- d) distribución de la diversidad biológica de un modo geográfico y su concentración en determinadas áreas.

Podemos añadir:

- e) diversidad genética que está en la base de todos sus significados.

Como se puede ver al termino ha tenido éxito, un éxito debido principalmente al interés económico que ha suscitado el estudio de la diversidad en su relación con nuevos productos y patentes, y con su aplicación a la salud y a la agricultura. Hay numerosos ejemplos, y en la conferencia citada de Lovejoy se da noticia de muchos casos que muestran la importancia de la biodiversidad para el hombre.

### **La biodiversidad como característica de una comunidad**

Me voy a referir ahora a la biodiversidad en el sentido b), es decir, como característica de una comunidad o, en otras palabras, como composición faunística de un bosque, de una pradera, de un campo de cultivo, etc. Esta diversidad se puede medir por medio de índices.

Es indudable que el modo más fácil de medirla es contar el número de especies. Pero este dato puede darnos poca información. Por ejemplo, nada nos diría de qué especies son las más abundantes, de la estructura de la comunidad, etc. En la naturaleza, la presencia de un buen número de especies en una zona, localidad o biotopo suele indicar una gran diversidad de nichos ecológicos, está relacionada con la heterogeneidad del hábitat. a las relaciones predador-presa que se establecen entre las especies que viven en una misma localidad es lo que llamamos matrices o redes tróficas. Los diferentes índices de diversidad que se aplican pueden utilizarse como medida de la complejidad del sistema y, en el caso de los suelos, nos pueden indicar la alteración de la red trófica por acciones antrópicas, desastres naturales, estacionales, fuego, etc.

### **Red trófica**

Esta cantidad de especies y de tan diferentes grupos biológicos en un suelo, ¿qué papel desempeñan en él?

Tradicionalmente los seres vivos del suelo se han clasificado tróficamente, según el tipo de alimentación o el nicho que ocupan en el suelo. así, hay descomponedores, detritívoros, saprófagos, bacteriófagos, fungívoros, fitófagos, carnívoros. Hay que tener en cuenta que la energía que entra en el subsistema suelo lo hace en forma de materia orgánica en superficie, o en forma de materia orgánica de origen radicular.

El conjunto de las actividades tróficas de un suelo se puede esquematizar como se muestra en la Figura 3; es lo que se llama una red de relaciones tróficas, se trata sólo de un esquema, pues en un suelo habría que conocer para cada especie, su tipo

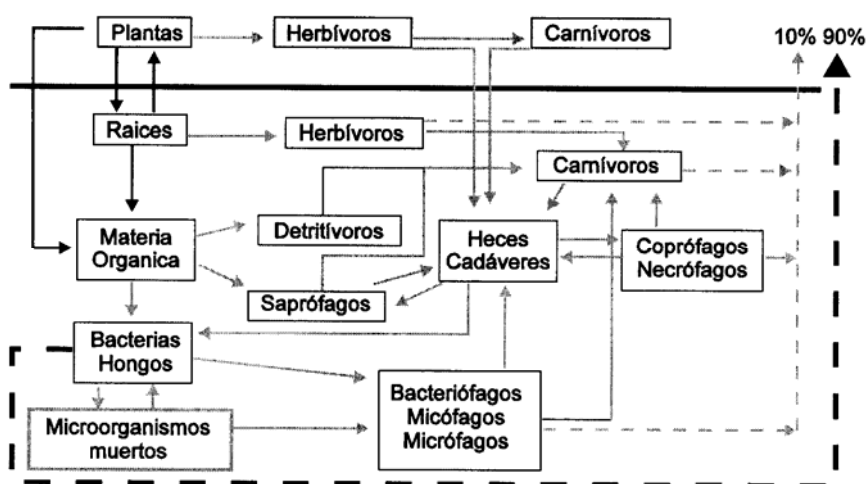


Figura 3. Red de relaciones tróficas.

de alimentación para los carnívoros la presa habitual y presas alternativas-, con el fin de poder conocer la relaciones tróficas reales. En línea discontinua se representa la contribución de los diferentes organismos a la respiración del suelo. Se puede observar que los microorganismos representan el 90 % de la respiración del suelo, mientras que el resto de la fauna supone un 10 %, lo que llevaría a pensar en la baja actividad o importancia de la fauna para el ecosistema suelo.

En la Figura 4 se expone una red trófica de relaciones entre ácaros (Wollwork, 1967). Se observa como toda la red se va simplificando hacia los niveles más altos, los carnívoros, que suelen tener presas específicas. Esta red se da completa en los diferentes horizontes del suelo y está formada por animales de menor tamaño con forme avanzamos en profundidad. La desaparición de un elemento de la red puede tener mucha importancia, si es un carnívoro, cambiarán las proporciones o los números de una o varias especies con el consiguiente reajuste de toda la red. Estos reajustes pueden tener que ver con la falta de control de especies parásitas o fitófagas y, por tanto, con el equilibrio del suelo.

**Funciones de la fauna**

Hay que tener en cuenta que la fauna realiza funciones de enorme importancia para la actividad y estructura de los suelos como soporte de las plantas. Veamos algunos ejemplos.

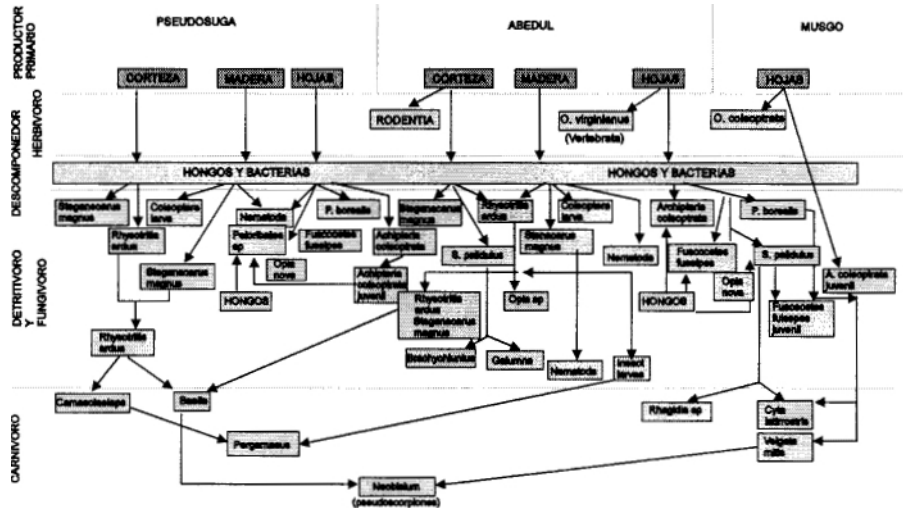


Figura 4. Una red trófica de relaciones entre ácaros.

**Papel de las lombrices**

Es bien conocido de todos el papel que desempeñan la lombrices en los suelos. Bouche (1977) clasifica las lombrices como epígeas, endógeas y anécicas, del mismo modo puede clasificarse al resto de la macrofauna del suelo. La fauna epígea se encuentra en los primeros centímetros del suelo y en la capa orgánica, la endógea en profundidad. Ninguno de los dos grupos realizan movimientos verticales de consideración y, por tanto, no participan de un modo significativo en el transporte de la materia orgánica en el suelo. El tercer grupo, la fauna anécica, suele estar formada por grandes oligoquetos, que realizan movimientos verticales, y que son responsables del transporte de materia orgánica de la superficie a los niveles más profundos del perfil, y de materia mineral de la profundidad del perfil a la superficie, donde depositan grandes cantidades de su contenido intestinal. Estos depósitos se estiman entre 75-250 toneladas por hectárea y año en suelos de la zona templada (Lee, 1985), otra buena parte del contenido intestinal, se deja en el interior del suelo y se da el caso de praderas en Navarra en las que la totalidad del suelo está construida por su paso por el intestino de la lombriz. Este efecto esta documentado y estudiado por Buntley & Papendick (1960) en USA y a esos suelos se les ha dado el nombre de vermisoles (suelos de lombrices), ya que la totalidad del perfil son heces de lombriz. Esto nos puede dar idea de la enorme importancia que puede tener en agricultura la presencia de lombrices o su ausencia. Son responsables de la percolación del agua a través del perfil debido a sus actividades excavadores; son responsables también de un aumento de la actividad bacteriana sobre la materia orgánica, y por tanto de la



Tabla 3. Efecto de la aplicación de pesticidas sobre poblaciones de lombrices y algunas propiedades del suelo (Clements, 1978).

	Con pesticida	Control
Lombrices n°/m <sup>2</sup>	0	37
Acumulación de hojarasca t/ha	5,21	0,34
Conductividad hidráulica m/día	0,67	17,8

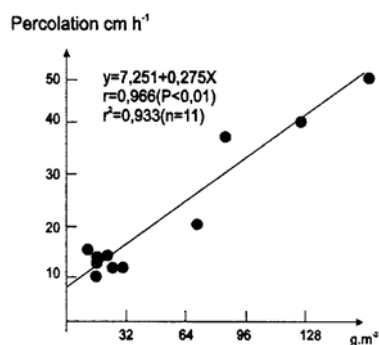


Figura 5. Percolación y biomasa de lombrices.

movilización de nutrientes. Estas tres actividades tienen incidencia sobre la evaporación del agua en la superficie del suelo, sobre la infiltración y el encortezamiento de la superficie, sobre la trituración de la materia orgánica, sobre la agregación órgano mineral del suelo, sobre la estructura de los agregados y su estabilidad. Efectos todos ellos, que no dejan de tener gran trascendencia. Una muestra de su importancia nos la dio Clements (1978) (Tabla 3), que encuentra efectos espectaculares de los pesticidas sobre la población de lombrices y su relación con algunas propiedades del suelo.

Similares resultados encuentran addan *et al.* (1991), como se puede observar en la Figura 5, en la que apreciamos una correlación lineal altamente significativa entre la percolación y la biomasa de lombrices.

Otros macro-invertebrados como los diplópodos tienen gran importancia en la rotura de la hojarasca en la superficie y en la estructuración de la materia orgánica en un horizonte de heces en superficie, pero no tienen la capacidad de realizar un transporte tan eficaz.

#### **Papel de la mesofauna**

La mesofauna, en los diferentes niveles del suelo, actúa como trituradora en partículas finas, y como sistema de infección y transporte de bacterias y hongos sobre la materia orgánica. El transporte de la materia orgánica hacia profundidad en ausencia de macrofauna se realiza por gravedad y por arrastre del agua.

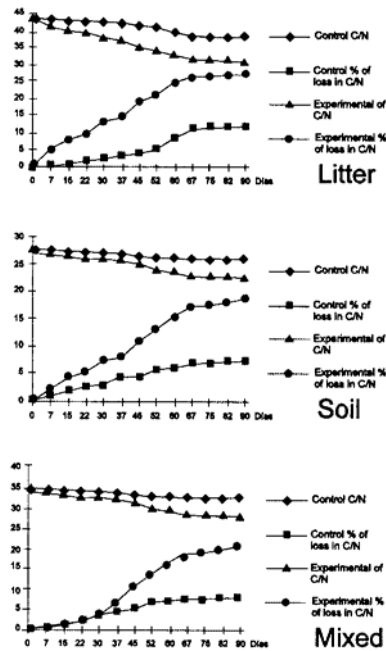


Figura 6. Resultados obtenidos por Guru *et al.*

Son antiguos los experimentos de Kurcheva (1960, 1967) en los que estudia la desaparición de la hojarasca de bosque cuando se quita la microfauna y se deja solamente la actividad de hongos y bacterias. La hojarasca desaparece cinco veces más despacio y disminuye la producción de ácidos húmicos. Cuando se añade al suelo la mesofauna y macrofauna, aumenta en un 7 % la destrucción de la hojarasca. Estos resultados se explican en parte por la acción de los microartrópodos en la disminución de la relación C/N en la materia orgánica del suelo. En un experimento de laboratorio con hojarasca, suelo y una mezcla de ambos, Guru *et al.* (1991) obtienen los resultados expuestos en la figura 6. La relación C/N disminuye más en presencia de *C. thermophilus* que cuando está ausente, tanto en hojarasca como en suelo. Estos experimentos se han hecho en el laboratorio en condiciones controladas, y el efecto comprobado en ellos no se puede referir a otro factor distinto que a la presencia de la mencionada especie. Es precisamente la relación C/N la que condiciona la degradación de la materia orgánica en los bosques. Según se muestra en la siguiente gráfica (Figura 7) realizada con los datos de Wittich (1942, 1943), el tiempo de descomposición es mayor conforme aumenta la relación C/N. Es esta una muestra de la importancia de la mesofauna en los procesos de humificación en los suelos.

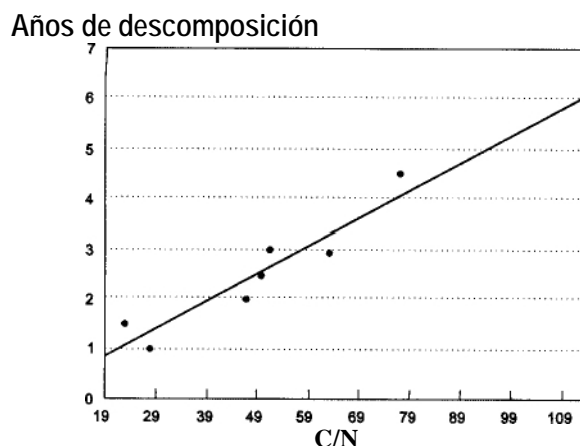


Figura 7. Correlación años de descomposición según relación C/N de hojas de diferentes especies Wittich, 1942, 1943.

### Bioindicación

Además de todo lo expuesto hay que tener en cuenta el papel de bioindicación que tiene la fauna. ¿Qué fauna o qué grupos animales pueden servir como indicadores de la situación de un suelo?

Experimentos recientes ponen de manifiesto que no es fácil entender las interrelaciones entre la fauna del suelo, su productividad, las propiedades del suelo, etc.

Se ha estudiado la sucesión secundaria (Scheu & Schulz, 1996) desde un campo cultivado hacia la implantación de un hayedo. El campo cultivado es de trigo y ha dado diferentes cosechas a lo largo de 20 años. Los restos vegetales eran quemados en otoño y sufría un laboreo mínimo. El segundo y tercer campo de estudio habían sido dejados de cultivar hace 4 y 11, y en ellos se había desarrollado una comunidad pratense. En el cuarto campo -dejado de cultivar hace 50 años- se había establecido un bosque de Fresnos. El quinto lugar era un hayedo. Se mide el contenido en carbono, nitrógeno y densidad del suelo.

En la fauna se analizan los diplópodos, los isópodos, las lombrices y los ácaros oribátidos.

Los resultados obtenidos indican (Figura 8) que el nitrógeno y el carbono aumentan a partir de los 50 años de cese del cultivo y en el mismo tiempo comienza a disminuir la densidad relativa del suelo (aumento de porosidad y de materia orgánica). Esa dinámica sólo la sigue la comunidad de ácaros, a partir de los 11 años comienza a aumentar su diversidad y es máxima en el hayedo. El resto de los grupos zoológicos estudiados se comportan de una manera muy diferente, la diversidad aumenta

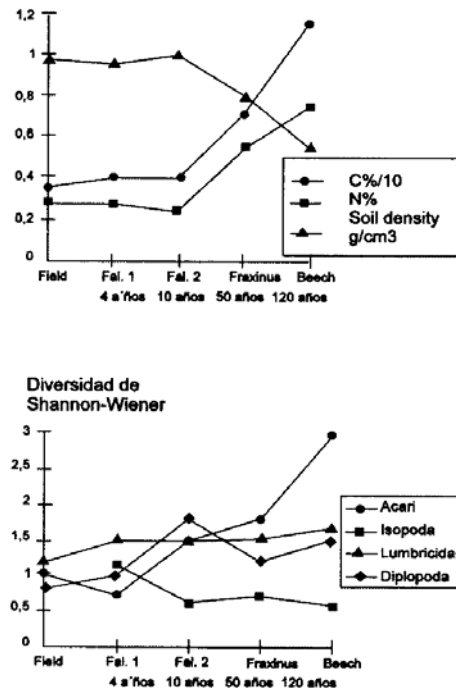


Figura 8. Datos tomados de Scheu, S & Schulz, E. 1996

a los 4 u 11 años de cese del cultivo y luego no varía. Estos resultados contradictorios con las teorías de la sucesión hacen pensar que no conocemos las relaciones reales de la fauna con los factores bióticos y abióticos del suelo, y que no todos los grupos son afectados por los mismos factores y, por tanto, no informan del mismo modo. Se puede explicar en parte por el lugar que ocupa cada uno de los grupos estudiados: los ácaros son endógeos y cuentan con muchas especies, los isópodos y diplópodos son epígeos y tienen menos especies, por lo que su diversidad es menor y menos variable, lo mismo le sucede a las lombrices. De algún modo se confirma este hecho estudiando algo similar en la Navarra Media (armendáriz et al.) donde se llevó a cabo la repoblación forestal con pino laricio.

Analizando el comportamiento de las comunidades de nematodos a lo largo de la sucesión de 50 años (Figura 9), se observa que los índices de diversidad, riqueza, número de especies e índice de madurez de Bongger, aumentan con la edad de los pinares, lo que está de acuerdo con el aumento de heterogeneidad del medio al ser más maduro. Lo mismo sucede con los ácaros y con los colémbolos, que pasan a ser unos grupos muy importantes de la mesofauna como indicadores de la biodiversidad, probablemente por ser animales propiamente edáficos, muy poco independientes del suelo, y poseer un buen número de especies adaptadas a diferentes nichos ecológicos en el suelo.

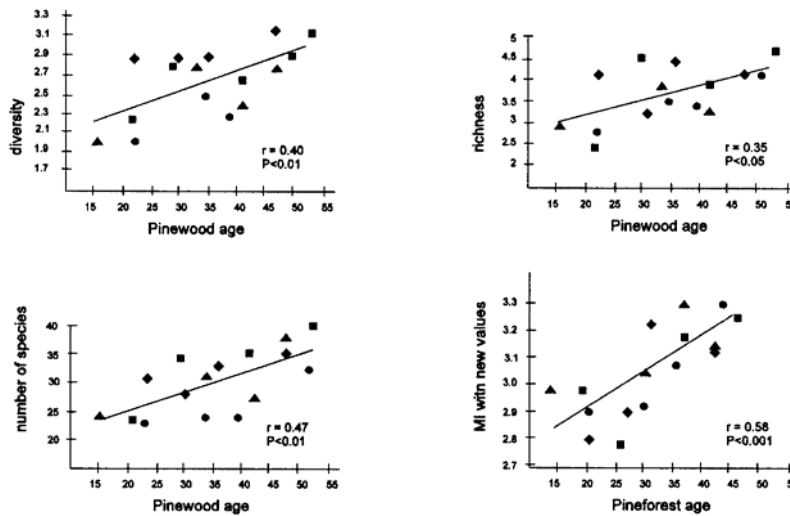


Figura 9. Análisis de las comunidades de nematodos a lo largo de la sucesión de 50 años.

**Los agroecosistemas**

Hasta ahora hemos estado hablando de la biodiversidad o de sus índices en suelos de bosque o pradera más o menos natural o poco alterada, o en sucesiones de recuperación de áreas alteradas. Pero cosa muy distinta es hablar de los campos de cultivo o de los a sí denominados agroecosistemas, y de otras actividades humanas, o derivadas de ellas, sobre la fauna natural.

Hay dos conceptos muy diferentes a tener en cuenta, el papel que la biodiversidad animal puede jugar en un ecosistema agrícola o el efecto de diferentes agroecosistemas sobre la biodiversidad.

La biodiversidad de la fauna del suelo en los sistemas agrícolas puede utilizarse como indicación de la situación de un agroecosistema, además tiene importancia por el control que puede realizar sobre la fauna fitoparásita. Es bien conocido que una parte de la fauna útil de los cultivos está presente en el suelo.

Respecto al efecto de los agroecosistemas sobre la biodiversidad podemos decir que dependerá del tipo de agricultura que se practique, más o menos agresiva con el medio, pero siempre tiene un impacto negativo.

además no produce el mismo efecto de degradación de la biodiversidad un sistema agrícola en zonas húmedas que en zonas áridas, y el tiempo y coste de recuperación es muy diferente.

Cuando nos referimos a la biodiversidad de la fauna del suelo, ésta está relacionada con la cantidad de materia orgánica del suelo. Por lo tanto, el aporte en superficie es necesario para que se active toda la red trófica, pues si dicho aporte dismi-

Tabla 4.

Mantienen la biodiversidad	Disminuyen la biodiversidad
Mantenimiento de setos	Desaparición de setos y ribazos
Mantenimiento de ribazos	Desaparición o quema de ribazos
Cultivo múltiple (policultivo)	Monocultivo
Rotación de leguminosas	Monosucesión
Estercolado	Mineralización
Cosecha en bandas	Cosecha convencional
Mínimo laboreo	Laboreo convencional
Paisaje con estructura en mosaico	Simplificación paisajística
Agricultura orgánica	Agricultura intensiva
Fertilización orgánica	Fertilización química
Control biológico de plagas	Control químico de plagas
Diversidad de germoplasma	Estandarización

puye, disminuirá el tamaño de la red -el número de eslabones-, es decir disminuirá la diversidad. Por esta razón, el estercolado de campos de cultivo o pastos produce un aumento de la biodiversidad, según han demostrado muchos autores, y disminuye por disminución de la materia orgánica. Pero no es este el único factor que afecta a la biodiversidad. En el citado artículo de Paoletti se encuentra una tabla con actividades que entrañan aumento y disminución de la biodiversidad en los campos de cultivo y que se reproduce a continuación (Tabla 4).

Los efectos de esas prácticas de cultivos sobre el suelo son de índole muy distinta. Hay efectos directos sobre la comunidad animal del suelo cuando se utilizan insecticidas, nematicidas o acaricidas, el efecto suele no ser discriminatorio y muere la fauna útil (predadores y detritívoros) juntamente con los fitoparásitos, y queda disminuida la diversidad con muy difícil recuperación.

Hay también efectos indirectos. así, la rotura de la estructura del suelo con el laboreo aumenta, a la larga, la compactación del suelo, disminuye la porosidad y el tamaño de los poros en el suelo, la fauna tiende a ser más pequeña, menos numerosa y por tanto disminuye la biodiversidad, además de aumentar el encharcamiento con las consiguientes consecuencias para la fauna. Estos efectos se pueden cuantificar en un experimento de Foissner (1992) en el que compara las prácticas agrícolas de agricultura orgánica con la llamada tradicional (Intensiva). Cuando se realiza la experimentación en una zona seca y sobre un cultivo de viña se obtienen mejores resultados sobre biodiversidad en el cultivo orgánico, pero no hay ninguna significación si se realiza el experimento en praderas de zonas húmedas, por encima de 1.200 mm anuales de precipitación (Tabla 5). Todo ello parece indicar que el clima es un componente muy importante en los efectos de la agricultura intensiva sobre los animales del suelo.

Podría concluir afirmando que la biodiversidad es un bien en sí misma y que a la vez se supone que el aumento de la biodiversidad en los suelos ayudará a la agricul-

Tabla 5. Comparación de agricultura ecológica y convencional en parcelas de viñas en baja Austria<sup>1</sup>.

Parametro	Orgánico	Convencional	Significación 90
Protozoa (Tecamebas)			
Nº/g de p.s. de suelo	347	156	S
Biomasa (mg/kg ps suelo)	24	7	S
Nº de especies	14	13	NS
Nematodos			
Nº de ps de suelo	152	46	S
Lombrices			
Nº/m <sup>2</sup>	91	4	S
Biomasa (g/m <sup>2</sup> )	38	4	S

<sup>1</sup> Precipitación media anual 480 mm; temperatura media anual: 9°C; tratamiento orgánico: estiércol fresco (2 t/ha/año) y gallinaza (800 kg/ha/año). Convencional 300 kg/ha NPK y 10 tratamientos con insecticidas.

tura. Sin embargo esto aún hay que demostrarlo, dado que se han realizado muy pocos estudios y algunos arrojan resultados contradictorios.

En un momento como el actual en el que se ve como avanza la aridez y la desertización en el área mediterránea, conocer a fondo y estudiar los parámetros de diversidad de los diferentes sistemas de cultivo, para diferentes grupos animales del suelo, y su relación con la productividad en términos económicos, puede ser decisivo para las políticas de conservación y de restauración. Es muy necesario conocer la relación coste/beneficio, un beneficio en el que, además, siempre hay que considerar un factor social de bienestar, amén de la conservación de un patrimonio que debemos legar a las futuras generaciones.

## REFERENCIAS

- Addan, F. Al; Aliaga, R. & Bouche, M.B. 1991. *Relations entre peuplements lombriciens et propriétés physiques de sols méditerranéens. In Management and Conservation of Soil Fauna.* Veeresh, G. K.; Rajagopal, D. & Viraktemath, C. A (eds). 925 pp
- Ariño, A.H., Belascoain, C. & Jordana, R., 1996. Determination of minimal sampling for soil fauna by asymptotic biodiversity accumulation. *XII International Colloquium on Soil Zoology.* Dublin (Irlanda). 21-26 de Julio de 1996.
- Armendáriz, I., Hernández, Mn A & Jordana, R Temporal evolution of soil nematode communities in *Pinus nigra* forests of Navarra, Spain. *Fundam. appl. Nematol.* (En prensa).
- Bouche, M.B.1977. Stratégies lombriciennes. In: U. Lohm and T. Persson (De.), *Soils organisms as components of ecosystems.* Ecol. Bull. 25:122-132.

- Buntley, G.J. & Papendick, R.I., 1960. Worm-worked soils of eastern South Dakota, their morphology and classification, *Soil. Sci. Soc. Am. Proc.* 24:128-132
- Clark, F.E., 1971, *Bacterios el suelo*. En: Biología del suelo. Eds., A. Burges y F. Raw. Omega, Barcelona, 596pp.
- Clements, R.O., 1978. *Scientific Proceedings of the Royal Dublin Society Ser. A. 6*: 335-341
- Foissner, W., 1992. Comparative studies on the soil life in ecofarmed and conventionally farmed fields and grasslands of Austria. *Agric. Ecosystems Environ.*, 40:207-218
- Guru, B.C. & Panda, S., 1991. *The role of Cryptopygus thermophilus (Collembola) in regulating C/N ratio*. In: Advances in Management conservation of soil fauna. G.K. Veeresch, D.Rajagopal & C.A. Viraktamath, Eds. Universal book services. Oegstgeest. Netherlands. 925 pp.
- Jordana, R., Arbea, J.I., Moraza, M.L., 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).- *Rev. suisse Zool.*, 94 (3): 491-502, 1987
- Jordana, R. et al. *Efecto de la repoblación y de la explotación forestal sobre la fauna del suelo*. Proyecto no 02209 de la CAICYT.
- Jordana, R. et al. *Estudio del impacto de los incendios en medios forestales y su recuperación: Edafología, Flora, Fauna y Erosión*. Proyecto coordinado con el Gobierno de Navarra y subvencionado por Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA). FOR90-0928, C02-02.
- Kurcheva. 1960. Role of invertebrates in the decomposition of oak litter. *Sov. Soil. Sci.*, 4: 360-365.
- Kurcheva. 1967. Influence des invertébrés du sol sur l'intensité de dégradation de la litière dans un forêt de chênes de la région de Koursk. *Pedobiología*, 7(2,3): 228-238
- Lee, K.E., 1985. *Earthworms. The ecology and relationships with soils and land use*. Academic Press. London, 251 pp.
- Lovejoy, T. J. 1994: *Biodiversity: The most fundamental Issue*. Australian Academy of Science-Tuesday, 1 March 1994. ERIN WWW Server
- O'Connor, F. B., 1967. *The enchytraeidae*. In *Soil Biology*, N.A. Burges & F. Raw (Eds.) Academic Press Inc. London, 213-257.
- Paoletti, M.G., Pimentel, D., Stinner, B.R. & Stinner, D., 1992. Agroecosystem biodiversity: matching production and conservation biology. *Agric. Ecosystems Environ.*, 40:3-23
- Scheu S. & Schulz E., 1996: Secondary succession, soil formation and development of a diverse community of oribatids and saprophagous soil macro invertebrates. *Biodiversity and Conservation*, 5: 235-250.
- Wallwork, J.A. 1970. *Ecology of soil animals*. De. McGraw-Hill, London. 281 pp
- Wittich, W., 1942. Über die Aktivierung von Auflagehumus extrem ungünstiger Beschaffenheit. *Z. Forst-u. Jagd.* 718.
- Wittich, W., 1943. Untersuchungen über den Verlauf der Streuzersetzung auf einem Boden mit vullzustand II. *Forstarchiv*. 19:1-18.