

## LAS LOMBRICES DE TIERRA COMO INDICADORAS DEL DETERIORO DEL SUELO

Fernando R. Momo<sup>1</sup>, L.B. Falco<sup>2</sup>, E.B. Craig<sup>11</sup>

### RESUMEN

Se comparan dos métodos para el uso de lombrices de tierra como bioindicadores del deterioro físico de suelos sometidos a perturbaciones, los cuales se aplicaron en un suelo argiudol típico de la llanura pampeana. Un método se basa en la construcción de curvas de frecuencias porcentuales acumuladas de las especies a lo largo de un gradiente de deterioro conocido (método de las FPA); el otro en la comparación de la afinidad porcentual de la composición de especies de cada suelo respecto a un suelo de referencia no perturbado (método de la afinidad porcentual). Ambos permiten detectar el valor indicador de cada especie y de cada asociación. Los valores obtenidos para cada índice biológico se relacionaron con dos indicadores físicos del estado del suelo: la estabilidad estructural y la

densidad aparente. Ambos métodos mostraron un buen valor indicador con respecto a la estabilidad estructural. El método de las FPA permite, mediante el cálculo de la varianza de los porcentajes acumulados para cada punto del gradiente, obtener un indicador de la transición irreversible entre dos dominios de atracción diferentes para la comunidad de lombrices; esto es útil para establecer niveles de alarma para el monitoreo. *Amyntas hawayanus* y *Bimastus parvus* parecen ser las especies características de suelos de buena calidad y con un bajo grado de deterioro; *Eulerria stagnalis* caracteriza los suelos muy deteriorados (baja estabilidad estructural) y con problemas de drenaje; las especies de *Aporrectodea* y *Microscolex dubius* son especies de transición.

Palabras clave: lombrices, deterioro de suelos, monitoreo, estabilidad estructural.

### ABSTRACT

Community composition of earthworms can be used as a bioindicator of soil quality. We propose here two methods for this purpose. One method is based on the use of cumulative frequencies graphs along a soil quality gradient, the other on the comparison of abundances against a reference undisturbed soil. Using the first method, the species may be classified according to their affinity for a given part of the studied gradient; this method can also be used to characterize the transitional area between two communities, or two attractors,

associate to bad or good soils. These methods show be more sensitive than the simple structural stability measurement and can be used for soil monitoring. *Amyntas hawayanus* and *Bimastus parvus* appear as "good soil species"; *Eukerria stagnalis* shows be an indicator of soil with a high physical deterioration (low structural stability); *Aporrectodea* species and *Microscolex dubius* are transitional species between good and bad soils.

Key words: earthworms, soil deterioration, monitoring, structural stability.

### INTRODUCCION

Los agroecosistemas modernos están sometidos a un alto grado de manipulación a través de las prácticas productivas; muchas de tales prácticas, sobre todo las intensivas,

producen un impacto ambiental que puede causar problemas serios de deterioro del suelo, tales como erosión, salinización, pérdida de estructura, reducción de la biodiversidad o

<sup>1</sup> Laboratorio de Ecología. Universidad Nacional de Luján. 1. Programa de Ecología Matemática, 2. Programa de Ecología Terrestre. CC 221 - B6700ZAB Luján – Argentina.

decrecimiento de la productividad (Pilatti *et al.* 1988). Ante esta situación, es deseable contar con métodos de detección temprana del deterioro, los cuales deberían ser simples, baratos y sensibles.

En este sentido, la fauna edáfica podría ser utilizada como indicadora de las condiciones ambientales del suelo (Paoletti 1988). Las lombrices de tierra en particular pueden ser útiles como indicadoras ya que poseen una movilidad moderada, ciclos de vida relativamente largos (Mather y Christensen 1992) y baja dispersión a escala mesogeográfica (Judas 1988, Lavelle *et al.* 1989). Mather y Christensen (1988 y 1992) han demostrado que la capacidad migratoria de las lombrices puede haberse subestimado, sobre todo en el caso de las endogeas, pero esto no invalida su utilidad indicadora ya que su abundancia relativa en suelos de diferentes características está determinada no sólo por su respuesta demográfica, extremadamente sensible a las condiciones locales como se describe en los trabajos de Evans y Guild (1948), Atlavinyte (1964), Atlavinyte *et al.* (1974), Christensen y Mather (1990), sino también por un comportamiento activo que les permite seleccionar su hábitat según sus características físicas, químicas y biológicas.

Calvin y Díaz Cosin (1985), Christensen y Mather (1990) y Mascato *et al.* (1987) han hecho notar que los patrones de microdistribución de lombrices constituyen un

testimonio de las condiciones del suelo y se ha demostrado la sociación de estos organismos con la vegetación implantada (Falco *et al.* 1995).

Los números, biomásas, diversidad específica, nivel de actividad y patrones migratorios de estos oligoquetos reflejan los cambios en su hábitat (Mather y Christensen 1988) e "integran" las variables en el espacio y el tiempo dándonos una respuesta global e histórica a los cambios del biotopo, mientras que cualquier medida física o química nos da sólo una medida instantánea de la situación.

Se han hecho trabajos previos en la zona de Luján para evaluar la respuesta de las lombrices a diferentes condiciones del suelo (Momo *et al.* 1993, Craig 1992) y tanto esos datos como la experiencia general en el uso de indicadores biológicos sugieren la conveniencia de tener en cuenta comunidades o taxocenosis a la hora de detectar cambios ambientales (Edwards y Lofty 1977, Rozen 1982, Gray *et al.* 1983, Brylinski 1986, Dotson y Kalisz 1989, Margalef 1991).

En este trabajo compararemos dos métodos biológicos para detectar el deterioro del suelo y relacionaremos sus resultados con indicadores físicos (estabilidad estructural y densidad aparente); sobre esta base propondremos una metodología más adecuada para la utilización de las taxocenosis de lombrices de tierra como indicadores biológicos del estado del suelo.

## MATERIALES Y METODOS

El primer procedimiento utilizado se basa en el propuesto por Brylinski (1986) para detectar gradientes faunísticos espaciales; pero en este caso se aplica a un gradiente de deterioro de suelos y es el de Frecuencias Porcentuales Acumuladas (FPA).

La presencia y abundancia de las diferentes especies de lombrices se determinó

por muestreo de una serie de potreros con un mismo tipo de suelo (Orden Molisoles, Gran Grupo Argiudoles, Subgrupo Típicos, serie Mercedes) pero con diferente nivel de degradación física.

Los porcentajes de representación de cada especie (*i*) en cada potrero (*j*) se calculan como:

$$p_{ij} = 100(N_{ij} / \sum_{j=1}^n N_{ij})$$

donde  $N_{ij}$  es la abundancia de la especie *i* en el potrero *j*, y *n* es el número de potreros muestreados.

Este porcentaje acumulado a lo largo de un gradiente de potreros ordenados según su calidad desde 1 hasta *k*, se calcula como:

$$P_{ik} = \sum_{j=1}^k p_{ij}$$

Representando gráficamente este porcentaje acumulado en función de algún indicador general de calidad de suelo, por ejemplo estabilidad estructural, se obtienen diferentes curvas cuya forma da una idea de las preferencias de cada especie sobre el gradiente considerado.

Una vez que se tienen los valores de los  $P_{ik}$  se obtiene para cada muestra  $k$  la varianza de  $P_{ik}$  y se la grafica también en función de la calidad del suelo. El punto correspondiente al máximo de varianza en este gráfico indica el valor de calidad para el cual se produce la transición o reemplazo de la comunidad característica de los suelos de un extremo del gradiente (mejor calidad por ejemplo) y la típica del otro extremo; es decir

$$100 - 0,5 * \sum_{i=1}^S |A_{Ei} - A_{Ri}|$$

donde las  $A_{*i}$  indican porcentajes de abundancia de la especie  $i$ -ésima,  $E$  indica el suelo estudiado y  $R$  el suelo de referencia, las barras indican valor absoluto y  $S$  indica el número total de especies encontradas en todo el gradiente. Este índice varía entre 0 y 100.

que la abscisa correspondiente al punto de mayor varianza de la frecuencia porcentual acumulada indica el pasaje entre dos dominios de atracción del sistema. Una vez hallada la ubicación de esa zona transicional se pueden establecer niveles de alarma para el monitoreo de suelos similares, esta vez en función del tiempo. El segundo método utiliza un índice de similitud desarrollado por Wittaker (1952) y se lo conoce como *afinidad porcentual*. Requiere elegir una comunidad de referencia a la que se considere no perturbada. En ese suelo de referencia y en el que se quiere comparar con él se calculan los porcentajes de abundancia de cada especie y la similitud entre ambas comunidades se evalúa como:

Las muestras fueron obtenidas en diez potreros del campo experimental de la Universidad Nacional de Luján, con diferentes usos e historias en cada potrero (Tabla 1) a partir de cinco transectas E-O extrayendo cinco muestras en cada transecta, espaciadas cada dos metros. Los muestreos se repitieron en otoño, invierno y primavera-verano.

Tabla 1. Usos y características físicas y químicas de los suelos de los diferentes lotes de donde se obtuvieron las muestras para este trabajo.

Lote n°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Uso	Suelo virgen con árboles	Campo natural	Maíz	Maíz	Pastura permanente	Maíz	Pastura permanente	Pastura permanente	Monte frutal	Avena
Índice de estabilidad estructural (%)	41,6	53,4	36,6	36,3	56,4	23,4	38,6	40,8	50,2	39,8
Densidad aparente (g cm <sup>3</sup> )	1,24	1,05	1,30	1,36	1,34	1,32	1,26	1,27	1,26	1,23
Materia orgánica (%)	3,59	3,62	3,79	3,82	3,78	3,26	3,88	3,59	3,33	3,81
N total (%)	0,19	0,19	0,20	0,18	0,20	0,20	0,18	0,19	0,16	0,19
P asimilable (ppm)	36,8	11,8	42,0	5,7	6,0	7,5	4,7	7,1	2,9	6,7
pH pasta	5,8	6,0	6,0	5,8	6,0	5,8	5,5	5,8	5,6	5,8
CIC (meq/100 g)	20,5	21,2	20,1	18,9	18,2	16,3	78,6	84,2	83,1	84,9

Los datos de abundancias por especie y por potrero se obtuvieron sumando las tres épocas y todas las muestras de todas las transectas por lote.

Craig (1992) demostró, utilizando un análisis de correlación canónica, que las variables físicas más importantes en la determinación de la composición de especies

de lombrices son el porcentaje de arena fina, la humedad equivalente y el porcentaje de estabilidad estructural según De Leenheer y De Boodt. También la densidad aparente se utiliza en general como indicador del estado del suelo.

De acuerdo a estos criterios, el índice de afinidad porcentual se representó gráficamente en función del valor absoluto de la diferencia de estabilidad estructural y de densidad aparente de cada sitio con respecto al elegido como referencia.

## RESULTADOS

Tallarico (1973) realizó experiencias sobre suelos argiudoles llegando a establecer el siguiente significado para los valores del índice de estabilidad estructural: índice > 50%, estructura excelente; índice entre 40 y 50%, estructura muy buena; índice entre 33 y 40%, estructura buena; índice entre 25 y 30%, estructura deficiente; índice < 25%, estructura mala.

El rango de estabilidad estructural observado en los potreros bajo estudio varió desde 23,4 % (mala estructura) hasta 56,4 % (excelente), como se muestra en la tabla 1.

Se encontraron nueve especies de lombrices: *Aporrectodea caliginosa*, *A. rosea*, *A. trapezoides*, *Octolasion cyaneum* y

Como este índice hace necesario tomar un suelo como referencia, ensayamos dos criterios, por un lado usar como referencia al suelo forestado sin perturbación agrícola (lote 1), por otro, tomar como referencia al de mayor porcentaje de estabilidad estructural (lote 5, pastura permanente). Para el otro índice (FPA) se realizaron los gráficos siguiendo el valor absoluto de estabilidad estructural como indicador directo de calidad del suelo.

*Bimastus parvus* de la familia Lumbricidae; *Amyntas hawayanus* de la familia Megascolecidae; *Eukerria stagnalis* de la familia Ocnerodrilidae y *Microscoclex dubius* y *M. phosphoreus* de la familia Acanthodrilidae.

Las de las familias Lumbricidae y Megascolecidae son especies exóticas, introducidas en nuestros suelos pero que ya forman parte de su oligoquetofauna normal (ver por ejemplo Momo et al. 1993, Falco et al. 1995, Mischis 1997, Mischis et al. 1997).

La tabla 2 muestra las abundancias totales (sumando las cinco transectas y las tres épocas de muestreo) de las nueve especies de lombrices.

Tabla 2. Abundancias de las distintas especies de lombrices en cada lote, sumando las tres épocas de muestreo y las cinco transectas por lote. Los valores se expresan en individuos por metro cuadrado.

Lote n°	<i>Aporrectodea caliginosa</i>	<i>Aporrectodea trapezoides</i>	<i>Aporrectodea rosea</i>	<i>Bimastus parvus</i>	<i>Microscoclex dubius</i>	<i>Microscoclex phosphoreus</i>	<i>Octolasion cyaneum</i>	<i>Amyntas hawayanus</i>	<i>Eukerria stagnalis</i>
1	32	0	1	9	1	0	0	1	0
2	28	0	5	19	0	0	1	4	0
3	47	1	4	2	1	0	0	0	0
4	7	6	0	1	1	0	0	0	0
5	1	2	0	2	1	0	0	0	0
6	0	0	0	2	0	0	0	0	5
7	41	11	10	0	13	0	0	0	0
8	56	0	5	0	2	0	3	0	0
9	7	1	1	24	3	2	0	0	0
10	17	0	0	3	3	0	0	0	0

Es interesante notar que *Eukerria stagnalis* sólo aparece en el suelo más deteriorado, que además presenta un grado importante de hidromorfismo por ser un lote más bajo y mal drenado; *Amyntas hawayanus*, por su parte, sólo aparece en los

suelos “vírgenes”, es decir, que no han sido sometidos a actividad agropecuaria. Para las curvas FPA sólo se tomaron en cuenta las cinco especies que aparecen en más de tres lotes para que tenga sentido ecológico el gradiente de deterioro.

Las figuras 1 a 5 muestran las curvas de frecuencias porcentuales acumuladas de

esas cinco especies en función de la estabilidad estructural.

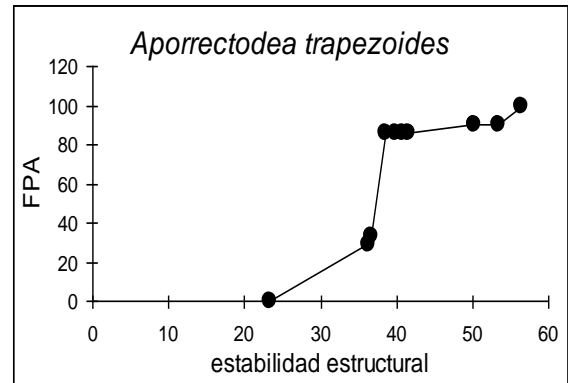
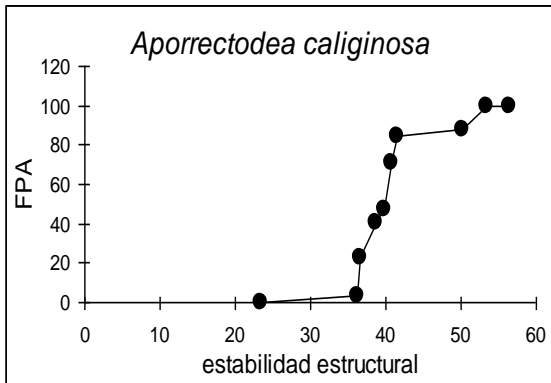


Figura 1. Curva de Frecuencia Porcentual Acumulada (FPA) en función de la estabilidad estructural del suelo para *Aporrectodea caliginosa*

Figura 2. Curva de Frecuencia Porcentual Acumulada (FPA) en función de la estabilidad estructural del suelo para *Aporrectodea trapezoides*.

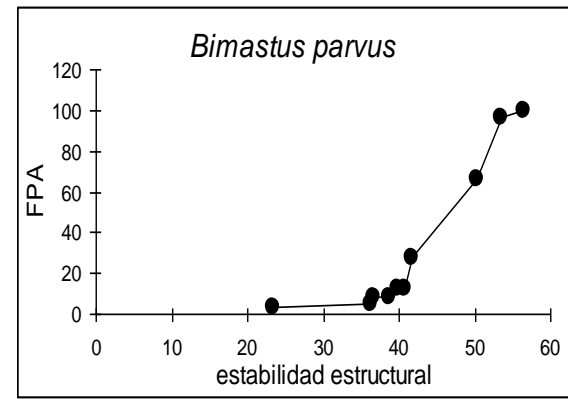
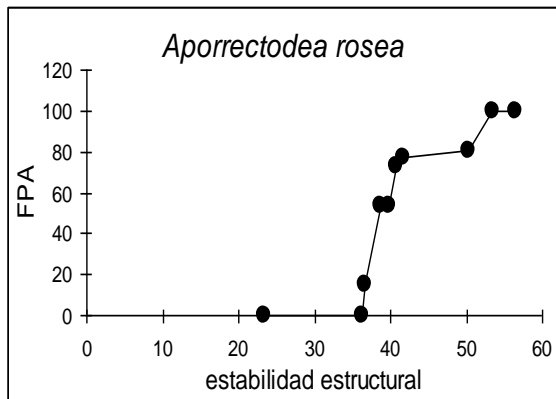


Figura 3. Curva de Frecuencia Porcentual Acumulada (FPA) en función de la estabilidad estructural del suelo para *Aporrectodea rosea*

Figura 4. Curva de Frecuencia Porcentual Acumulada (FPA) en función de la estabilidad estructural del suelo para *Bimastus parvus*

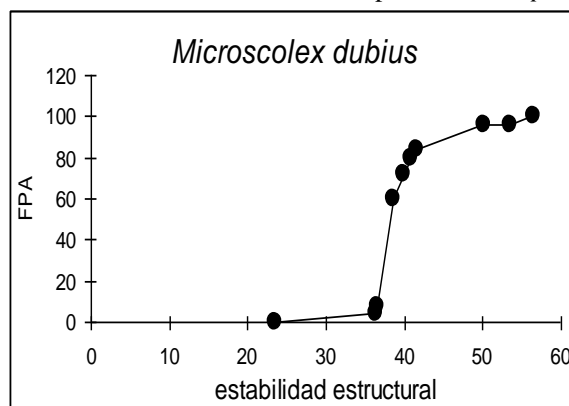


Figura 5. Curva de Frecuencia Porcentual Acumulada (FPA) en función de la estabilidad estructural del suelo para *Microcolelex dubius*

*Aporrectodea caliginosa*, *A. rosea* y *Microcolelex dubius* aumentan su representación porcentual a partir de una

estabilidad estructural del 37 % y llegan a su máximo con valores de estabilidad estructural mayores a 40%, es decir que son

características de suelos con estructura buena y el aumento en su abundancia marca la transición a aquellos de estructura muy buena; *Aporrectodea trapezoides* en cambio aumenta su representación porcentual a valores menores de estabilidad estructural (estructura deficiente), es decir que es una especie más característica de suelos deteriorados, mientras que *Bimastus parvus* aparece como representativa de suelos con estructura entre muy buena y excelente. Como se dijo antes, *myntas hawayanus*, una especie endoanécica y que requiere concentraciones muy altas de materia orgánica, parece ser característica de

los suelos menos perturbados, mientras que *Eukerria stagnalis* está en el otro extremo del gradiente, sobre todo caracterizando suelos con problemas de drenaje.

La figura 6 muestra la varianza de la frecuencia porcentual acumulada en función de la estabilidad estructural. Se puede ver que la estabilidad estructural que corresponde a la transición entre dominios de atracción diferentes, se encuentra entre el 37% y el 42%, con el pico máximo en 40,8%, es decir que el cambio de comunidades se produce entre suelos de estructura buena y suelos de estructura muy buena.

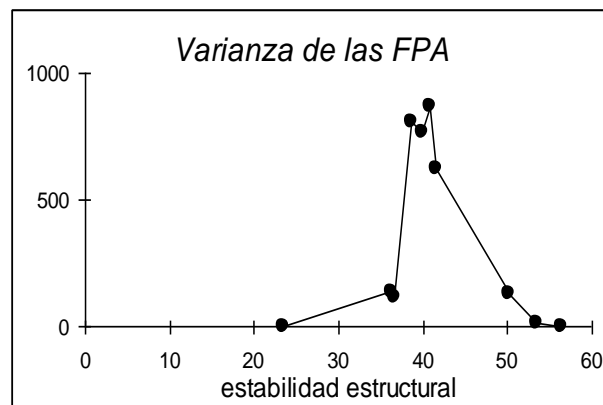


Figura 6. Varianza de la Frecuencia Porcentual Acumulada en función de la estabilidad estructural del suelo. El máximo indica la transición entre dos comunidades diferentes

Las afinidades porcentuales se calcularon contra dos suelos de referencia diferentes, en el primer caso (afin 1 y afin 2) se calcularon tomando como referencia al suelo virgen con árboles (lote 1), y en el segundo caso (afin 3 y afin 4) al suelo con pastura permanente (lote 5) que tiene la mayor estabilidad estructural de todos. Dado que este índice subestima el aporte de las especies raras (Southwood y Henderson 2000), cada índice se calculó de dos formas: incluyendo las especies del género *Aporrectodea*, que son las más ubicuas (afin 1 y afin 3) y considerando solamente a las otras especies (afin 2 y afin 4). Las figuras 7a-d

muestran los índices en función del valor absoluto de la diferencia de estabilidad estructural de cada lote respecto al lote de referencia. las figuras 8a-d lo hacen en función del valor absoluto de la diferencia de densidades aparentes. Como se ve, las regresiones lineales no son significativas cuando el parámetro físico de evaluación del deterioro es la densidad aparente; esto puede deberse a que no todos los datos de este parámetro fueron tomados en capacidad de campo y por lo tanto hay un factor de variabilidad extra.

## DISCUSION

Es claro que las lombrices de tierra ofrecen una forma útil y simple de evaluar las

condiciones del suelo en que viven Los efectos de diferentes labores agrícolas en que viven.

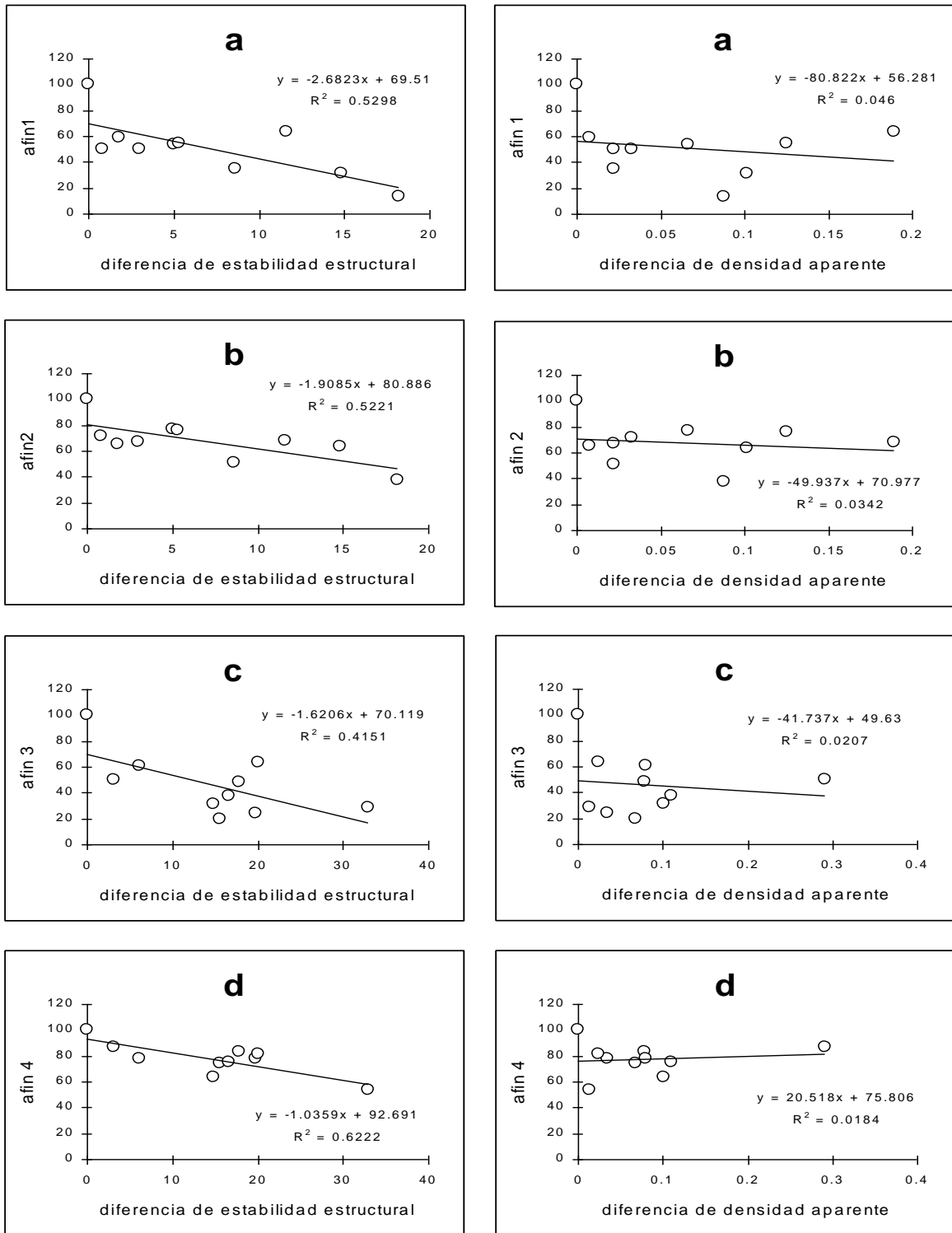


Figura 7. Afinidad porcentual de las comunidades con respecto a la referencia en función del valor absoluto de la diferencia de estabilidad estructural entre cada suelo y el de referencia; *a* y *b* comparan la comunidad contra el suelo virgen (lote 1); *c* y *d* lo hacen contra la pastura permanente del lote 5. *Afin 1* y *afin 3* incluyen a todas las especies de las muestras; *afin 2* y *afin 4* utilizan sólo las especies raras (excluyen a las del género *Aporrectodea*)

Figura 8. Afinidad porcentual de las comunidades con respecto a la referencia en función del valor absoluto de la diferencia de densidad aparente entre cada suelo y el de referencia; *a* y *b* comparan la comunidad contra el suelo virgen (lote 1); *c* y *d* lo hacen contra la pastura permanente del lote 5. *Afin 1* y *afin 3* incluyen a todas las especies de las muestras; *afin 2* y *afin 4* utilizan sólo las especies raras (excluyen a las del género *Aporrectodea*)

Los efectos de diferentes labores agrícolas en la fauna del suelo han sido ampliamente estudiados y se ha visto que la labranza (Nakamura 1988), la cubierta vegetal (Dotson y Kalisz 1989), la humedad y ciertos nutrientes (Ljungström *et al.* 1973), la textura del suelo, su acidez y los electrolitos presentes (Lee 1985), entre otros parámetros, determinan la composición y estructura de la taxocenosis de lombrices.

Ahora bien, las lombrices no responden a uno, sino a todos los factores en su conjunto (Momo *et al.* 1993, Craig 1992) aunque algunos pueden tener más peso que otros; de modo que su gran importancia como bioindicadores descansa en esa cualidad integradora de las señales ambientales.

Los resultados obtenidos tienen algunas diferencias con los señalados por otros autores, ya que las lombrices del género *Aporrectodea* aparecen en la bibliografía (Terhivuo 1988, Mato *et al.* 1988, Momo *et al.* 1993) como eurioicas, mientras que nuestros resultados indicarían que tienen preferencia por suelos de buena estructura (*A. caliginosa* y *A. rosea*) o resistencia suficiente como para habitar suelos de estructura deficiente (*A. trapezoides*). La aparición de *Eukerria stagnalis* en el extremo más desfavorable del gradiente de calidad, estaría indicando que es una lombriz muy tolerante a la degradación

física del suelo pero mala competidora en ambientes más benignos o en suelos mejor drenados. *Amyntas hawayanus* aparece asociada a los mejores suelos y además tiene una marcada preferencia por aquellos sitios con abundancia de materia orgánica (Momo *et al.* 1993).

Está claro que las prácticas agrícolas (Clapperton 1999) y la cobertura vegetal (Falco *et al.* 1995, Norgrove y Hauser 1999) afectan la composición de la comunidad de lombrices de tierra, pero no hay trabajos previos que propongan un índice sintético con utilidad para el monitoreo biológico del estado físico del suelo. Si observamos los niveles de estabilidad estructural propuestos por Tallarico (1973), vemos que el método de las curvas FPA es más sensible a los cambios del suelo que la medición directa de la estabilidad estructural; nuestros resultados indican que a un nivel de estabilidad considerado como "bueno", ya se está produciendo un recambio irreversible en la comunidad de lombrices (figura 6).

El índice de afinidad porcentual, si bien no permite fijar niveles de alarma, parece tener buena respuesta a las condiciones físicas y puede ser útil para estudios ecológicos básicos. Tiene el problema de que la elección del suelo de referencia es subjetiva y condiciona los resultados.

## CONCLUSIONES

El método de las curvas FPA es sensible y simple de implementar para su uso en el monitoreo de suelos. El ejemplo presentado puede ser usado como referencia para argiudoles típicos. Las comunidades de

lombrices responden como conjunto a las condiciones físicas del suelo pero también existen especies cuya presencia puede servir como indicador de condiciones particulares.

## BIBLIOGRAFIA

- Atlavinyte, O. 1964. Distribution of earthworms (Lumbricidae) and larvae of insecta in the eroded soil under cultivated crops. *Pedobiologia* 4: 245-250.
- Atlavinyte, O.; Z. Kuginyte y S. Pileckis. 1974. Erosion effect on soil fauna under different crops. *Pedobiologia* 14: 35-40.
- Brylinski, J-M. 1986. Methode de detection des gradients faunistiques: les courbes FCT. Repartition du zooplancton au large du Cap Gris-Nez (France). *Oceanologica Acta* 9: 457-467.
- Calvin, E. B. y D. J. Díaz Cosin. 1985. Lombrices de tierra del Valle del Tambre (Galicia, España). I. relación con los factores del suelo. *Rev. Ecol. Biol. Sol* 22: 341-351.
- Christensen, O. y J. Mather. 1990. Dynamics of lumbricid earthworms cocoons in relation to habitat conditions at three different arable sites. *Pedobiologia* 34: 227-238.
- Clapperton, M.J. 1999. Tillage practices, and temperature and moisture interactions affect earthworm populations and species composition. *Pedobiologia* 43: 658-665.
- Craig, E. 1992. Efectos del uso y las características del suelo sobre la ocurrencia y abundancia de lombrices de tierra. Trabajo final de graduación en Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional de Luján. 125 pp.



- Dotson, D. B. y P. J. Kalisz. 1989. Characteristics and ecological relationships of earthworm assemblages in undisturbed forest soils in the southern Appalachians of Kentucky, USA. *Pedobiologia* 33: 211-220.
- Edwards, C. A. y J. R. Lofty. 1977. *Biology of earthworms* Chapman & Hall. London.
- Evans, A. C. y W. J. Guild. 1948. Studies on the relationships between earthworms and soil fertility. IV. On the life cycles of some British Lumbricidae. *Appl. Biol.* 35: 471-484.
- Falco, L.B., Momo, F.R. y E.B. Craig. 1995. Asociación de lombrices de tierra y su relación con la cobertura vegetal en suelos forestados de Argentina. *Revista Chilena de Historia Natural*, 68: 523-528.
- Gray, L. J.; J. V. Ward; R. Martinson y E. Bergey. 1983. Aquatic macroinvertebrates of the Piceance Basin, Colorado: community response along spatial and temporal gradients of environmental conditions. *The Southwestern Naturalist* 28(2): 125-135.
- Judas, M. 1988. The species-area relationship of european Lumbricidae (Annelida, Oligochaeta). *Oecologia* 76: 579-587.
- Lavelle, P.; I. Barois; A. Martin; Z. Zaidi y R. Schaefer. 1989. Management of earthworm populations in agro-ecosystems: A possible way to maintain soil quality? En M. Charholm & L. Bergström (Eds.). *Ecology of Arable Land*, 109-122. Kluwer Academic Publishers.
- Lee, K. E. 1985. *Earthworms. Their ecology and relationships with soils and land use.* Academic Press.
- Ljungström, J. A.; J. A. de Orellana y L. J. Priano. 1973. Influence of some edaphic factors on earthworm distribution in Santa Fe Province, Argentina. *Pedobiologia* 13: 236-247.
- Margalef, R. 1991. *Teoría de los sistemas ecológicos.* Publicacions de la Universitat Barcelona.
- Mascato, R.; S. Mato; D. Trigo; F. Mariño y D. J. Díaz Cosin. 1987. Factores del suelo y distribución de las lombrices de tierra en dos zonas de Galicia: comparación de diferentes métodos estadísticos. *Ecol. Biol. Sol* 24: 111-135.
- Mather, J. G. y O. Christensen. 1988. Surface migration of earthworms in agricultural land. *Pedobiologia* 32: 399-405.
- Mather, J. G. y O. Christensen. 1992. Surface migration of earthworms in grassland. *Pedobiologia* 36: 51-57.
- Mato, S.; R. Mascato; D. Trigo y D. J. Díaz Cosin. 1988. Vertical distribution in soil of earthworms in Sierra del Caurel. I. species and vegetation types. 1988. *Pedobiologia* 32: 193-200.
- Mischis, C.C. 1997. Earthworms (Annelida, Oligochaeta) of a Provincial Reserve in Córdoba, Argentina : A preliminary survey. *Soil Biol. Biochem.*, 29(3/4) : 235-236.
- Mischis, C. C.; J.A.D. Herrera y M. A. Freguglia. 1997. Earthworm community distribution (Annelida, Oligochaeta) along an altitudinal gradient on Altas Cumbres Road (Córdoba, Argentina). *Megadriologica*, 6 (11) : 97-102.
- Momo, F. R.; C. M. Giovanetti y L. Malacalza. 1993. Relación entre la abundancia de distintas especies de lombrices de tierra (Annelida, Oligochaeta) y algunos parámetros fisicoquímicos en un suelo típico de la estepa pampeana. *Ecología Austral* 3: 7-14.
- Nakamura, Y. 1988. The effects of soil management on the soil faunal makeup of a cropped andosol in central Japan. *Soil & Tillage Research* 12: 177-186.
- Norgrove, L. y S. Hauser 1999. Effect of tree density and crop management upon earthworm cast production in a young timber plantation after introducing under-storey crops. *Pedobiologia*, 43: 666-674.
- Paoletti, M. G. 1988. Soil invertebrates in cultivated and uncultivated soil in northeastern Italy. *Estratto da Redia LXXI* 2: 501-563.
- Pilatti, M. A.; J. A. de Orellana; L. J. Priano; O. M. Felli y D. A. Grenon. 1988. Incidencia de manejos tradicionales y conservacionistas sobre propiedades físicas, químicas y biológicas de un argiudol en el sur de Santa Fe. *Ciencia del Suelo* 1: 19-29.
- Rozen, A. 1982. The annual cycle in populations of earthworms (Lumbricidae, Oligochaeta) in three types of oak-hornbeam of the Niepolomicka Forest. *Pedobiologia* 23: 199-208.
- Southwood, T.R.E. y P.A. Henderson 2000. *Ecological Methods.* Blackwell Science, Oxford. 575 pp.
- Tallarico, L. 1973. Evaluación del mejoramiento que producen las pasturas permanentes sobre la estructura del suelo cultivado con especies anuales, principalmente con maíz. *IDIA* 311: 1-7.
- Terhivuo, J. 1988. The Finnish Lumbricidae (Oligochaeta) fauna and its formation. *Ann. Zool. Fennici* 25: 229-247.
- Wittaker, R.H. 1952. A study of summer foliage insect communities in Great Smoky Mountains. *Ecological Monographs*, 22: 1-44.