

PARTICIPACION DE LAS LOMBRICES DE TIERRA EN EL CICLO DEL NITROGENO, CON ENFASIS EN LOS SISTEMAS AGROFORESTALES DE COSTA RICA

Julio Fraile Merino

--Departamento de Recursos Naturales Renovables,
CATIE, Turrialba, Costa Rica.
--Escuela de Ciencias Biológicas,
Universidad Nacional,
Heredia, Costa Rica

La biomasa de la fauna del suelo es dominada generalmente por las lombrices de tierra. Como el nitrógeno (N) es uno de los nutrimentos más importantes para las plantas y animales, los caminos seguidos por este elemento a través de las lombrices de tierra y las formas en las cuales es retornado al suelo, son importantes para el conocimiento de la fertilidad del suelo (10).

FRAGMENTACION Y CONSUMO DE LA MATERIA ORGANICA POR LAS LOMBRICES DE TIERRA

Las lombrices de tierra cumplen un importante papel en el proceso inicial de recirculación de la materia orgánica que cae al suelo y son responsables en gran parte de la fragmentación del mantillo de los bosques templados. Según Edwards (7), en un bosque templado que produzca 3 tn. de hojas caídas por año, las lombrices de tierra deberían consumir las hojas caídas anualmente en unos tres meses. En los bosques africanos también se ha reportado a las lombrices de tierra como los animales más importantes en la fragmentación e incorporación del mantillo. El último autor afirma, con base en estimaciones o estudios con isótopos radiactivos, que las lombrices de tierra pueden pasar a través de sus tubos digestivos, una cantidad de alimento equivalente al 10-30 % de su peso vivo por día.

Durante la fragmentación ocurren cambios químicos a pequeña escala, ya que hay poca diferencia química entre las heces y el alimento que come la fauna (10).

La materia orgánica fragmentada por las lombrices de tierra y la fauna en general, se presenta como un substrato físico más apropiado para el crecimiento microbiano. Por tanto, la actividad de la fauna y de la microflora del suelo son complementarias y están intrínsecamente relacionadas (6).

RECIRCULACION DEL N POR LAS LOMBRI- CES DE TIERRA

Las lombrices de tierra retienen N proteico en sus tejidos y éstos se descomponen rápidamente después de su muerte. Por otra parte, liberan continuamente al suelo productos metabólicos que contienen N (18).

Needham (14) determinó la salida de N-total excretado por dos especies de lombrices de tierra, en condiciones de laboratorio. Más de la mitad del N excretado por *Lumbricus terrestris* y *Eisenia foetida* era proteína, probablemente mucus y un alto porcentaje del resto, urea y amoníaco. La tasa media de excreción fue de 269 y 402 $\mu\text{g/g/día}$ para *L. terrestris* y *E. foetida*, respectivamente.

Satchell (15), basándose en los datos de Needham para el N excretado y determinando la liberación anual de N en tejido muerto por una población de *L. terrestris* de un bosque caducifolio de Inglaterra, estimó en 100 kg/ha. el N promedio circulado por la población, en un año.

Producción de excrementos ("wormcasts") por las lombrices

Las lombrices de tierra ingieren grandes cantidades de materia orgánica y partículas del suelo, que tras pasar por sus tubos digestivos, las depositan en el interior de sus galerías o sobre la superficie del suelo.

La cantidad de excrementos producidos puede ser muy grande. Según Lee (10), varios autores han estimado que más del 50 % de los agregados de las capas superficiales de los suelos europeos son reconocibles como excrementos de lumbrícidos. La producción anual de excrementos de lombrices de tierra ha sido estimada entre 0,25 y 50 kg/m² (la mayoría entre 1-5 kg/m²) para regiones templadas y frías, bajo pasturas, pastos naturales y bosques y entre 1-28 kg/m² en sabanas y bosques tropicales.

Por la producción de excrementos, las lombrices de tierra son importantes en el proceso de incorporación del mantillo con el material del suelo. Syers (17), estudiando las actividades de las lombrices de tierra en un pasto de Nueva Zelanda, calculó que el 73 % del N total contenido en el mantillo removido por estos animales desde la superficie, fue acumulado en los excrementos, lo cual indica la ineficiencia de la digestión del N por las lombrices de tierra. También comprobó, que la relación C:N de los excrementos fue menor que la del suelo bajo ellos (10,7 y 15, respectivamente), lo cual atribuyó a la mineralización del material orgánico durante el paso a través de las lombrices de tierra y la utilización por las mismas de mantillo de baja relación C:N.

Respecto de las zonas tropicales, Dash (4) midió la producción de excrementos y excreción de N por las lombrices de tierra de un pastizal de la India. Calculó en 88 tn. de peso seco/ha/año el excremento producido, que contenía un 0,47 % de N comparado con el 0,35 % del N del suelo circundante. La cantidad de N del mucus, tejido muerto de la lombriz y de los excrementos, llegó a 180 kg/ha/año.

Lavelle (8) estimó, que las poblaciones mix-

tas de lombrices de tierra en Costa de Marfil ingieren el 30 % y 27 % del mantillo anual que cae en una sabana herbácea y arbustiva, respectivamente. Encontró que los 15-20 cm. superiores de los suelos consistían casi enteramente de excrementos de lombrices de tierra.

Compuestos de N devueltos al suelo

Las lombrices de tierra devuelven al suelo N en forma de proteínas en el tejido muerto, productos de desecho excretados en la orina y mucoproteínas. Estas son segregadas por glándulas epidérmicas presentes en la superficie del cuerpo, para lubricar el movimiento del cuerpo a través del suelo y atrapar agua; de ese modo mantienen húmeda la capa superficial, lo que es necesario para su respiración (10).

Las mucoproteínas constituyen cerca de la mitad del N segregado y la mitad restante es orina fluida que contiene amoníaco y urea (16). Este N no digerible por las lombrices es excretado en formas disponibles para las plantas.

N en el tejido muerto. La producción anual de biomasa de las lombrices de tierra es de 2 a 5 veces la biomasa promedio anual y la mortalidad anual debe ser también de 2 a 5 veces la biomasa media. El contenido proteico y de N en el tejido de las lombrices de tierra es el 60-80 % y el 10-12,5 % del peso del tejido, respectivamente. De los datos conocidos de las poblaciones de lombrices de tierra, se estima entre menos de 10 y 225 kg/ha/año la entrada de N desde su tejido muerto, en zonas templadas (10). Este N es liberado rápidamente por la descomposición bacteriana en el tejido muerto de la lombriz.

N en la orina. La mayor parte del N liberado en la orina se compone de amoníaco y urea, con una pequeña proporción de alantoína y ácido úrico. Se ha estimado la entrada total de N al suelo, excretado como amoníaco y urea, entre menos de 1 y 100 kg/ha/año, comúnmente entre 18-50 kg/ha/año para las poblaciones de lumbrícidos y entre 18 y 35 kg/ha/año para los no lumbrícidos (10).

N en mucoproteínas. Con base en el N perdido desde el cuerpo de las lombrices de tierra en vasijas con agua, se ha estimado que la cantidad de N perdido desde el cuerpo de la lombriz de tierra en forma de mucoproteínas segregadas por las glándulas epidérmicas es igual a las pérdidas en la orina (10). Sin embargo, este dato estaría subestimado; según un estudio de Lavelle (8) sobre la produc-

ción de mucus intestinal en una población de *Pontosclex corethrus*, que pesó 300 kg. de peso fresco/ha/año, en un pasto de Laguna Verde (Veracruz, Méjico), el autor estimó en 300 tn/ha el suelo que pasó anualmente por el tubo digestivo de estas lombrices de tierra y en 50 th/ha el mucus producido anualmente; como este mucus contiene 0,63 % de N, la cantidad total de N integrado anualmente en el suelo debería ser de 315 kg/ha.

Mineralización del N y humificación de la materia orgánica por las lombrices de tierra. Las lombrices de tierra contribuyen a la fertilidad del suelo, en parte debido al incremento de la cantidad de N mineralizado que ponen a disposición de las plantas. También son acelerados los procesos de humificación de la materia orgánica ya descompuesta, por el paso de la misma a través del tubo digestivo de las lombrices de tierra, que comen materia orgánica y suelo mineral (7).

Según Syers (17), la principal participación de las lombrices de tierra en el ciclo del N radica, directa o indirectamente, en su habilidad para incrementar la tasa de mineralización del N orgánico.

Las lombrices de tierra pueden incrementar los niveles de N-nitrato en el suelo, lo que se atribuye al papel activo de las mismas en los procesos de nitrificación (12 y 5).

ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO DEL PAPEL DE LAS LOMBRICES DE TIERRA EN EL CICLO DEL N

Los métodos para estudiar la actividad de la fauna del suelo en los ciclos de los elementos nutritivos suelen basarse en estudios de laboratorio sobre respiración, realizados para calcular las tasas metabólicas y extrapolar a poblaciones en su hábitat natural (6).

Bouché (1), duda de la validez de los modelos basados en datos puramente metabólicos, ya que utilizan datos paraecológicos y eliminan una propiedad esencial de los animales: el movimiento. El mismo autor opina, que el movimiento (trabajo mecánico) de la fauna puede aumentar de 5 a 100 veces la actividad metabólica y que fenómenos importantes como la excreción de N, el aporte de proteínas en el mucus, los cadáveres y el papel en la humificación, son conocidos incompletamente, subestimados e incluso desconocidos. Por todo ello afirma, que la contribución de la fauna del suelo a los ciclos biogeoquímicos no es todavía estimable.

Tras un período de descripciones cualitativas del impacto de la fauna a nivel del ecosistema, es necesario renovar los métodos hacia medidas ecológicas, que permitan elaborar un modelo que tome en cuenta todos los aspectos de la actividad de la fauna del suelo sobre los ciclos biogeoquímicos. Así, para medir el flujo de N a través de las lombrices de tierra, Bouché (2) utilizó un isótopo N^{15} y encontró que era de 2,2 mg. N/g peso fresco con tubo digestivo vacío/día, cantidad más elevada que las estimadas paraecológicamente. Estimó en 440 kg. de N/ha/año lo que una tonelada de lombrices recircularía por vía de su metabolismo, o sea, más de 4 veces la estimación de Satchell (15) ya mencionada. Esto muestra que las lombrices de tierra juegan un papel metabólico directo importante en el ciclo del N.

LOMRICES DE TIERRA EN SISTEMAS AGROFORESTALES DE COSTA RICA

Los estudios sobre la ecología de las lombrices de tierra en los trópicos americanos y en particular en Costa Rica, son casi inexistentes. Algunos trabajos realizados a principios de siglo por Cognetti (3) y Michaelsen (13) tienen un enfoque exclusivamente taxonómico. Posteriormente, López Pizarro (11) trató de relacionar algunos parámetros edáficos con las lombrices de tierra en Costa Rica.

En estudios hechos durante casi dos años en suelos costarricenses*, el autor de estas líneas ha comprobado que, en los suelos cultivados del Valle Central y Turrialba, la especie más abundante es el glososcolécido *Pontosclex corethrus*, la cual domina en café, cacao, caña y pastos de zona baja, pero no aparece en pastos de altura; en estos últimos lugares (a 1.700 y 2.000 m.s.n.m. en Cartago y Alajuela, respectivamente) las especies dominantes son, *Metaphire californica* y *Amyntas corticis*, dos megascolécidos que también están presentes en pequeños números en los lugares donde domina *P. corethrus*.

Datos preliminares de la biomasa promedio anual de las lombrices de tierra colectadas en este estudio, se muestran en el cuadro 1.

Con base en el estudio ya mencionado de Lavelle (8), donde una población de *P. corethrus*, con una biomasa de 300 kg. P. fresco/ha/año, integraría anualmente al suelo 315 kg. de N/ha y la información suministrada por Lee (10) sobre la cir-

* Investigación financiada por la UNA, proyecto N° 821029, y con la colaboración del proyecto "Arboles Fijadores de Nitrógeno", del CATIE.

CUADRO 1

BIOMASA PROMEDIO ANUAL, EN KG DE PESO FRESCO/HA, DE LAS LOMBRICES DE TIERRA RECOGIDAS EN SUELOS BAJO CULTIVOS PERENNES DE COSTA RICA, DURANTE 19 MESES, EN LOS AÑOS 1983-1985. LOS CUATRO PRIMEROS CULTIVOS SON DATOS DE 1986

CULTIVO	LUGAR	Kg. <i>P. fresco</i> /ha
-SISTEMAS AGROFORESTALES (= SAF) DE PASTOS SIN GANADO		
CATIE		
1. Pasto estrella (<i>Cynodon plectostachyus</i>)	(Turrialba)	459
2. Pasto estrella con laurel (<i>Cordia alliodora</i>)	(Turrialba)	595
3. Pasto estrella con poró (<i>Erythrina poeppigiana</i>)	(Turrialba)	732
4. Pasto guinea (<i>Panicum maximum</i>) en libre crecimiento	(Turrialba)	736
-SAF DE CAFF. (<i>Coffea arabica</i>)		
5. Café sin sombra	Heredia	218
6. Café sin sombra	CATIE	300
7. Café con laurel	CATIE	410
8. Café con poró	CATIE	360
-SAF DE CACAO (<i>Theobroma cacao</i>)		
9. Cacao con laurel	CATIE	300
10. Cacao con poró	CATIE	360
11. Cacao con guaba (<i>Inga spp</i>)	CATIE	400
-OTROS CULTIVOS		
12. Pasto estrella con ganado	CATIE	1.090
13. Pasto kikuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>)* -ganado	Cartago	986
14. Caña de azúcar (<i>Saccharum officinarum</i>)	Juan Vías	338

* Único lugar donde no era dominante *P. corethrurus*, lo era *M. californica*.

CUADRO 2

ESTIMACION DEL N RECIRCULADO POR LAS LOMBRICES DE TIERRA, EN LOS CULTIVOS PERENNES DE COSTA RICA DEL CUADRO 1. SE USA LA MISMA NUMERACION PARA CADA CULTIVO. REFERIDO A KG. N/HA/AÑO

CULTIVO	N en MUCOPROTEINA	N en TEJIDO MUERTO	N en ORINA	N TOTAL Kg/ha/año
1. Pasto	482	23-72	21	526- 575
2. Pasto-laurel	625	30-93	24	679- 742
3. Pasto-poró	769	37-114	27	833- 910
4. P. guinea	773	37-115	27	837- 915
5. Café	229	11-34	16	256- 279
6. Café	315	15-47	18	348- 380
7. Café-laurel	430	20-64	20	470- 514
8. Café-poró	378	18-56	19	415- 453
9. Cacao-laurel	315	15-47	18	348- 380
10. Cacao-poró	378	18-56	19	415- 453
11. Cacao-guaba	420	20-62	20	460- 502
12. Pasto-ganado	1.144	54-170	35	1.233-1.349
13. P. kikuyo-gan.	1.035	49-154	33	1.117-1.222
14. Caña	355	17-53	19	391- 427

culación de N en tejido muerto y en la orina, para poblaciones de no lumbrícidos, se puede estimar la contribución de las lombrices de tierra en los cultivos de Costa Rica referidos en el cuadro 2.

Según estas estimaciones, en los pastos con ganado, las lombrices de tierra recirculan más N, que podría sobrepasar los 1.000 kg/ha/año. En SAF de pastos con poró, sin ganado, donde el material que se corta se deja en la parcela y el poró se poda dos veces por año, las lombrices de tierra contribuirían con 833-910 kg de N y en pasto con laurel 679-742 kg. de N/ha/año; en las parcelas testigo de pasto solo 526-575 kg. de N/ha/año y en parcelas ocupadas por pasto guinea, dejadas durante 10 años en libre crecimiento y que alcanza 3 m. de altura, se obtienen 837-915 kg. N/ha/año, cifras semejantes a las parcelas de pasto estrella con poró.

En los SAF de café y cacao se alcanzan cifras parecidas, 348-380 kg. N/ha en cacao-laurel; en café-poró y cacao-poró 415-453 kg. N/ha/año; en cacao-guaba y en café-laurel 460-502 y 470-514 kg. N/ha/año, respectivamente, es el N recirculado por las lombrices de tierra. En comparación con las cifras anteriores, en café sin sombra las lombrices de tierra recircularían menos N, 256-279 y entre 348-380 kg. N/ha/año en un cafetal de Heredia y Turrialba, respectivamente.

En caña de azúcar se alcanzan cifras semejantes a las estimadas para café y cacao, entre 391-427 kg. N/ha/año.

Sin duda, la mayor biomasa alcanzada en los SAF debido al aporte del componente arbóreo y la modificación del microclima por los mismos, debe ser la responsable del aumento de las lombrices de tierra y de su mayor participación en la recirculación del N, comparada con los cultivos sin árboles.

Por otra parte, se confirma lo que ocurre en otras latitudes, que en los pastos productivos con ganado se encuentran las mayores poblaciones de lombrices de tierra y donde su actividad cobra una mayor importancia.

Hay que hacer notar, que los datos son en promedio anual, pero las lombrices de tierra no muestran la misma actividad durante el año; así, mientras que en los meses de mayor actividad se superan los 750 kg. de p. fresco, en todos los sistemas, en los meses secos muere gran parte de los individuos. De esta manera, el aumento de nitrato en

los suelos costarricenses al inicio de las lluvias, puede deberse en parte, al N aportado por las lombrices que murieron en la época seca.

CONCLUSIONES

Las lombrices de tierra contribuyen a la recirculación del N en los ecosistemas:

- Al fragmentar la materia orgánica que consumen, lo que acelera su invasión por los microorganismos del suelo.
- Por la acción enzimática directa sobre el N orgánico y suelo que pasa por sus tubos digestivos.
- Por la metabolización del N orgánico y liberación de mucoproteínas, de amoníaco y urea en la orina y de otros productos que llevan N.
- Por la descomposición del tejido de la lombriz, al morir, el cual es rico en proteínas.
- Por la mineralización del N y la humificación de la materia orgánica del suelo.

Sin embargo, para valorar el aporte de las lombrices de tierra en los ciclos de los elementos biogeoquímicos, son necesarios métodos ecológicos que tomen en cuenta los aspectos mecánicos, estructurales y bioquímicos de la actividad de estos animales.

En Costa Rica, la contribución de las lombrices de tierra en el ciclo del N debe ser considerable; se estima en más de una tn/ha el N recirculado en un año por las lombrices de tierra en pastos con ganado, entre 0,35 y media tn en SAF de café y cacao y entre 0,25 y 0,4 kg. N/ha/año en café sin sombra.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Nacional y al CATIE por la financiación y las facilidades otorgadas para este estudio. Asimismo, a los estudiantes de la UNA, Marcos Barquera, Roena Nedrick y Ruth Rodríguez, por su valiosa ayuda en el muestreo y preservación de los ejemplares colectados.

BIBLIOGRAFIA

1. BOUCHE, M.B. 1977. Ecologie et paraécologie: Peut-on apprécier le rôle de la faune dans les cycles biogéochimiques? In Lohm, U. y Persson, T. eds. Soil organisms as components of ecosystems. VI International Soil Zoology Colloquium of ISSS, Upsala, Sweden, 1976. Proceedings. Ecological Bulletins (Stockholm), 25: 157-163.
2. _____. 1984. Une méthode de mesure du débit d'éléments dans un sol non perturbé; azote et carbone des lombriciens. *Pedobiologia*, 27 (3): 197-206.
3. COGNETTI, L. 1904. Oligochetti di Costa Rica. *Bolletino dei Musei di Zoologia ed Anatomia Comparata della R. Università di Torino*, 19 (462): 79-87.
4. DASH, M.C. and PATRA, U.C. 1979. Wormcast production and nitrogen contribution to soil by a tropical earthworm population from a grassland site in Orissa, India. *Revue d'écologie et de Biologie du sol*, 16 (1): 79-83.
5. DEBRY, J.M. et al. 1982. Impact of introduced earthworms populations on pH and N; dynamics in soils treated with pig slurry. *Pedobiologia*, 23 (2): 157-171.
6. EDWARDS, C.A., REICHLER, D.E. and CROSLLEY, D.A. 1970. The role of soil invertebrates in turnover of organic matter and nutrient. In Reichler, D.E. ed. Analysis of temperate forest ecosystem. Berlin. Springer. pp. 147-172.
7. _____ and LOFTY, J.R. 1972. Biology of earthworms. London. Chapman. pp. 141-155.
8. LAVELLE, P. 1978. Les vers de terre de la Savane de Lamto (Côte d'Ivoire); peuplements, populations et fonctions dans l'écosystème. Paris. Publications du Laboratoire de Zoologie. (ENS) 12: 1-301.
9. _____, RANGEL, P. and KANYONYO, J. 1982. Intestinal mucus production by two species of tropical earthworms; *Millsonia lamtoniana* (Megascolecidae) and *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae). In Lebrun P. et al eds. New Trends in Soil Biology. VIII International Colloquium of Soil Zoology, Louvain, Belgique, 1982. Proceedings. Louvain. Université Catholique. pp. 405-410.
10. LEE, K.E. 1982. The influence of earthworms and termites on soil nitrogen cycling. In Lebrun P. et al eds. New trends in soil Biology. VIII International Colloquium of Soil Zoology, Louvain, Belgique, 1982. Proceedings. Louvain. Université Catholique. pp. 35-48.
11. LOPEZ Pizarro, E. 1976. Efecto de algunos parámetros edáficos sobre poblaciones de oligoquetos de Costa Rica. Tesis de Grado. San José, Costa Rica, Universidad, Escuela de Biología. 1976. 75 pp.
12. McCOLL, M.P., HART, P.B.S. and COOK, F.J. 1982. Influence of earthworm on some soil chemical and physical properties and the growth of ryegrass on a soil after topsoil stripping. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 25 (2): 239-243.
13. MICHAELSEN, W. 1912. Über einige zentralamerikanische Oligochäten. *Archiv für Naturgeschichte*. Berlin. 78 (9): 105-123.
14. NEEDHAM, A.E. 1957. Components of nitrogenous excreta in the earthworms *Lumbricus terrestris* and *Eisenia foetida*. *Journal of Experimental Biology*, 34 (4): 425-446.
15. SATCHELL, J.E. 1963. Nitrogen turnover by a woodland population of *Lumbricus terrestris*. In Doeksen, J. and Van der Drift, J. eds. Soil organisms. Colloquium on Soil Fauna, Oosterbeek, The Netherlands, 1962. Proceedings. Amsterdam, North-Holland. pp. 60-66.
16. _____. 1971. Lumbrícidos. In Burges, A. y Raw F. eds. Biología del suelo. Omega, Barcelona. pp. 307-378.
17. SYERS, J.K., SHARPLEY, A.N. and KEENEY, D.R. 1979. Cycling of nitrogen by surface-casting earthworms in a pasture ecosystem. *Soil Biology and Biochemistry*, 11 (2): 181-187.
18. _____ and SPRINGETT, J.A. 1983. Earthworm ecology in grassland soils. In Satchell J.E. ed. Earthworm ecology. London. Chapman. pp. 67-83.