

## CICLOS DE VIDA DE LAS LOMBRICES DE TIERRA APTAS PARA EL VERMICOMPOSTAJE

**Jorge DOMÍNGUEZ & María GÓMEZ-BRANDÓN**

Departamento de Ecología y Biología Animal. Universidad de Vigo. Vigo E-36310, España. E-mail:  
jdguez@uvigo.es, mariagomez@uvigo.es

**Domínguez, J. & M. Gómez-Brandón.** 2010. Ciclos de vida de las lombrices de tierra aptas para el vermicompostaje. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)*, Número Especial 2: 309-320.

**RESUMEN.** Después de casi tres décadas de investigación en el campo del vermicompostaje, su aplicación como alternativa metodológica para el tratamiento de residuos orgánicos ha incrementado de forma considerable. Los nuevos conocimientos de los ciclos de vida y de las condiciones óptimas de crecimiento de especies ya utilizadas, así como la inclusión de nuevas especies de categorías ecológicas diferentes a las habituales, capaces de procesar distintos tipos de residuos, han ampliado el marco de actuación del vermicompostaje en el tratamiento y gestión de estos residuos. La mayor parte de estas nuevas especies proceden de zonas tropicales donde el desarrollo del vermicompostaje es prometedor, considerando los problemas actuales del tratamiento y gestión de los residuos y la ausencia de financiación. Además, el uso de especies locales endémicas parece ser una buena alternativa, ya que están bien adaptadas a las condiciones locales. Esta revisión pretende recopilar y actualizar el conocimiento de los ciclos de vida y de las limitaciones ambientales de las lombrices de tierra aptas para el proceso de vermicompostaje.

**Palabras clave:** Vermicompostaje, ciclo de vida, lombrices epigeas, anécicas.

**Domínguez, J. & M. Gómez-Brandón.** 2010. Life cycles of vermicomposting earthworms. *Acta Zoológica Mexicana (n.s.)*, Número Especial 2: 309-320.

**ABSTRACT.** After three decades of investigation in the field of vermicomposting the scope of this biotreatment of organic residues has been greatly amplified. New findings into life cycles and optimal growth conditions of species already used, added to the introduction of new species from different ecological categories capable of processing different types of residues have made this possible. The majority of these new species come from tropical regions, where the development of vermicomposting is promising, given the current problems in the treatment and management of these residues, and limited funding. Moreover, the use of local endemic species appears to be a good alternative as they are well adapted to local environmental conditions. The aim of this review is to compile and update the knowledge related to life cycles and environmental limitations of the earthworm species suitable for the vermicomposting process.

**Key words:** Vermicomposting, life cycle, epigeic earthworms, anecics.

## INTRODUCCIÓN

El número de especies de lombrices de tierra descritas hasta el momento es muy elevado; según Reynolds & Wetzel (2010), hay aproximadamente 8302 especies, y cada año se describen una media de 68 especies nuevas. De la mayoría de estas especies sólo se conoce el género al que pertenecen y su descripción morfológica, y se desconocen por completo sus ciclos de vida y su ecología.

Las lombrices modifican las propiedades físicas del suelo tales como la agregación, la estabilidad y la porosidad al excavar galerías (Lavelle & Spain 2001), y las propiedades químicas y biológicas como la tasa de descomposición de la materia orgánica, la disponibilidad de nutrientes y la composición y actividad de los microorganismos y de otros invertebrados del suelo (Domínguez *et al.* 2004, Lores *et al.* 2006, Monroy *et al.* 2008). Desde un punto de vista ecológico las lombrices se clasifican en tres categorías (Bouché 1977), atendiendo básicamente a sus estrategias de alimentación y de formación de galerías: epigeas, endogeas y anécicas.

Las especies epigeas viven en el horizonte orgánico, en o cerca de la superficie del suelo, alimentándose principalmente de materia orgánica en descomposición (restos vegetales, heces de animales, etc.). Suelen ser especies de pequeño tamaño, uniformemente pigmentadas, y con altas tasas reproductivas y metabólicas que les permiten adaptarse a las condiciones ambientales tan variables de la superficie del suelo. Producen deyecciones holorgánicas y presentan una tasa alta de consumo, digestión y asimilación de la materia orgánica, por lo que juegan un papel clave como transformadoras del mantillo. En regiones tropicales, las lombrices de esta categoría se pueden encontrar en las axilas de las bromélias. Dentro de este grupo se incluyen especies como *Lumbricus rubellus*, *Eisenia fetida*, *Eisenia andrei*, *Eisenia eiseni*, *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus* y *Eiseniella tetraedra*.

Las especies endogeas viven a mayor profundidad en el perfil del suelo y se alimentan principalmente de suelo y de materia orgánica asociada. Tienen poca pigmentación y construyen sistemas de galerías horizontales muy ramificadas, que llenan con sus propias deyecciones mientras se mueven por el horizonte orgánico-mineral del suelo. A diferencia de las lombrices epigeas, las especies endogeas presentan tasas de reproducción más bajas y ciclos de vida más largos, y son más resistentes a períodos de ausencia de alimento (Lakhani & Satchell 1970). A este grupo pertenecen especies como *Aporrectodea caliginosa*, *Aporrectodea rosea*, *Octolasion cyaneum*, *Octolasion tyrtaeum*, *Polypheretima elongata* y *Pontoscolex corethrurus*.

Las especies anécicas viven de forma más o menos permanente en galerías verticales, que pueden extenderse varios metros hacia el interior del perfil del suelo. Por las noches emergen a la superficie para alimentarse de hojarasca, heces y materia orgánica en descomposición, que transportan al fondo de sus galerías. Sus excrementos los depositan en la superficie. Normalmente estas lombrices son de gran tamaño y de un color pardo oscuro en la edad adulta. Sus tasas reproductivas, medidas como

producción de capullos son relativamente bajas. Algunas de las especies incluidas en este grupo son *Lumbricus terrestris*, *Lumbricus friendii*, *Aporrectodea trapezoides*, *Aporrectodea longa* y *Octodrilus complanatus*.

Tradicionalmente las especies epigeas han sido las más utilizadas en vermicultura y vermicompostaje debido a: su capacidad de colonizar residuos orgánicos de forma natural; su tasa alta de consumo, digestión y asimilación de la materia orgánica; su capacidad para tolerar un rango amplio de condiciones ambientales; su alta tasa reproductiva. No obstante, algunos estudios recientes (Gajalakshmi *et al.* 2001, Tripathi *et al.* 2004) muestran la posibilidad de utilizar especies anécicas locales en el vermicompostaje, en lugar de especies exóticas.

Esta revisión pretende recopilar y actualizar los datos existentes sobre los ciclos de vida de las especies de lombrices de tierra utilizadas en vermicompostaje, así como su potencial en el tratamiento de diferentes tipos de residuos.

### ESPECIES DE ÁREAS TEMPLADAS

#### ***Eisenia fetida* (Savigny, 1826) y *Eisenia andrei* Bouché, 1972**

Estas dos especies estrechamente relacionadas han sido las más utilizadas en la biodegradación de residuos orgánicos. Se caracterizan por ser especies ubicuas capaces de colonizar residuos orgánicos de forma natural. Toleran un rango amplio de temperatura y humedad, lo que las hace muy resistentes y consecuentemente, se convierten en las especies dominantes en cultivos mixtos. Diversos autores han investigado la biología y la ecología de *E. andrei* y *E. fetida* en distintos residuos (Graff 1974, Watanabe & Tsukamoto 1976, Harstein *et al.* 1979, Kaplan *et al.* 1980, Edwards 1988, Reinecke & Viljoen 1990, Domínguez & Edwards 1997, Domínguez 2004). Según estos estudios la temperatura óptima para su crecimiento es de 25 °C. Una temperatura de 32 °C desde el nacimiento inhibe el crecimiento de ambas especies, pero si esta temperatura fue precedida de un período de crecimiento normal a 25-28 °C durante un mes o más el desarrollo puede continuar a 32 °C. La temperatura crítica a la cual se produce su muerte es de 33,3 °C, si bien individuos que han sido aclimatados gradualmente pueden estar activos después de 11 días a 35 °C. La puesta se detiene a 10,3 °C, sin que se produzca regresión de los órganos sexuales, de forma que se puede reanudar una vez suba la temperatura. Se han encontrado algunos especímenes que han sobrevivido alrededor de 12 h a temperaturas de entre -2 y -5 °C. A modo de ejemplo, Kobayashi (1938) encontró, a una temperatura de -12,3 °C, 63 especímenes a 110 cm de profundidad en el suelo.

El contenido de humedad óptimo de estas especies es del 80-85% aunque pueden tolerar un rango amplio de humedad; algunos individuos han sobrevivido a períodos de inmersión total por encima de 6 meses. En respuesta a las condiciones de humedad y temperatura, estas lombrices pueden presentar distintas estrategias biológicas como períodos de inactividad (diapausa) o incluso regresiones en su ciclo de vida aunque

esto está todavía poco estudiado. En diapausa, el cuerpo de la lombriz se encuentra fuertemente enroscado e inmóvil, y se mantiene en este estado hasta que las condiciones ambientales vuelven a ser favorables.

En condiciones óptimas sus ciclos de vida (desde que es depositado el capullo hasta la puesta de capullos de la siguiente generación) abarcan de 45 a 51 días. Los juveniles alcanzan la madurez en 21-30 días. Las cópulas ocurren cerca de la superficie y la puesta comienza en torno a las 48 h después de la cópula. La tasa de producción es de 0,35-0,5 capullos por día. La viabilidad de eclosión es del 72-82%, y el tiempo de incubación oscila entre 18 y 26 días. El número de descendientes por capullo varía entre 2,5-3,8 dependiendo de la temperatura. La máxima esperanza de vida se sitúa en 4,5-5 años (Herlant-Meewis 1967) aunque la vida media fue de 594 días a 28 °C, y de 589 días a 18 °C (Michon 1957). Las principales características de los ciclos de vida de *E. andrei* y *E. fetida* se muestran en el Cuadro I.

### ***Dendrodrilus rubidus* (Savigny, 1826)**

*Dendrodrilus rubidus* es una especie con clara preferencia por suelos altamente orgánicos; también se ha encontrado en sustratos orgánicos como hojarasca de pino, compost, turba, lodos de depuradora y estiércol. Aunque ya se han investigado algunos aspectos de su biología (Gates 1972, Sims & Gerard 1985, Bengtsson *et al.* 1986), esta lombriz no se ha utilizado frecuentemente en sistemas de vermicompostaje; sin embargo, su rápida maduración y su elevada tasa reproductiva podrían convertirla en una especie apta para el tratamiento de residuos (Cuadro I). Su tiempo medio de maduración es de 54 días y la producción media de capullos es de 0,2 capullos lombriz<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> (Elvira *et al.* 1996). El éxito de eclosión es alto (85%), y una media de 1,67 descendientes emerge de cada capullo (Elvira *et al.* 1996). *Dendrodrilus rubidus* puede completar su ciclo de vida aproximadamente en 75 días. Su actividad es anual siempre que las condiciones ambientales sean favorables. La temperatura óptima de crecimiento es de 18 °C y la mortalidad es alta a 25 °C; las temperaturas subóptimas son menos perjudiciales para esta especie que las supraóptimas (se han encontrado algunos especímenes que han sobrevivido en el hielo). Se cree que su esperanza de vida es menor de un año aunque se ha observado que puede vivir hasta 547 días a 18 °C (Michon 1957).

### ***Dendrobaena veneta* (Rosa, 1886)**

*Dendrobaena veneta* es una especie con potencial para la vermicultura por su capacidad para tolerar mayores rangos de humedad que muchas otras especies empleadas en vermicompostaje (Cuadro I). Su temperatura óptima de crecimiento se sitúa entre 15-25 °C y puede completar su ciclo de vida en 100-150 días, alcanzando la madurez sexual a los 65 días. La producción media de capullos es de 0,28 lombriz<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. La

Cuadro I. Características de las principales especies de lombrices de tierra empleadas en el vermicompostaje.

Parámetros	<i>Eisenia fetida</i>	<i>Eisenia andrei</i>	<i>Dendrodrilus rubidus</i>	<i>Dendrobaena veneta</i>	<i>Lumbricus rubellus</i>	<i>Drawida nepalensis</i>	<i>Eudrilus eugeniae</i>	<i>Perionyx excavatus</i>	<i>Lampito mauritii</i>
Categoría ecológica	Epigea	Epigea	Epigea	Epigea	Epigea	Epigea	Epigea	Epigea	Anécica
Color	Marrón con bandas amarillas	Roja	Púrpura rojizo	Púrpura rojizo con bandas	Marrón rojizo	Roja	Marrón rojizo	Marrón rojizo	Ligeramente pigmentada
Tamaño adultos (mm)	4-8 × 50-100	4-8 × 50-100	3-4 × 35-60	5-7 × 50-80	4 × 70-150	?	5-7 × 80-190	4-5 × 45-70	5-6 × 140-160
Peso medio adultos (g)	0,55	0,55	0,25	0,92	0,8	0,82	2,7-3,5	0,5-0,6	?
Tiempo maduración (días)	28-30	21-28	54	65	74-91	34-42	40-49	28-42	51-76
No. capullos por día	0,35-0,5	0,35-0,5	0,2	0,28	0,07-0,25	0,15	0,42-0,51	1,1-1,4	0,056
Talla media capullos (mm)	4,85 × 2,82	4,86 × 2,64	3,19 × 1,97	3,14 × 1,93	3,5 × 2,46	?	?	?	?
Viabilidad eclosión (%)	73-80	72	85	20	60-70	75-88	75-84	90	80
No. descendientes por capullo	2,5-3,8	2,5-3,8	1,67	1,1	1	1,93	2-2,7	1-1,1	1,3
Reproducción monoparental	+	+	+	?	-	+	-	?	?
Ciclo de vida (días)	45-51	45-51	75	100-150	120-170	100-120	50-70	40-50	89
Temperatura óptima y límites (°C)	25 (0-35)	25 (0-35)	?	25 (15-25)	?	?	25 (16-30)	25-37	30
Humedad óptima y límites (%)	80-85 (70-90)	80-85 (70-90)	?	75 (65-85)	?	?	80 (70-85)	?	60

viabilidad de eclosión es muy baja (20%) y el tiempo medio de incubación es de 42 días. El número medio de descendientes por capullo es 1.10 (Lofs-Holmin 1986, Viljoen *et al.* 1992, Muyima *et al.* 1994).

### ***Lumbricus rubellus* Hoffmeister, 1843**

*Lumbricus rubellus* se encuentra normalmente en suelos húmedos, particularmente en aquellos donde se ha aplicado estiércol o fangos de aguas residuales (Cotton & Curry 1980). Hay pocos datos acerca de sus requerimientos y preferencias de humedad y temperatura, aunque se sabe que prefiere condiciones húmedas y que puede sobrevivir a bajas temperaturas. Su temperatura óptima de crecimiento es de 18 °C y tolera mejor las temperaturas subóptimas que las supraóptimas (Michon 1957). Se han encontrado algunos especímenes que han sobrevivido alrededor de 12 h a temperaturas de entre -2 y -5 °C, aparentemente sin aclimatación previa (Korschelt 1914). Presenta un ciclo de vida largo (120-170 días) con una tasa de crecimiento lenta y un tiempo de maduración de 74-91 días. La producción media de capullos oscila entre 0,07-0,25 capullos lombriz<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, y la viabilidad de eclosión es del 60-70%. Después de un período de 35-40 días, sólo una lombriz emerge de cada capullo (Evans & Guild 1948, Cluzeau & Fayolle 1989, Elvira *et al.* 1996). Sus bajas tasas de maduración y reproducción indican que no es una especie ideal para su uso en vermicompostaje, aunque por su tamaño y vigor podría ser útil como cebo, o para incrementar la fertilidad de los suelos (Cuadro I).

### ***Drawida nepalensis* Michaelsen, 1907**

*Drawida nepalensis* no se ha utilizado comúnmente en vermicompostaje aunque muestra algunas características adecuadas para la vermicultura. Presenta un ciclo de vida relativamente corto (100-120 días) y se puede reproducir, al igual que *E. fetida*, sin necesidad de cópula; sin embargo, su tasa de crecimiento es menor, y la tasa de producción de capullos es más baja que en la mayoría de las otras especies empleadas en vermicompostaje (Kaushal & Bisht 1992, 1995) (Cuadro I). Sus condiciones óptimas de humedad y temperatura no han sido todavía estudiadas. El tiempo medio para alcanzar la madurez sexual varía entre 34-42 días y la tasa de producción de capullos es 0,15 capullos lombriz<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Su viabilidad de eclosión es del 75-88% y el tiempo medio de incubación de 23,6 días. El número medio de descendientes por capullo es 1,93 (Kaushal & Bisht 1992, 1995).

## **ESPECIES TROPICALES**

### ***Eudrilus eugeniae* (Kinberg, 1867)**

*Eudrilus eugeniae* es una especie nativa de África y su cultivo está bastante generalizado debido a su importancia como cebo para la pesca. Posee un gran tamaño, una

alta tasa de crecimiento y es bastante prolífica (Viljoen & Reinecke 1989), por lo que se considera una especie ideal para producir proteínas para el consumo animal bajo condiciones óptimas (Edwards 1988). Sus principales desventajas son su fragilidad y su estrecho margen de temperatura lo que hace difícil su manejo. Sin embargo, *E. eugeniae* tiene elevadas tasas de reproducción (Bano & Kale 1988, Edwards 1988) y es capaz de descomponer rápidamente grandes cantidades de residuos orgánicos incorporándolos al suelo (Neuhauser *et al.* 1979, 1988, Edwards 1988, Bano & Kale 1988). Esta especie muestra preferencia por temperaturas altas, con una producción máxima de biomasa a 25-30 °C y con una tasa de crecimiento muy baja a 15°C (Loehr *et al.* 1985, Viljoen & Reinecke 1992, Domínguez *et al.* 2001). Puede tolerar contenidos de humedad entre el 70-85% situándose el óptimo en un 80-82%.

Domínguez *et al.* (2001) observaron un incremento continuo del peso de individuos de *E. eugeniae* durante 22 semanas; sin embargo, Neuhauser *et al.* (1979) encontraron que esta especie, tras alcanzar su peso máximo a las 8 semanas, sufrió una pérdida de peso y una mortalidad considerable (después de 16 semanas sólo sobrevivió un 40% de la población), mientras que Reinecke *et al.* (1992) observaron que especímenes de *E. eugeniae* alcanzaron su peso máximo tras un período de incubación de más de 21 semanas a 25 °C.

El ciclo de vida de *E. eugeniae* puede durar entre 50 y 70 días, y su esperanza de vida oscila entre 1 y 3 años. Esta especie alcanza su madurez sexual a los 40-49 días y su tasa de producción varía entre 0,42 y 0,51 capullos lombriz<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> (Viljoen & Reinecke 1989, Reinecke *et al.* 1992, Reinecke & Viljoen 1993). El período de incubación de los capullos oscila entre 12-16 días y el número de descendientes por capullo varía de 2 a 2,7, con un éxito de eclosión del 75-84%. (Viljoen & Reinecke 1989, Reinecke *et al.* 1992, Reinecke & Viljoen 1993). Las principales características del ciclo de vida de *E. eugeniae* se muestran en el Cuadro I.

### ***Perionyx excavatus* Perrier, 1872**

*Perionyx excavatus* se distribuye ampliamente en Asia tropical (Stephenson 1930, Gates 1972) aunque también ha sido introducida en Europa y las Américas. Se trata de una especie prolífica y fácil de manejar, y que requiere un alto contenido de humedad. El principal inconveniente para su cultivo es su incapacidad de resistir las bajas temperaturas, pero es una especie ideal bajo condiciones tropicales. El ciclo de vida y el potencial de esta especie para el vermicompostaje de residuos orgánicos han sido estudiados en condiciones controladas por diversos autores (Kale *et al.* 1982, Reinecke & Hallatt 1989, Hallatt *et al.* 1990, Reinecke *et al.* 1992, Hallatt *et al.* 1992, Edwards *et al.* 1998). *Perionyx excavatus* puede sobrevivir (aunque no crecer) a bajas temperaturas (4 °C) y es menos susceptible que *E. eugeniae* a las temperaturas elevadas (alrededor de 30 °C). Se sabe que en áreas tropicales, *P. excavatus* no puede

crecer durante las bajas temperaturas del invierno pero sí puede sobrevivir a las altas temperaturas del verano a diferencia de *E. eugeniae*. En condiciones óptimas su ciclo de vida dura entre 40-50 días y los juveniles alcanzan la madurez sexual en 20-28 días (Cuadro I). La tasa media de producción es 1,1 capullos lombriz<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>, y el tiempo medio de incubación son 18 días a 25 °C, con un éxito de eclosión elevado (85-90%) (Kale *et al.* 1982, Reinecke & Hallatt 1989, Hallatt *et al.* 1990, Reinecke *et al.* 1992, Hallat *et al.* 1992, Edwards *et al.* 1998).

### ***Perionyx sansibaricus* Michaelsen, 1891**

*Perionyx sansibaricus* es una especie epigea que se encuentra principalmente en aguas residuales, estiércol, pilas de compostaje y hojas en descomposición. No existe demasiada información acerca de su ciclo de vida y sus condiciones de crecimiento. Singh (1997) estudió su capacidad para procesar distintos residuos orgánicos en la India, y recientes estudios muestran la eficiencia de *P. sansibaricus* en la descomposición de diferentes tipos de residuos tales como residuos agrícolas, estiércol de vaca y residuos orgánicos sólidos (Suthar 2006), aunque serán necesarios más estudios para recomendar el uso de esta especie a escala industrial. Suthar & Singh (2008) encontraron que *P. excavatus* fue más eficiente que *P. sansibaricus* en el tratamiento de diferentes residuos orgánicos y con respecto al crecimiento y a la reproducción. Estas diferencias podrían deberse a los distintos hábitos de alimentación y/o a la calidad del sustrato usado para su cultivo. Son necesarios más detalles acerca de su ciclo de vida para futuros usos en vermicompostaje.

### ***Drawida willsi* Michaelsen, 1907**

*Drawida willsi* es una especie tropical anécica, y se ha estudiado su eficacia para el vermicompostaje del jacinto de agua (*Eichhornia crassipes* Mart. Solm.) (Gajalakshmi *et al.* 2001) y de residuos de la industria papelera (Gajalakshmi *et al.* 2000). Estos autores observaron que *D. willsi* fue la especie menos eficaz en el tratamiento de ambos residuos en comparación con *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus* y *Lampito mauritii*.

### ***Polypheretima elongata* (Perrier, 1872)**

*Polypheretima elongata* parece estar restringida a regiones tropicales y se sabe muy poco de su ciclo de vida. Se ha utilizado para el tratamiento de residuos orgánicos sólidos, tales como residuos municipales y estiércoles. Según un proyecto realizado en la India, esta especie es apta para el tratamiento de 8 toneladas de residuos sólidos al día. Además, diseñaron un “vermifilter” con capacidad para reutilizar el agua procedente de fangos residuales y del procesado de comida (Edwards & Bohlen 1996).

### ***Lampito mauritii* (Kinberg, 1867)**

*Lampito mauritii* es una especie anécica, endémica de la región semiárida de Jodhpur, situada en el distrito de Rhajasthan en la India. Esta especie ha sido encontrada en pilas de estiércol y se ha utilizado en el vermicompostaje del jacinto de agua, y en la descomposición de restos de comida y de residuos procedentes de la industria papelera. Tripathi *et al.* (2004) compararon la eficacia de una especie epigea no nativa (*Eisenia fetida*) y *Lampito mauritii* (nativa de la región) para el tratamiento de residuos en condiciones tropicales, y observaron una mayor mineralización en presencia de *L. mauritii*, por lo que recomendaron esta especie para el vermicompostaje de la región del Rhajasthan. Gajalakshmi *et al.* (2000) encontraron que esta especie, junto con *E. eugeniae* fueron las más eficientes en el tratamiento de residuos de la industria papelera.

Se han citado en la literatura otras especies que podrían ser válidas para el vermicompostaje como *Metaphire houletti*, *Dichogaster annae*, *Pontoscolex corethrurus* y *Amyntas asiaticus* (syn. *Pheretima asiatica*). Sin embargo, se sabe poco de la biología y ecología de estas especies, siendo necesaria más investigación para validar su real potencial para el vermicompostaje.

## **AGRADECIMIENTOS**

Estos trabajos han sido financiados con fondos FEDER y los proyectos CGL2006-11928/BOS del Ministerio de Ciencia e Innovación y 07MRU023383PR de la Xunta de Galicia.

## **LITERATURA CITADA**

- Bano, K. & R. D. Kale.** 1988. Reproductive potencial and existence of endogenous rhythm in the reproduction of the earthworm *Eudrilus eugeniae*. *Proceedings of the Zoological Society* (Calcutta). 38: 9-14.
- Bengston, G., T. Gunnarsson & S. Rundgren.** 1986. Effects of metal pollution on the earthworm *Dendrobaena rubida* (Sav.) in acidified soils. *Water, Air and Soil Pollution*. 28: 61-383.
- Bouché, M. B.** 1977. Strategies lombriciennes. Pp. 122-132. In: U. Lohm and T. Persson (Eds.). *Soil organisms as components of ecosystems*. Ecological Bulletins, vol. 25, Stockholm.
- Cluzeau, D. & L. Fayolle.** 1989. Croissance et fécondité comparées de *Dendrobaena rubida tenuis* (Eisen, 1874), *Eisenia andrei* (Bouché, 1972) et *Lumbricus rubellus rubellus* (Hoffmeister, 1843) (Oligochaeta, Lumbricidae) en élevage contrôlé. *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol*. 26: 111-121.
- Cotton, D. C. F. & J. P. Curry.** 1980. Effects of cattle and pig slurry fertilizers on earthworms (Oligochaeta, Lumbricidae) in grassland managed for sludge production. *Pedobiologia*. 20: 181-188.
- Domínguez, J. & C. A. Edwards.** 1997. Effects of stocking rate and moisture content on the growth and maturation of *Eisenia andrei* (Oligochaeta) in pig manure. *Soil Biology & Biochemistry*. 29: 743-746.
- Domínguez, J., C. A. Edwards & J. Ashby.** 2001. The biology and ecology of *Eudrilus eugeniae* (Kinberg) (Oligochaeta) bred in cattle waste. *Pedobiologia*. 45: 341-353.

- Domínguez, J.** 2004. State of the art and new perspectives on vermicomposting research. Pp. 401-424. In: C. A. Edwards (Ed.). *Earthworm ecology*, 2<sup>nd</sup> Ed. CRC Press, Boca Raton.
- Edwards, C. A.** 1988. Breakdown of animal, vegetable and industrial organic wastes by earthworms. Pp. 21-31. In: C. A. Edwards and E. F. Neuhauser (Eds.). *Earthworms in waste and environmental management*. SPB, The Hague.
- Edwards, C. A. & P. J. Bohlen.** 1996. *Biology and ecology of earthworms*. Chapman and Hall, London.
- Edwards, C. A., J. Domínguez & E. F. Neuhauser.** 1998. Growth and reproduction of *Perionyx excavatus* (Perr.) (Megascolecidae) as factors in organic waste management. *Biology & Fertility of Soils*. 27: 155-161.
- Elvira, C., J. Domínguez & S. Mato.** 1996. The growth and reproduction of *Lumbricus rubellus* and *Dendrobaena rubida* in cow manure. Mixed cultures with *Eisenia andrei*. *Applied Soil Ecology*. 5: 97-103.
- Evans, A. C. & D. W. McL. Guild.** 1948. Studies on the relationships between earthworms and soil fertility. V. On the life cycles of some British Lumbricidae. *Annals of Applied Biology*. 35: 471-484.
- Gajalakshmi, S., E. V. Ramasamy & S. A. Abbasi.** 2000. Screening of four species of detritivorous (humus-former) earthworms for sustainable vermicomposting of paper waste. *Environmental Technology*. 22: 679-685.
- Gajalakshmi, S., E. V. Ramasamy & S. A. Abbasi.** 2001. Potential of two epigeic and two anecic earthworm species in vermicomposting of water hyacinth. *Bioresource Technology*. 76: 177-181.
- Gates, G. E.** 1972. Burmese earthworms. An introduction to the systematics and biology of megadrile oligochaetes with special reference to Southeast Asia. *Transactions of the American Philosophical Society*. 62: 1-326.
- Graff, O.** 1974. Gewinnung von biomasse aus abfallstoffen durch kultur des kompostregenworms *Eisenia foetida* (Savigny 1826). *Landbauforsh Volkenrode*. 2: 137-142
- Hallat, L., A. J. Reinecke & S. A. Viljoen.** 1990. The life cycle of the oriental compost worm *Perionyx excavatus* (Oligochaeta). *South African Journal of Zoology*. 25: 41-45.
- Hallatt, L., S. A. Viljoen & A. J. Reinecke.** 1992. Moisture requirements in the life cycle of *Perionyx excavatus* (Oligochaeta). *Soil Biology & Biochemistry*. 24: 1333-1340.
- Harstein, R., E. F. Neuhauser & D. L. Kaplan.** 1979. Reproductive potential of the earthworm *Eisenia foetida*. *Oecologia*. 43: 329-340.
- Herlant-Mewis, H.** 1967. Evolution de l'appareil génital d'*Eisenia foetida* au cours du jeûne, de la régénération postérieure et a la suite de l'ablation de ganglions nerveux. *Annales de la Société Royale Zoologique de Belgique*. 96: 189-240.
- Kale, R. D., K. Bano & R. W. Krishnamoorthy.** 1982. Potential of *Perionyx excavatus* for utilizing organic wastes. *Pedobiologia*. 23: 419-426.
- Kaplan, D. L., R. Hartensein, E. F. Neuhauser, & M. R. Malecki.** 1980. Physicochemical requirements in the environment of the earthworm *Eisenia foetida*. *Soil Biology & Biochemistry*. 12: 347-352.
- Kaushal, B. R. & S. P. S. Bisht.** 1992. Growth and cocoon production of *Drawidia nepalensis* (Oligochaeta). *Biology & Fertility of Soils*. 14(3): 205-212.
- Kaushal, B. R., S. Kalia & S. P. S. Bisht.** 1995. Growth and cocoon production by the earthworm *Drawida nepalensis* (Oligochaeta: Moniligastridae) in oak and pine litter. *Pedobiologia*. 39: 417-422
- Kobayashi, S.** 1938. Earthworms from Hakodate, Hokkaido. *Annotation of Zoology of Japan*. 17(3&4): 405-417.
- Korschelt, E.** 1914. Über transplantationsversuche, Ruhezustände und Lebensdauer der Lumbriciden, *Zoologischer Anzeiger*. 43: 537-555.

- Lakhani, K. H. & J. E. Satchell.** 1970. Production by *Lumbricus terrestris* L. *Journal of Animal Ecology*. 39: 473-492.
- Lavelle, P. & A. V. Spain.** 2001. *Soil Ecology*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, Boston.
- Loehr, R. C., E. F. Neuhauser & M. R. Malecki.** 1985. Factors affecting the vermistabilization process: Temperature, moisture content and polyculture. *Water Research*. 19: 1311-1317.
- Lofs-Holmin, A.** 1986. Processing of municipal sludges through earthworms (*Dendrobaena veneta*). *Swedish Journal of Agricultural Research*. 16: 67-71.
- Lores, M., M. Gómez-Brandón, D. Pérez-Díaz & J. Domínguez.** 2006. Using FAME profiles for the characterization of animal wastes and vermicomposts. *Soil Biology and Biochemistry*. 38: 2993-2996.
- Michon, J.** 1957. Contribution expérimentale à l'étude de la biologie des Lumbricidae. Les variations pondérales au tours des différentes modalités du développement post embryonnaire. *Annales de Biologie*. 33: 367-376.
- Monroy, F., M. Aira & J. Domínguez.** 2008. Changes in density of nematodes, protozoa and total coliforms after transit through the gut of four epigeic earthworms (Oligochaeta). *Applied Soil Ecology*. 39: 127-132.
- Muyima, N. Y. O., A. J. Reinecke & S. A. Viljoen-Reinecke.** 1994. Moisture requirements of *Dendrobaena veneta* (Oligochaeta), a candidate for vermicomposting. *Soil Biology & Biochemistry*. 26: 973-976.
- Neuhauser, E. F., D. L. Kaplan & R. Hartenstein.** 1979. Life story of the earthworm *Eudrilus eugeniae*. *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol*. 16: 525-534.
- Neuhauser, E. F., R. C. Loehr & M. R. Malecki.** 1988. The potential of earthworms for managing sewage sludge. Pp. 9-20. In: C. A. Edwards and E. F. Neuhauser (Eds.). *Earthworms in waste and environmental management*. SPB, The Hague.
- Reinecke, A. J. & L. Hallatt.** 1989. Growth and cocoon production of *Perionyx excavatus* (Oligochaeta). *Biology & Fertility of Soils*. 8: 303-306.
- Reinecke, A. J. & S. A. Viljoen.** 1990. The influence of worm density on growth and cocoon production of the compost worm *Eisenia fetida* (Oligochaeta). *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol*. 27(2): 221-230.
- Reinecke, A. J., S. A. Viljoen & R. J. Saayman.** 1992. The suitability of *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus* and *Eisenia fetida* (Oligochaeta) for vermicomposting in Southern Africa in terms of their temperature requirements. *Soil Biology & Biochemistry*. 24: 1295-1307.
- Reinecke, A. J. & S. A. Viljoen.** 1993. Effects of worm density on growth and cocoon production of the African Nightcrawler *Eudrilus eugeniae* (Oligochaeta). *European Journal of Soil Biology*. 29: 29-34.
- Reynolds, J. W. & M. J. Wetzel.** 2010. *Nomenclatura Oligochaetologica. Supplementum Quartum. A catalogue of names, descriptions and type specimens of the Oligochaeta*. Illinois Natural History Survey Special Publication, Chicago.
- Sims, R. W. & B. M. Gerard.** 1985. Earthworms. In: D. M. Kermack and R. S. K. Barnes (Eds.). *Synopses of the British Fauna (New Series)*, n° 31. Linnean Society, London.
- Singh, J.** 1997. Habitat preference of selected Indian earthworm species and their efficiency in reduction of organic materials. *Soil Biology & Biochemistry*. 29: 585-588.
- Stephenson, J.** 1930. *The Oligochaeta*. Oxford University Press, New York.
- Suthar, S.** 2006. Potential utilization of guar gum industrial waste in vermicompost production. *Biore-source Technology*. 97(18): 2474-2477.
- Suthar, S. & S. Singh.** 2008. Vermicomposting of domestic waste by using two epigeic earthworms (*Perionyx excavatus* and *Perionyx sansibaricus*) *International Journal of Environmental Science and Technology*. 5 (1): 99-106.

- Tripathi, G. & P. Bhardwaj.** 2004. Comparative studies on biomass production, life cycles and composting efficiency of *Eisenia fetida* (Savigny) and *Lampito mauritii* (Kinberg). *Bioresource Technology*. 92: 275-283.
- Viljoen, S. A. & A. J. Reinecke.** 1989. The life-cycle of the African Nightcrawler *Eudrilus eugeniae* (Oligochaeta). *South African Journal of Zoology*. 24: 27-32
- Viljoen, S. A., A. J. Reinecke & L. Hartman.** 1992. The temperature requirements of the epigeic earthworm species *Dendrobaena veneta* (Oligochaeta) - a laboratory study. *Soil Biology & Biochemistry*. 24: 1341-1344.
- Watanabe, H. & J. Tsukamoto.** 1976. Seasonal change in size, class, and stage structure of lumbricid *Eisenia foetida* population in a field compost, and its practical application as the decomposer of organic waste matter. *Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol*. 13: 141-146.