

ABORDAGENS TEÓRICAS E PRÁTICAS EM PESQUISA

ORGANIZADORA

Jéssica Fernanda Corrêa Cordeiro

ISBN 978-85-7221-556-5

2026

Rafael Manuel de Jesús Mex Álvarez

Maria Magali Guillen Morales

Luis Ariel Manzanero Acevedo

David Yanez Nava

Daniel Eduardo Euan Garcia

Roger Enrique Chan Martínez

ENSAYO PARA ECOFARMACOVIGILANCIA CON EISENIA FOETIDA

RESUMO:

Los residuos de fármacos representan un problema ambiental debido a su persistencia y a la facilidad con la que se distribuyen a través del agua, suelo, aire e incluso en los alimentos, la ecofarmacovigilancia nace como la ciencia encargada de detectar, evaluar y disminuir los efectos adversos causados por la presencia de fármacos que son desechados en el medio ambiente. El uso de *Eisenia foetida* como bioindicador de contaminación en ecofarmacovigilancia representa una herramienta prometedora para la evaluación ambiental de residuos de medicamentos ya que este organismo se han usado con frecuencia para poder evaluar la contaminación de los suelos, siendo los ensayos más utilizados la prueba por contacto con papel filtro y la prueba con suelo artificial y muestras de suelo contaminado.

Palavras-chave: Contaminantes emergentes; Toxicología; Biondicadores.

INTRODUÇÃO

Atualmente, os resíduos de fármacos representam um problema ambiental devido à sua persistência e à facilidade com que se disseminam pela água, pelo solo, pelo ar e até mesmo pelos alimentos. Alguns dos casos documentados sobre os problemas decorrentes dos resíduos de fármacos no meio ambiente envolvem a diminuição da população de certos animais, o atraso no desenvolvimento embrionário de algumas espécies de peixes e até mesmo fitotoxicidade; e, no caso dos antibióticos, a geração de resistência bacteriana adquirida pela exposição de determinadas bactérias a essas substâncias.

Seu amplo uso veterinário, doméstico e hospitalar aumenta sua dispersão e a de seus produtos no ambiente, e sua toxicidade manifesta-se nos componentes vivos dos ecossistemas. Os resíduos farmacêuticos podem ingressar no ambiente do solo quando esterco líquido e lodos de depuração são aplicados como fertilizante ou quando a irrigação é realizada com água contaminada. Esses resíduos podem ser absorvidos pelos organismos do solo, o que pode provocar efeitos tóxicos; por isso, implementar metodologias que auxiliem na determinação da contaminação dos solos por resíduos de fármacos tornou-se de suma importância.

A presença de medicamentos como contaminantes ambientais transformou-se em tema de investigação nos últimos anos, exigindo uma ampliação do papel tradicional da farmacovigilância. A ecofarmacovigilância surge como a ciência responsável por detectar, avaliar e mitigar os efeitos adversos causados pela presença de fármacos descartados no meio ambiente.

Eisenia foetida é uma espécie de minhoca amplamente utilizada para a reciclagem de resíduos orgânicos por meio da vermicompostagem, bem como em estudos de ecotoxicologia, fisiologia e genética. Esse uso tão difundido deve-se ao fato de serem

organismos ubíquos, com distribuição cosmopolita, ciclos de vida curtos, ampla tolerância à temperatura e à umidade e manejo relativamente simples. Por isso, seu uso como bioindicador de contaminação tem adquirido grande relevância nos últimos anos e estendeu-se também à ecofarmacovigilância.

CARACTERÍSTICAS BIOLÓGICAS E ECOLÓGICAS DE *EISENIA FOETIDA*

As minhocas representam a maior biomassa animal na maioria dos ecossistemas terrestres temperados e, quando são abundantes, podem processar em seus corpos até 250 toneladas de solo por hectare ao ano. Esse trabalho imenso influencia de maneira muito significativa as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, conferindo a esses organismos um papel crucial na modificação da estrutura edáfica, na aceleração da decomposição da matéria orgânica e na reciclagem de nutrientes, o que, por sua vez, produz efeitos muito importantes sobre as comunidades vegetais que vivem acima da superfície do solo.

Tabela 1 – Identificação taxonômica da minhoca *Eisenia foetida*

Classificação	
Reino	Animal
Filo	Annelida
Classe	Oligoqueta
Ordem	Haplotaxida
Família	Lombricidae
Gênero	Eisenia
Espécie	<i>Eisenia foetida</i>

Fonte: elaboração própria

MORFOLOGIA

A minhoca apresenta um corpo cilíndrico, alongado e segmentado em forma de anéis, cada um desempenhando funções especializadas e separado por uma espécie de septo. No corpo distinguem-se: o prostômio, um lóbulo localizado na extremidade anterior onde se encontra a boca; o clitelo, um espessamento situado na região central, na parte inferior do corpo, composto por aproximadamente 5 a 6 anéis; e, na extremidade posterior, o pigídio, segmentado, no qual está localizado o ânus.

Tabela 2 – Características morfológicas observadas em *Eisenia foetida*

Características morfológicas

A minhoca possui boca, porém não apresenta dentes; ela suga o alimento para realizar sua nutrição.

Seu corpo é cilíndrico, segmentado em anéis e apresenta entre 120 e 175 segmentos, sendo recoberto por uma fina cutícula. No estado adulto, possui entre 6 e 8 cm de comprimento e de 3 a 5 mm de diâmetro. Sua coloração varia do branco ao rosado e, quando adulta, adquire um tom vermelho-escurinho.

A respiração ocorre através da epiderme. Seu aparelho circulatório é composto por cinco pares de vasos musculares (corações) e três pares de nefridios.

O clitelo, em forma de anel de cor branco-rosada, está localizado no terço anterior do corpo e contém uma glândula responsável por secretar as substâncias que formam os casulos (ou cocons), onde são depositados os ovos fecundados. O casulo apresenta forma de pera e mede entre 2 e 3 mm de diâmetro.

A maturidade sexual é alcançada aos três meses e, a partir desse momento, os indivíduos estão aptos ao acasalamento.

Glândulas calcíferas: também chamadas glândulas de Morren, são órgãos especializados que secretam carbonato de cálcio e desempenham a função de controlar o pH, além de inibir certos fungos e bactérias presentes nos substratos.

Regeneração: a minhoca possui capacidade regenerativa de segmentos perdidos, porém apenas quando a lesão ocorre na parte terminal do intestino; se o dano acontece na região anterior, o animal não sobrevive.

A minhoca é composta por aproximadamente 80% de água e 20% de matéria seca, contendo cerca de 65% de proteína.

Fonte: elaboração própria.

ASPECTOS FISIOLÓGICOS

DIGESTÃO

O sistema digestivo da minhoca é composto por uma boca situada abaixo do prostômio, cuja função é sugar o alimento, uma vez que não possui dentes. Em seguida, encontra-se a faringe, que apresenta glândulas responsáveis por lubrificar o alimento e fibras musculares em suas paredes externas, atuando como uma bomba que impulsiona o bolo alimentar. Posteriormente, o alimento passa para o esôfago, que é reto e desemboca no papo, e este, por sua vez, na moela.

No esôfago localizam-se as glândulas calcíferas, órgãos cuja função é predominantemente excretora e não digestiva, pois liberam o excesso de cálcio absorvido com o alimento e contribuem para manter um pH constante no sangue.

Após o esôfago, o papo armazena o alimento; é de tamanho pequeno em comparação com a moela, que apresenta uma coloração vermelho-intensa e é responsável pela degradação do alimento mediante enzimas digestivas. Entre essas enzimas destacam-se:

- **pepsina**, que atua sobre proteínas;
- **amilase**, que degrada polissacarídeos;
- **celulase**, que decompõe a celulose;
- **lipase**, que atua sobre lipídios.

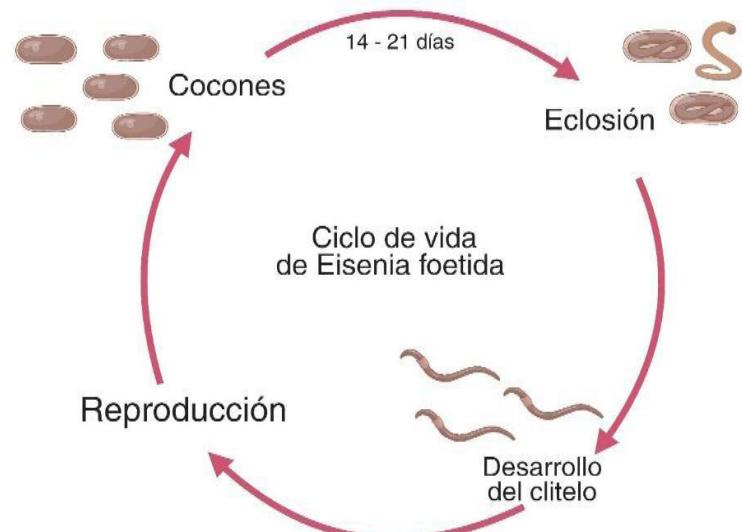
Após a ação dessas enzimas, o alimento passa ao intestino, que se estende desde a moela ao longo de toda a extensão do corpo, sendo maior que o papo e também de coloração vermelho-intensa. Esse intestino é formado por células secretoras e absorтивas e desemboca finalmente no ânus.

REPRODUÇÃO

A *Eisenia foetida* caracteriza-se por ser hermafrodita, possuindo em cada indivíduo o sistema reprodutor masculino e feminino. Sua reprodução ocorre por fecundação cruzada, mediante a troca de espermatozoides durante a cópula entre duas minhocas posicionadas em sentidos opostos.

As estruturas reprodutivas são denominadas ootecas, comumente chamadas de casulos. Têm tamanho reduzido, entre 2 e 3 mm, e coloração amarelada em condições ambientais. A minhoca deposita as ootecas no substrato e, após 14 a 21 dias, estas se abrem, liberando entre 2 e 20 pequenas minhocas. Inicialmente, os indivíduos apresentam coloração branca; após 5 a 6 dias tornam-se rosados, e a partir de 15 dias adquirem coloração vermelho-escura.

Figura 1 - Ciclo de vida de *Eisenia foetida*



Fonte: elaboração própria.

EISENIA FOETIDA NA AVALIAÇÃO DE CONTAMINANTES FARMACÊUTICOS

Foram identificadas três fontes principais de liberação de fármacos e seus metabólitos no ambiente: fontes pontuais, fontes difusas e fontes não pontuais. Uma das principais fontes de liberação de princípios ativos farmacêuticos no meio ambiente, classificada como fonte difusa, são as águas residuais e os lodos provenientes das estações de tratamento de esgotos municipais. As águas residuais constituem a principal via de excreção de fármacos pelos seres humanos, tanto em domicílios quanto em hospitais e outras unidades de atenção terapêutica.

A aplicação generalizada de efluentes e biossólidos com finalidade fertilizante contribui para a liberação de quantidades significativas de fármacos no meio ambiente. Substâncias como as fluoroquinolonas, ciprofloxacina e norfloxacina, entre outras, que não se degradam nos processos de tratamento de águas residuais, acumulam-se em quantidades relevantes nos lodos das estações de depuração.

Estudos que avaliam a toxicidade de antibióticos em *Eisenia foetida* medem indicadores de estresse oxidativo, como enzimas antioxidantes — superóxido dismutase (SOD), peroxidase (POD), catalase (CAT) e glutationa (GSH) — para avaliar o efeito tóxico desses fármacos. Outros trabalhos analisam a resposta reprodutiva de *Eisenia foetida* após exposição a determinados fármacos, quantificando a reprodução crônica, contabilizando espermatozoides deformados e avaliando alterações morfológicas nas vesículas seminais. Ademais, tem sido investigado com êxito o potencial das minhocas na vermirremediação do solo, relatando-se a remediação bem-sucedida de tetraciclina, sulfametoxazol e seus genes de resistência antimicrobiana.

BIOENSAIOS

Para avaliar os possíveis efeitos nocivos de uma substância química sobre o ambiente, é necessário estabelecer uma relação quantitativa e reproduzível entre a exposição ao agente químico e o grau de dano provocado no organismo ou grupo de organismos em estudo. A preservação dos ecossistemas e a proteção da saúde humana baseiam-se na avaliação de produtos químicos artificiais, utilizando principalmente testes de ecotoxicidade, os quais buscam gerar informações quantitativas ou qualitativas sobre os efeitos indesejados dos xenobióticos para fins regulatórios. Diversos testes de toxicidade aguda e crônica têm sido desenvolvidos para avaliar os riscos ambientais de agentes químicos descartados no ecossistema.

Como uma única espécie não pode refletir integralmente os efeitos dos contaminantes sobre toda a biota de um ecossistema, é comum utilizar várias espécies de teste que representem diferentes níveis tróficos, a fim de reproduzir com maior realismo a situação ambiental. Nesse contexto, as minhocas, como *Eisenia foetida*, têm sido amplamente utilizadas como organismos-teste para avaliar a contaminação do solo, seja por medicamentos vencidos, pesticidas ou metais pesados. Entre os ensaios mais empregados destacam-se a prova por contato em papel-filtro e a prova com solo artificial e amostras de solo contaminado.

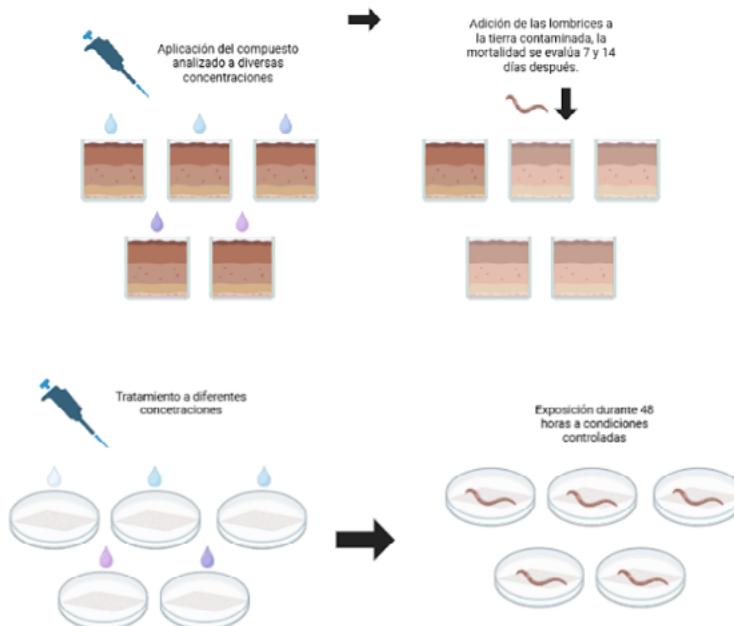
A prova por contato em papel-filtro pode ser utilizada como etapa preliminar para determinar as concentrações que deverão ser usadas no ensaio com solo, este último mais detalhado. Trata-se de um ensaio de fácil execução e com resultados reproduzíveis. O solo artificial e o solo contaminado são representativos da exposição natural da minhoca ao composto analisado. Esses ensaios baseiam-se no descrito na Diretriz 207 da OECD para avaliação de substâncias.

A prova inicial de detecção (prova por contato com papel-filtro) envolve a exposição de minhocas a substâncias-teste

em papel-filtro úmido, permitindo identificar compostos potencialmente tóxicos para minhocas no solo. Devem ser utilizados cinco ou mais níveis de tratamento em série geométrica e, no mínimo, dez organismos por tratamento. Os ensaios são realizados no escuro, durante 48 horas.

O ensaio com solo artificial fornece dados de toxicidade mais representativos da exposição natural das minhocas a produtos químicos. Consiste em manter as minhocas em amostras de um solo artificial rigorosamente definido, aplicando cinco concentrações do composto-teste em série geométrica. Deve-se empregar uma concentração que não produza mortalidade e outra que cause mortalidade total. São recomendadas quatro réplicas por tratamento. A mortalidade é avaliada aos 7 e 14 dias após a aplicação.

Figura 2 - Métodos de avaliação de contaminantes utilizando *Eisenia foetida*



Fonte: elaboração própria.

Também foram propostos bioensaios de comportamento de evasão com a minhoca *E. foetida*. Esse ensaio é utilizado como uma ferramenta de monitoramento de alerta precoce da toxicidade dos solos, pois permite avaliar em curto prazo (48 h) o efeito destes sobre a capacidade das minhocas de selecionar um habitat adequado para seus processos biológicos e ecológicos.

A variável-resposta de evasão baseia-se na presença de quimiorreceptores no prostômio e no segmento anterior, bem como na distribuição de tubérculos ao longo do corpo, os quais tornam as minhocas altamente sensíveis aos agentes químicos do ambiente e lhes permitem evitar condições ambientais desfavoráveis graças à sua capacidade locomotora.

PERSPECTIVAS FUTURAS

O uso de *Eisenia foetida* como bioindicador de contaminação em ecofarmacovigilância representa uma ferramenta promissora para a avaliação ambiental de resíduos de medicamentos. Para o futuro, espera-se um interesse crescente na utilização de *E. foetida* em programas de avaliação ambiental, particularmente em zonas agrícolas e urbanas, onde o uso intensivo e crescente de fármacos implica um risco potencial para o ecossistema e para os organismos que nele habitam.

As pesquisas poderão concentrar-se no desenvolvimento de biomarcadores moleculares e enzimáticos específicos em *E. foetida*, como mencionado anteriormente neste trabalho, que permitam identificar e quantificar de forma mais precisa os efeitos ecotoxicológicos dos contaminantes farmacêuticos. Espera-se também que estudos futuros avaliem mais detalhadamente a capacidade de *E. foetida* de atuar como sistema de biorremediação, contribuindo não apenas

como bioindicador, mas também como um agente de redução de contaminantes, oferecendo um método sustentável para diminuir resíduos de fármacos no ambiente.

CONCLUSÃO

Em conclusão, *Eisenia foetida* consolida-se como um organismo robusto para o monitoramento de contaminantes farmacêuticos em ambiente terrestre, oferecendo vantagens como sensibilidade a uma ampla variedade de contaminantes, fácil manejo em laboratório e relevância ecológica e de remediação nos solos. Sua inclusão em programas de ecofarmacovigilância proporcionaria uma abordagem econômica e sustentável para avaliar o impacto de resíduos farmacêuticos e outros contaminantes emergentes.

As evidências disponíveis sustentam o potencial de *E. foetida* não apenas para detectar a toxicidade aguda de certas substâncias e sua letalidade, mas também para fornecer informações valiosas sobre os riscos ambientais associados ao uso excessivo de fármacos. No entanto, para maximizar sua utilidade como bioindicador, é necessário continuar desenvolvendo estudos que validem seu uso por meio de metodologias padronizadas.

Integrar *E. foetida* aos esquemas de ecofarmacovigilância representa um passo fundamental para a proteção do ambiente e da saúde pública.

REFERÊNCIAS

PELUSO, M. L.; CARRIQUIRIBORDE, P. **Bioensayos de toxicidad**. 2021. Disponível em: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/131173>. Acesso em: 11 dez. 2025.

ROMERO, P. R.; CANTÚ, A. M. **Ensayos toxicológicos para la evaluación de sustancias químicas en agua y suelo:** la experiencia en México. Instituto Nacional de Ecología, 2008.

OCDE. Prueba n.º 207: Lombriz de tierra, Pruebas de toxicidad aguda. **Directrices de la OCDE para el ensayo de sustancias químicas**, Sección 2. París: Publicaciones de la OCDE, 1984. Disponible em: <https://doi.org/10.1787/9789264070042-en>.

ULLOA, M.; BUSTOS, V.; NEAMAN, A.; GAETE, H. Comportamiento de evasión y reproducción de la lombriz *Eisenia foetida* en suelos agrícolas impactados por actividades mineras. **Revista Internacional de Contaminación Ambiental**, v. 34, n. 1, p. 35-43, 2018. <https://doi.org/10.20937/rica.2018.34.01.03>.

CURRY, J.; SCHMIDT, O. The feeding ecology of earthworms – A review. **Pedobiologia**, v. 50, n. 6, p. 463-477, 2007. DOI: 10.1016/j.pedobi.2006.09.001.

UDOVIC, M.; LESTAN, D. *Eisenia fetida* avoidance behavior as a tool for assessing the efficiency of remediation of Pb, Zn and Cd polluted soil. **Environmental Pollution**, v. 158, n. 8, p. 2766-2772, 2010. DOI: 10.1016/j.envpol.2010.04.015.

JIMÉNEZ, C. J. C. Contaminantes orgánicos emergentes en el ambiente: productos farmacéuticos. **Revista Lasallista de Investigación**, v. 8, n. 2, 2011.

CARTER, L. J.; RYAN, J. J.; BOXALL, A. B. Effects of soil properties on the uptake of pharmaceuticals into earthworms. **Environmental Pollution**, v. 213, p. 922-931, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.03.044>.

DOMÍNGUEZ, J.; AIRA, M.; GÓMEZ-BRANDÓN, M. El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la materia orgánica y el ciclo de nutrientes. **Ecosistemas**, v. 18, n. 2, 2009. Disponible em: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/61>.

DOMÍNGUEZ, J.; PÉREZ-LOSADA, M. *Eisenia fetida* (Savigny, 1826) y *Eisenia andrei* Bouché, 1972 son dos especies diferentes de lombrices de tierra. **Acta Zoológica Mexicana**, v. 26, n. 2, p. 321-331, 2010. Disponible em: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372010000500024.

DE LOERA-GONZÁLEZ, M. A.; SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, S. H.; CASTRO-PASTRANA, L. I.; FLORES-DE LA TORRE, J. A.; LÓPEZ-LUNA, A. Ecofarmacovigilancia. **Revista CENIC: Ciencias Biológicas**, v. 47, n. 1, p. 12-17, 2016.

CASTRO-PASTRANA, L. I.; BAÑOS-MEDINA, M. I.; LÓPEZ-LUNA, M. A.; TORRES-GARCÍA, B. L. Ecofarmacovigilancia en México: perspectivas para su implementación. **Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas**, v. 46, n. 3, p. 16-40, 2015.

SAUL, R. M. J. **Crecimiento y reproducción de la *Eisenia foetida* (lombriz roja) aplicando diferentes sustratos orgánicos, en condiciones de invernadero y elevada altitud a 3810 m s.n.m.** 2023. Disponível em: <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/19492>.

SOMARRIBA, R. J.; GUZMÁN, F. Guía de lombricultura. In: BLANDINO, R.; AGUILAR, V. (Eds.), **Agencia de Desarrollo Económico y Comercio Exterior Municipio Capital de La Rioja** (Issue 4). Universidad Nacional Agraria, 2002. Disponível em: <https://repositorio.una.edu.ni/2409/1/nf04s693.pdf>.

JULIO, B. B. **Manejo de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) para producir lombricomposta en la costa atlántica.** 2006. Disponível em: <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/18611>.

RIVERA-ARREDONDO, M.; VARGAS-ESPINOZA, E.; GAYTÁN-RUELAS, M.; DE JESÚS, M. F. V. Estudio de los cambios morfológicos del sistema digestivo de *Eisenia foetida* en condiciones in vitro en sustratos diferentes. **De la Salud**, v. 4, n. 13, p. 35-40, 2017.

HERRERA, D. **Identificación y análisis morfológico de *Eisenia foetida* de la UTSoE.** 2016.

GWOREK, B.; KIJĘŃSKA, M.; WRZOSEK, J.; GRANIEWSKA, M. Pharmaceuticals in the soil and plant environment: a review. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 232, n. 4, 2021. <https://doi.org/10.1007/s11270-020-04954-8>.

HAMSCHER, G.; KUHNE, M.; KORNER, U.; SCHEDL, D.; WENZEL, S. Formación de anhidrotetraciclina durante el tratamiento a alta temperatura de piensos de origen animal contaminados con tetraciclina. **Química de los Alimentos**, n. 75, p. 423–429, 2001.

ZHOU, H.; JIAO, X.; LI, Y. Exploring the toxicity of oxytetracycline in earthworms (*Eisenia fetida*) based on the integrated biomarker response method. **Toxics**, v. 12, n. 5, p. 310, 2024. <https://doi.org/10.3390/toxics12050310>.

YANG, X.; LI, Y.; WANG, X. Effects of ciprofloxacin exposure on the earthworm *Eisenia fetida*. **Environmental Pollution**, v. 262, n. 114287, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114287>.

GAO, Y.; LI, X.; GUO, J.; SUN, X.; SUN, Z. Reproductive responses of the earthworm (*Eisenia fetida*) to antiparasitic albendazole exposure. ***Chemosphere***, v. 120, p. 1-7, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.05.030>.

LIN, Z. *et al.* Efectos de dos especies ecológicas de lombrices de tierra en el rendimiento, vía de degradación y estructura de la comunidad bacteriana de la tetraciclina en suelo laterítico. ***Journal of Hazardous Materials***, v. 412, p. 125212, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125212>.

ZHANG, Y. *et al.* Eliminación de genes de resistencia a sulfametoxzazol y antibióticos en suelo de arrozales por lombrices de tierra (*Pheretima guillelmi*): desintoxicación intestinal y estimulación de bacterias autóctonas del suelo. ***Science of the Total Environment***, v. 851, n. 158075, 2022.

QUIJANO PRIETO, D. M. **Impacto ambiental de los medicamentos.** Una aproximación desde el pensamiento ambiental. 2016. Tesis (Doctorado) – Universidad Nacional de Colombia, 2016.

Rafael Manuel de Jesús Mex Álvarez

Doutor em Ciências da Saúde e do Meio Ambiente.

E-mail: rafammex@uacam.mx

Maria Magali Guillen Morales

Doutor em Ciências da Saúde e do Meio Ambiente.

E-mail: mmguille@uacam.mx

Luis Ariel Manzanero Acevedo

E-mail: lamanzan@uacam.mx

David Yanez Nava

Doutor em Ciências da Saúde e do Meio Ambiente.

Daniel Eduardo Euan Garcia

Químico Farmacêutico Biólogo.

E-mail: al071188@uacam.mx

Roger Enrique Chan Martínez

Químico Farmacêutico Biólogo.

E-mail: al059934@uacam.mx