

# Análisis de los residuos en la producción de harina de Lombriz Roja californiana (*Eisenia foetida*) en la planta piloto de la Universidad Técnica de Manabí. Ecuador

*Analysis of Waste in the Production of Flour California Red Worm (Eisenia foet) in Manabí Technical University pilot Plant*

MSc. Ulbio Alcívar-Cedeño<sup>I</sup> ualcivar@utm.edu.ec, MSc. Alex Dueñas-Rivadeneira<sup>I</sup>, MSc. Eli Sacon-Vera<sup>II</sup>, Dr. C. Gretel Villanueva-Ramos<sup>III</sup>, Dr. C. Luis Bravo-Sánchez<sup>III</sup>

<sup>I</sup>Departamento de Procesos Químicos. Universidad Técnica de Manabí, Ecuador, <sup>II</sup>Carrera de Agroindustrias. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí, Ecuador, <sup>III</sup>Facultad de Ingeniería Química Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Santa Clara, Cuba

## Resumen

Este trabajo se fundamenta en la necesidad de contar con herramientas eficientes en la evaluación ambiental de procesos productivos, relacionado con trabajos anteriores realizados en la Universidad Técnica de Manabí, hacia la producción de complementos proteicos de materias primas no convencionales, específicamente en la producción de harina de lombriz (*Eisenia foetida*), los cuales conformaron el interés de evaluar bajo diversos métodos ecotoxicológicos los desechos generados en esta producción piloto, en busca de aportar con el cumplimiento de la normativa ambiental. Se determinaron los residuos líquidos generados en la producción de harina de lombriz, y fueron evaluados bajo los siguientes indicadores biológicos: la inhibición de la germinación de semillas y crecimiento de la raíz en *Lactuca sativa* y la toxicidad aguda en *Eisenia foetida* para determinar la toxicidad ambiental del proceso productivo. Como resultado, las principales vías y mecanismos de contaminación ambiental que se produce durante el proceso de obtención de harina de Lombriz (*Eisenia foetida*) están dadas en los procesos de limpieza, sacrificio, lavado y molienda. La caracterización de los residuos permitió determinar que los mismos son aguas domésticas y aguas de proceso. La utilización de los bioensayos ecotoxicológicos descritos, permitieron precisar que las aguas de sacrificio inhiben la germinación y el alargamiento de la raíz, además las aguas de sacrificio se clasifican como ligeramente tóxicas y que las aguas de lavado provocan efectos subletales.

**Palabras clave:** *e. foetida*, *lactuca sativa*, ecotoxicología, harina de lombriz, residuos.

## Abstract

The necessity for have efficient tools in the environmental assessment of production processes is treated in this paper. This work is related to a previous work made in the Technical University of Manabí, for protein supplements production from unconventional raw materials, specifically Earthworm (*Eisenia foetida*) flour, using various ecotoxicological methods to evaluate generated waste in pilot production, in order to contribute to compliance the environmental regulations.

Liquid wastes generated in the production of earthworm flour were determined and evaluated under the following biological indicators: inhibition of seed germination, root growth in *Lactuca sativa*, acute toxicity in *Eisenia foetida* to determine the environmental toxicity of the production process. As result, the major environmental contamination that occurs during the process of obtaining meal worm (*Eisenia foetida*) is given in the cleaning process, sacrifice, washing and milling. The waste characterization allowed determining that they are domestic water and process water. The use of ecotoxicological bioassays described, that the sacrificial water inhibit germination and root elongation, and they are classified as slightly toxic the wash waters cause sublethal effects.

**Keywords:** *e. foetida, lactuca sativa, ecotoxicology, meal worm waste.*

## **Introducción**

El análisis de residuales se vuelve un componente fundamental en el camino hacia obtener producciones sostenibles que cumplan los requerimientos de las normativas ambientales de cada país o región. La producción de harina de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) a nivel piloto en la Universidad Técnica de Manabí, representa un avance hacia la obtención de materias primas no convencionales con altos niveles de biodisponibilidad de nutrientes [6,9], destinada hacia animales monogástricos e incluso los seres humanos [5].

El marco legal ambiental del Ecuador, describe diferentes niveles de pruebas y análisis para dar el visto bueno a las fábricas productoras de alimentos provenientes de materias primas de origen animal, para la obtención de compuestos tipo harinas y balanceados. Estas regulaciones abarcan varios niveles, que van desde líneas base, estudios de impacto ambiental, plan de manejo de desechos, utilizando para esto sendas matrices de causas y efectos, que incluyen descripciones detalladas de los componentes físicos, biológicos y socioeconómicos, en interacción directa con las actividades que se desarrollan dentro del proyecto o proceso a implementar. Sin embargo este tipo de análisis solo refiere interacciones con los componentes dentro de un rango o escala que en la mayoría de los casos es basado en la matriz de Leopold o en otras matrices del mismo tipo Si bien la conceptualización de toxicidad y en especial la toxicidad en agua de compuestos que atenten contra el ecosistema si es referida en la ley ambiental del Ecuador, la ecotoxicología como tal, no tiene una descripción en la actual nomenclatura legal [3].

La producción de harina de *Eisenia foetida* se encuentra en constante evaluación para describir procedimientos eficientes por lo que se pretende contar no solo con los análisis de residuales tradicionales requeridos por la ley ambiental vigente en el Ecuador, sino buscar la innovación al introducir un análisis ecotoxicológico para los residuales líquidos y sólidos procedentes de todas las etapas del proceso productivo de harina de lombriz, debido a que en las mismas, existen posibles riesgos de impactos potenciales de los efluentes, ya sea por el origen de la lombriz o por ciertos elementos que son necesarios para su procesamiento[8,10].

Este análisis integral busca incorporar los modelos biológicos como parte de los ensayos necesarios para evaluaciones en donde los residuos pueden generar algún tipo de contaminación que afecte directa o indirectamente la cadena trófica de interacciones entre compuestos y el ambiente a niveles inferiores a los descritos en ensayos físicos, químicos o microbiológicos tradicionales, tal como lo requieren otras legislaciones que realizan regulaciones en base a este tipo de ensayos ecotoxicológicos [2]. Este trabajo en conjunto con el laboratorio de Química Ambiental de la Facultad de Ciencias Matemáticas, Física y Química de la Universidad Técnica de Manabí, evalúa los efluentes residuales en cada etapa del proceso de obtención de harina de lombriz a escala piloto, describiendo sus índices de toxicidad acorde a las muestras evaluadas y a los modelos biológicos utilizados en los ensayos ecotoxicológicos.

#### *Fundamento teórico*

Los elementos antes expuestos son suficientes como para que sea estudiado el posible efecto contaminante que pudieran generar los residuos que emanen del proceso productivo de la obtención de la harina de Lombriz Roja de California (*Eisenia foetida*) sobre el ecosistema. Sin embargo es necesario primero describir los principales métodos de evaluación ambiental que se encuentran disponibles en el marco legal del Ecuador.

El primer inciso del artículo 86 de la Constitución de la República del Ecuador, obliga al Estado a proteger el derecho de la población a vivir en un medio ambiente sano y ecológicamente equilibrado, potenciando un desarrollo sustentable y a velar para que este derecho no sea afectado y a garantizar la

preservación de la naturaleza. De conformidad con lo establecido en el artículo 20 de la Ley de Gestión Ambiental, para el inicio de cualquier actividad que suponga riesgo ambiental, debe contarse con la licencia ambiental, otorgada por el Ministerio del Ambiente. Bajo estas disposiciones, el Estudio de Impacto Ambiental, es una medida preventiva, importante para predecir y cuantificar los impactos ambientales que un proyecto puede producir, y diseñar las medidas más adecuadas para minimizar o eliminar esos impactos, formulando un Plan de Manejo Ambiental. La Licencia Ambiental obtenida por el proponente de un proyecto, significa el compromiso que este asume para cumplir con lo establecido en el Plan de Manejo Ambiental y demás condicionantes establecidas por la autoridad ambiental, con el fin de precautelar el ambiente en sus medios físico, biótico y socio económico[3].

Estos manuscritos que conforman la estructura legal ambiental de cualquier proyecto a desarrollarse en el Ecuador, ya sea en el ámbito productivo, de servicios o de factibilidad están fundamentados en análisis primarios los cuales monitorean los componentes bióticos y abióticos en relación a las actividades que se van a realizar. Así en los procesos productivos se debe establecer una serie de ensayos al producto, a los efluentes y residuales con el objetivo de contar con procesos evaluados acordes a los rangos y parámetros permisibles para las sustancias contaminantes y su interacción con el ecosistema. Dicho esto es competencia directa del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULSMA) interponer los anexos cuantitativos y cualitativos de rangos permisibles a las sustancias que generen impacto, para los componentes físicos, bióticos, abióticos y socioeconómicos en relación a los parámetros antes mencionados [14].

Es decir pruebas de control de calidad al agua, al suelo, al aire, a los desechos peligrosos y no peligrosos, en factores determinantes como niveles de compuestos, periodicidad de evaluación y rangos permisibles. Los métodos de determinación de estas sustancias no se encuentran armonizados a codificaciones internacionales, sin embargo las unidades de interpretación si son expresadas en el sistema métrico y de fácil interpretación sobre el cumplimiento o no, ya que son rangos que son permisibles para otras normativas u otras codificaciones legales de países vecinos como Colombia,

Perú, Argentina o Chile [7]. Una vez que se cuenta con los análisis de los efluentes, los resultados conforman parte de las denominadas matrices de causa y efecto en donde se interrelacionan las pruebas con las actividades, de esta manera las matrices más utilizadas son las basadas en el modelo Leopold [14], donde se elabora una matriz de impactos y riesgos ambientales.

En la búsqueda de contar con herramientas más útiles en el análisis de residuales la propuesta de la ecotoxicología brinda una estructura validada en base a normativas interpuestas por organismos como la Organización de Cooperación Económica y Desarrollo (OECD) [12], de tal manera que se puede implementar como parte de los ensayos permitidos para que evaluaciones ambientales a proyectos o procesos productivos, tengan una mejora en el análisis y futura toma de decisiones sobre las autorizaciones de funcionamiento o de desarrollo.

La ecotoxicología estudia el destino y los efectos de los contaminantes en los ecosistemas, intentando explicar las causas y prever los riesgos probables y su principio es que los organismos vivos son herramientas esenciales para la evaluación de la calidad ambiental, puesto que ellos son los que están expuestos a los efectos combinados de la ecotoxicidad que es la resultante de todo el estrés tóxico que actúa sobre el ambiente. La ecotoxicología prospectiva evalúa la toxicidad de las sustancias antes de su producción y uso. La ecotoxicología retrospectiva se ocupa de confirmar si la sustancia produce daños en el ecosistema [1, 7,13].

Puede resumirse que la ecotoxicología es una rama de la toxicología destinada a determinar:

- La fuente de productos tóxicos o potencialmente tóxicos.
- Su movilidad y persistencia en el medio ambiente y cadenas tróficas.
- Su transformación bajo condiciones ambientales.
- Sus efectos sobre la dinámica de poblaciones de las especies afectadas.

El efecto causado por un tóxico dependerá de su toxicidad inherente (capacidad de causar algún efecto nocivo sobre un organismo vivo), del grado

de exposición, que a su vez dependerá de la cantidad que ingrese, de cuanto pase a los distintos compartimientos del ecosistema y de su persistencia. La ecotoxicología se vale de dos herramientas básicas para realizar sus investigaciones: el monitoreo ambiental y el monitoreo biológico [1].

El monitoreo ambiental permite establecer las formas mediante las cuales se liberan los compuestos y determinar cuál es su destino en ambiente. Es un procedimiento para detectar la presencia y cuantificar las concentraciones de los contaminantes en los diferentes compartimientos, incluyendo al aire, agua, suelo y sedimentos. Un buen monitoreo ambiental debe considerar un muestreo representativo, técnicas adecuadas para la colecta y preservación de las muestras, así como métodos apropiados de extracción y análisis, siguiendo prácticas estandarizadas en el laboratorio [13].

El monitoreo biológico, desde el punto de vista de la ecotoxicología, consiste en evaluar los efectos adversos de los contaminantes sobre los individuos, poblaciones, comunidades y ecosistemas que han estado expuestos. En este sentido, se pueden aplicar pruebas en el laboratorio o realizar estudios en campo. Los indicadores biológicos ecotoxicológicos permiten predecir el comportamiento de un residual en contacto con el ambiente, gracias a una extrapolación que se hace con los modelos biológicos [13].

Normalmente se utilizan bioindicadores pertenecientes al reino vegetal y animal para predecir el impacto que puede tener sobre el ecosistema el residual con posible problema, es importante acotar que al realizar el análisis tanto en plantas como en animales la variabilidad del impacto se reduce significativamente en relación a realizar estudios sobre un solo modelo de organismo vivo [13].

Debido a ello, y después del análisis de la literatura especializada, se escogen como indicadores biológicos, la inhibición de la germinación de semillas y crecimiento de la raíz en *Lactuca sativa* [12], en el caso de las plantas y la toxicidad aguda en *Eisenia Foetida*, en el caso de los animales; como los dos métodos para determinar la toxicidad ambiental de los residuales líquidos del proceso de fabricación de la harina de lombriz. La inhibición en la elongación de la radícula e hipocotíleo constituyen indicadores subletales muy sensibles

en la evaluación de efectos biológicos para determinar la calidad del agua; asimismo, el crecimiento de la raíz como punto final de lectura es más sensible a la toxicidad que la germinación de las semillas [13]. Los bioensayos con lombrices son ampliamente reconocidos como prueba para evaluar la toxicidad de suelos contaminados. La prueba por contacto en papel filtro involucra la exposición de las lombrices a sustancias patrón, sobre un papel filtro húmedo con la finalidad de identificar el potencial del compuesto tóxico presente en el suelo. Cuando se tienen concentraciones subletales que pueden afectar el crecimiento o reproducción de la lombriz (como representante de los organismos del suelo), esta respuesta puede ser empleada como un centinela de procesos destructivos que pudieran presentarse en el suelo [12]. La lombriz más utilizada ha sido *Eisenia* en sus especies *foetida* y *andrei*, las cuales pertenecen a la familia Lumbricidae [3].

El cálculo de la  $CL_{50}$ , complementa el ensayo de toxicidad realizado por contacto en papel de filtro húmedo pues ayuda a establecer la dosis máxima en  $mg/cm^2$ , la  $CL_{50}$ , se define como la concentración, obtenida por estadística, de una sustancia de la que puede esperarse que produzca la muerte, durante la exposición o en un plazo definido después de ésta, del 50 % de los animales expuestos a dicha sustancia durante un periodo determinado [1]. De tal manera que, la mitad de la muestra de población (50 %) de una prueba en un animal o especie vegetal específico en un período determinado muere a causa de la exposición a través de la inhalación, respiración o algún otro mecanismo de interacción con el medio. Como una comparación de toxicidad, los valores de  $LC_{50}$  no tienen correlación directa de una especie a la otra o a los seres humanos. La medición  $CL_{50}$  se hace en microgramos o miligramos de material por litro, o partes por millón (ppm), de aire o agua. Cuanto menor sea la cantidad, más tóxico es el material. También conocida como la concentración letal media o concentración crítica de la población 50 [1].

#### *Materiales y métodos*

Primeramente se realiza un análisis de la aplicación de la tecnología a desarrollar para determinar las corrientes residuales del proceso que serán

sometidas a los análisis químicos y ecotoxicológicos. Para la investigación se elaborarán tres lotes de productos en un periodo de cinco meses.

Una vez determinadas las corrientes residuales se procede a realizar el ensayo inhibición de la germinación y alargamiento de la raíz de *Lactuca sativa* donde los parámetros utilizados son: [13].

- Germinación del control negativo > 65 %.
- Volumen de aplicación de cada muestra: 5 ml de sustancia de ensayo.
- No. de réplicas / tratamiento 3.
- No. plantas por placa: 20.
- Duración del ensayo: 5 días.
- Temperatura: 25 +/- 2 ° C.

Día cero: cuando el 65 % o más de las semillas del grupo control germinaron

Posteriormente se realizan los ensayos ecotoxicológicos de toxicidad aguda sobre *Eisenia foetida*, utilizando los parámetros que se relacionan: [12].

- Duración del bioensayo: 48 h opcionales 72 h
- Temperatura: 20 ± 2 °C
- Contenedores: Diámetro de 3,5 cm y altura de 10 cm con tapón de goma y perforaciones pequeñas
- Papel de filtro: 8,5 x 9 cm
- Número de concentraciones: 5
- Organismo prueba: *Eisenia foetid*
- Edad del organismo: > 2 meses clitelada
- Número de organismos por réplica: 10
- Número de réplicas: 3
- pH: 5-9
- Alimentación: No

- Control positivo: Dicromato de potasio
- Control negativo: Agua.
- Control de calidad: Mortalidad en los controles < 10%

Para evaluar los cuatro efectos subletales más relevantes en este estudio, se los denominó con letras de la (a) a la (d), y se los identificó en base a la literatura de la siguiente forma: [12].

Reacción disminuida al estímulo mecánico

- a) Pérdida de fluido celómico
- b) Daños en la región clitelar.
- c) Presencia de abultamientos y constricciones.

Como compuesto químico en el control positivo de toxicidad se utilizó dicromato de potasio, se estableció de acuerdo a la metodología de la literatura, un valor de 0,016 mg/cm<sup>2</sup>, siendo este el punto de partida como valor máximo de toxicidad aguda, el control negativo de la prueba fue con agua destilada y por último como control de calidad se estipuló que la mortalidad en los controles debe ser inferior al 10 % de la toma de muestra. La viabilidad se tomó como medida de manifestación de los modelos biológicos seleccionados a la acción toxica de los efectos del contaminante en escala porcentual del 0 (cero) al 100 (cien). [12].

### **Cálculo de la CL<sub>50</sub>**

La CL<sub>50</sub> se calcula utilizando el método de regresión Probit, también conocido como método de unidades probabilísticas, que es usado para evaluar la relación de dosis-respuesta de un contaminante sobre un organismo, medida en términos de la concentración letal media (CL<sub>50</sub>) y su precisión o intervalo de confianza. Se asigna el valor Probit de tablas respecto del porcentaje de mortalidad obtenido para cada concentración o tratamiento, incluyendo los valores de cada una de las réplicas en el análisis de regresión.

Efectuar el análisis de regresión lineal entre la concentración y la respuesta tóxica, mediante el método mínimos cuadrados. Utilizando los valores obtenidos de la ecuación de la recta, calcular la CL<sub>50</sub>, considerando el valor de mortalidad o efecto a 50% de individuos utilizados en el ensayo.

El resultado es un valor virtual obtenido estadísticamente, en términos de concentración, ya sea en mg de HTP  $\text{kg}^{-1}$  de suelo o de kg de algún compuesto (ejemplo: HAP); en base seca, este valor se relaciona de forma inversa con el potencial de toxicidad; es decir, una sustancia es más tóxica si requiere de una menor concentración para producir la letalidad o algún otro daño subletal. Para tal efecto se ha establecido una clasificación para asignar categorías de toxicidad en función de la concentración [12].

**Categorías de toxicidad en función del valor de la concentración [12].**

- |                         |           |                    |
|-------------------------|-----------|--------------------|
| • Extremadamente tóxico | <1        | $\text{mgkg}^{-1}$ |
| • Altamente tóxico      | 1 a 50    | $\text{mgkg}^{-1}$ |
| • Moderadamente tóxico  | 50 a 500  | $\text{mgkg}^{-1}$ |
| • Ligeramente tóxico    | 0.5 a 5   | $\text{gkg}^{-1}$  |
| • Prácticamente atóxico | 5 -15     | $\text{g kg}^{-1}$ |
| • Relativamente inocuo  | Más de 15 | $\text{g kg}^{-1}$ |

Este valor se utiliza de forma comparativa con los valores obtenidos de otras sustancias o mezclas y no se maneja como una constante biológica, esperando una respuesta parecida bajo las mismas condiciones de prueba.

Todos los resultados obtenidos serán analizados utilizando un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de significación del 95%.

**Resultados**

La planta de producción de harina de lombriz producirá aguas de desperdicio doméstico y aguas de desperdicio de proceso. Las aguas domésticas provenientes de los servicios sanitarios y de la limpieza en general, se eliminarán directamente a un sistema de fosa séptica para luego ser enviadas a un pozo de absorción.

Las aguas de desperdicio de proceso provenientes del sacrificio y lavado de las lombrices recibirán un tratamiento primario consistente en sedimentación en un tanque circular de dos metros de diámetro con flujo horizontal y recolección manual. (figura 1).

Las aguas de desperdicio del proceso serán el resultado de los diferentes lavados del producto.

### **Aguas de lavado del área de secado y de la maquinaria**

Estas aguas se manejarán enviándolas directamente hacia los pozos de absorción.

### **Aguas de los procesos de sacrificio de las lombrices**

Diariamente se producirán 18.6 m<sup>3</sup> de solución salina con restos orgánicos de las lombrices durante el sacrificio

### **Aguas de los procesos de lavado de las lombrices**

Se generan 8, 25 m<sup>3</sup> de agua de lavado con menor cantidad de los mismos restos orgánicos y salinos.

En total se obtienen 26.85 m<sup>3</sup> diarios de agua de desperdicio del proceso. Los compuestos orgánicos presentes en las mismas son los responsables de la mayor parte de los problemas de contaminación, como resultado de su efecto sobre los recursos de oxígeno en el medio ambiente. Las aguas de desperdicio generadas durante los procesos de sacrificio y lavado, mantienen su pH en un rango de 6 a 9, por lo que no son consideradas como aguas corrosivas y no existe el peligro de precipitación de iones metálicos en forma de carbonatos o hidróxidos. La temperatura de operación de estas aguas será la del medio ambiente, ya que el proceso no requiere de ningún calentamiento o enfriamiento de las mismas, con lo cual no se agrava la situación del oxígeno disuelto en las aguas receptoras [14].

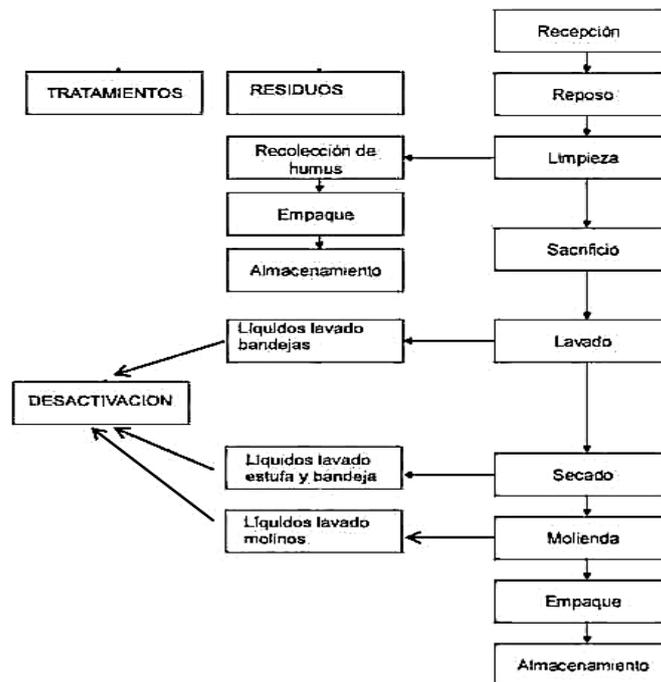


Fig. 1 Diagrama del proceso de fabricación, residuos y tratamientos de la harina de lombriz (*E. foetida*).

A continuación, en la tabla 1, se exponen los resultados obtenidos en la influencia de las aguas residuales del proceso sobre la germinación de semilla y crecimiento de la raíz de *Lactuca sativa*.

Tabla 1  
Resultados de los residuales líquidos del proceso de fabricación de la harina de *Eisenia foetida* sobre la germinación de semilla y crecimiento de la raíz de *Lactuca sativa*

Muestras	PROCEDENCIA RESIDUALES LÍQUIDOS				Parámetro
	Sacrificio	Lavado	Secado y maquinaria	Control	
1	3,12	4,08	5,12	4,32	Longitud radical mm
2	3,22	4,06	5,62	4,81	
3	3,41	4,12	5,22	4,01	
<b>Promedio</b>	<b>3,25a</b>	<b>4,09b</b>	<b>5,32c</b>	<b>4,38d</b>	
<b>DE</b>	0,15	0,03	0,26	0,40	
<b>V</b>	0,02	0,00	0,07	0,16	
1	32,38	71,23	115	97	Índice de germinación %
2	33,12	73,32	118	95	
3	26,55	80,42	119	98	
<b>Promedio</b>	<b>30,68a</b>	<b>74,99b</b>	<b>117,33c</b>	<b>96,67d</b>	
<b>DE</b>	3,60	4,82	2,08	1,53	
<b>V</b>	12,95	23,21	4,33	2,33	

a,b,c,d= Letras diferentes en la misma columna difieren p<0,05

La toxicidad de las aguas de sacrificio sobre la inhibición de la germinación de semillas de *Lactuca sativa* se evidenciaron por la diferencia significativa (p < 0,05) que existió con el grupo control y los demás residuales líquidos de

los diferentes lavados del proceso de fabricación de la harina de *E. foetida*. Esto se debió probablemente al contenido de sal de la misma, debido a que este residual contiene un 4 % de Cloruro de Sodio que se utilizó para sacrificar a *E. foetida*. Aunque otros autores desestiman el uso de este en el sacrificio de las lombrices, porque aumenta la concentración de estas sales, es importante destacar que los métodos de sacrificio aplicado por los mismos incluyen un proceso de ebullición con altas temperaturas lo que pone en riesgo el porcentaje de proteína, el cual es el indicador primordial sobre la calidad de este producto [4].

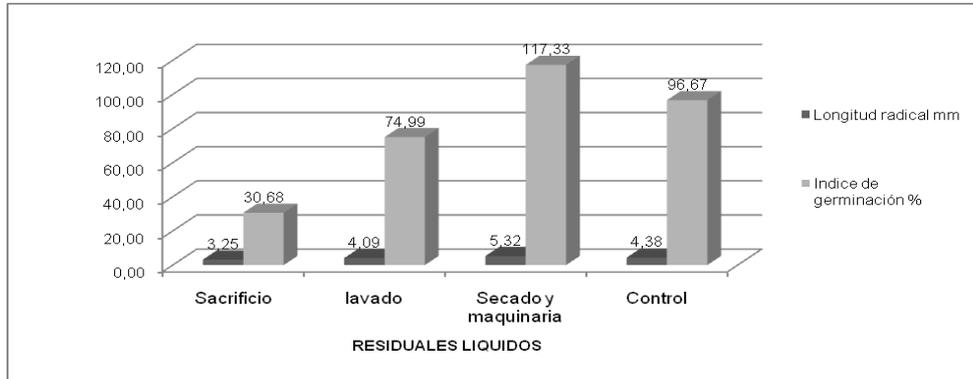
El largo de la raíz tuvo diferencias al compararlo con el control en los distintos tipos de aguas residuales. Se evidenciaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre el agua de sacrificio y el control, así como al compararlo con los demás residuales. En general no hubo diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre el control y el agua de lavado.

Estos resultados pueden estar condicionados porque las altas concentraciones de sales en el suelo inhiben el crecimiento de las plantas de diferentes formas; se puede causar disminución del contenido de agua en la planta, acumulación de iones en cantidades tóxicas y reducción de la disponibilidad de nutrimentos. Se ha planteado que las altas concentraciones de  $\text{Na}^+$  deterioran la selectividad de la membrana y favorecen la acumulación pasiva de estos iones en raíces y tallos. Varios autores indican que las sales sódicas, en particular el  $\text{NaCl}$ , provocan un mayor castigo salino que otras sales [5].

También se observa que las aguas de lavado y secado de la maquinaria aumentaron el tamaño de la raíz de *L. sativa*, debido probablemente a que estas aguas tienen restos de harina de lombriz y las mismas como se ha referido anteriormente tienen altos contenidos proteicos y de minerales que pueden favorecer el crecimiento de la planta. Ver figura 2.

Es importante destacar que no es posible desechar aguas con altos contenidos de proteínas a los sistemas de alcantarillado o tratamiento, porque el nitrógeno contenido en estas aguas puede favorecer los procesos de nitrificación a largo plazo, incrementando el desarrollo de ciertas plantas, lo que influye en el equilibrio de competencia natural de las especies, que es un problema, sobre todo en aguas que después son llevadas a sistemas fluviales y en algunos

casos utilizadas para riego de sembradíos lo cual genera problemas de nitrificación de suelo y aguas.



**Fig. 2** Resultados ensayo germinación de semilla de *Lactuca sativa*.

En los experimentos para el análisis de toxicidad aguda de los residuales líquidos del proceso de fabricación de la harina de *Eisenia foetida* sobre *Eisenia foetida* se obtuvieron los resultados presentados en la tabla 2.

**Tabla 2**  
Resultados de la toxicidad aguda de los residuales líquidos del proceso de fabricación de la harina de *Eisenia foetida* sobre *Eisenia foetida* en el ensayo del papel de filtro

Muestras de tipos de aguas	Concentración mg/cm <sup>2</sup>	Viabilidad final %	Efectos subletales
Sacrificio	1.31	0	a,b,c,d
	0.65	60	a,b
	0.32	100	a
Lavado de lombrices	1.33	100	a
	0.65	100	
	0.32	100	
Secado y maquinaria	1.33	100	
	0.65	100	
	0.32	100	
Dicromato de potasio	0.016	0	a,b,c,d
	0.16 x 10 <sup>-3</sup>	100	

- a. Reacción disminuida al estímulo mecánico
- b. Pérdida de fluido celómico
- c. Daños en la región clitelar.
- d. Presencia de abultamientos y constricciones

Para poder estimar la toxicidad se tomaron las muestras problemas como sustancias puras y en el caso de las aguas de sacrificio por ser las únicas que provocaron mortalidad se realizaron diferentes diluciones con las mismas para estimar su CL<sub>50</sub>. El agua de sacrificio se clasificó atendiendo a los resultados,

como medianamente tóxica para *Eisenia Foetida*, a la mayor concentración (1,31 mg/cm<sup>2</sup>), se demostraron los efectos subletales (a, b, c, d), en la concentración del compuesto al 50 %, solo se manifestaron los efectos subletales (a, b) y para la última concentración 25 % solo hubo manifestación del efecto subletal (a). Lo que implica que la misma se debe desactivar antes de ser eliminada al ambiente, porque puede impactar negativamente el mismo. Aunque el agua de lavado, no provocó muertes si se observaron efectos subletales (a), en el primer nivel de concentración; posiblemente esto es debido a los restos salinos que se encuentran en la misma por haberse utilizado anteriormente en el sacrificio de las lombrices. El agua de secado y maquinaria no demostró efecto subletal alguno, dando una viabilidad del 100 %, lo cual la califica como: Prácticamente Atóxico, sin perjuicio comprobado para el medio ambiente en estudio.

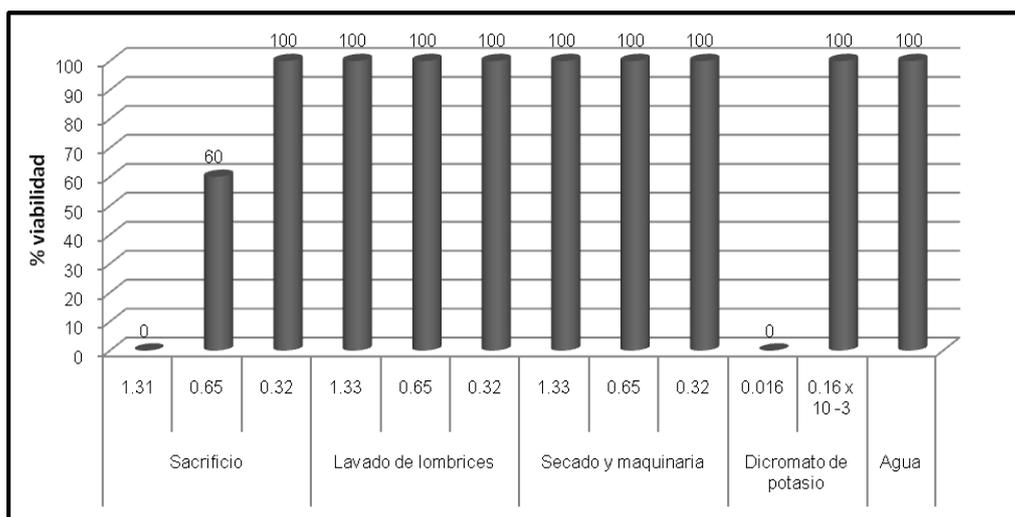
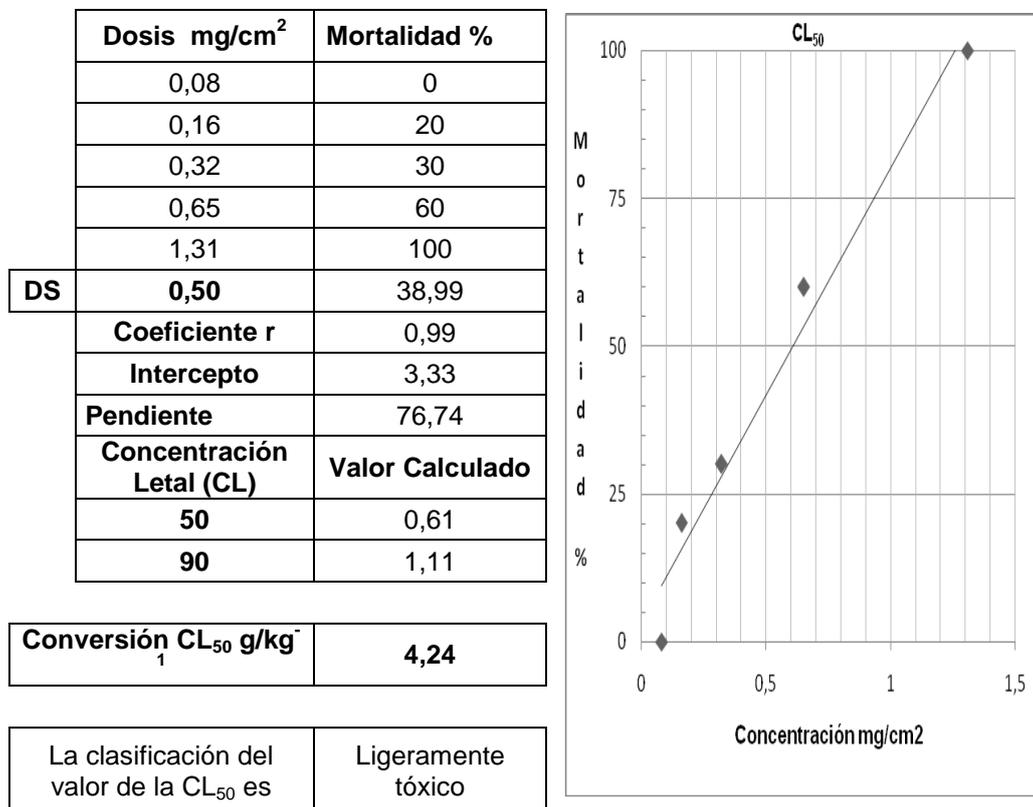


Fig. 3 Toxicidad de los tipos de agua de lavado.



**Fig. 4** Calculo de CL<sub>50</sub> para el agua de sacrificio proveniente del proceso de producción de harina de *Eisenia foetida*.

De acuerdo a la metodología desarrollada se obtuvieron 5 niveles de concentraciones, relacionadas directamente hacia un porcentaje en valor de mortalidad de los modelos biológicos, teniendo en cuenta como dosis media un valor de 0,50 mg/cm<sup>2</sup>, cuya equivalencia de acuerdo a la tabla realizada establece el 38,99% de mortalidad, para este nivel de concentración. El agua de sacrificio se clasificó atendiendo a ello como medianamente tóxica para *Eisenia foetida*, lo que implica que la misma se debe desactivar antes de ser eliminada al ambiente, porque puede impactar negativamente el mismo.

### Conclusiones

- 1. La caracterización de los residuos obtenidos en el proceso de la obtención de la harina de Lombriz Roja de California (*Eisenia foetida*) permitió determinar que los mismos son aguas domésticas y aguas de proceso (de sacrificio, aguas de lavado y aguas de limpieza del secado y molienda).**

2. **El ensayo de inhibición de la germinación y alargamiento de la raíz de *Lactuca sativa* estableció que las aguas de sacrificio inhiben la germinación y el alargamiento de la raíz de *Lactuca sativa*, mientras que las aguas de lavado del secado y maquinaria aumentan el índice de germinación.**
3. **El ensayo de toxicidad aguda en *Eisenia foetida* permitió precisar que las aguas de sacrificio se clasifican como ligeramente tóxicas y que las aguas de lavado provocan efectos subletales.**
4. **Dada la contaminación ambiental que pueden producir los residuales líquidos del proceso de fabricación de la harina de lombriz y para eliminar la contaminación del manto acuífero producida por las aguas de desecho domésticas y las aguas de desecho del proceso, es necesario someterlas a desactivación antes de incorporarlas a corrientes de agua.**

## Bibliografía

1. CALLOW, P. *Handbook of ecotoxicology*. vol. I y II. Oxford; Editorial Blackwell Sc. Pbl.1993; p. 95-101.
2. CONELL, DW. "*Bioaccumulation of xenobiotic compounds*". Florida; Editorial CRC Press. 1990; p. 15.
3. Ecuador, Constitución de la República del. Capítulo segundo de Biodiversidad y recursos naturales en su Sección primera Naturaleza y ambiente. Art. 395.- 400 -404- 405., 2008.
4. GARCÍA, D; *et al.* "Evaluación de la calidad Proteica de Harina de Lombriz (*Eisenia foetida*) en ratas de Crecimiento". La Habana; *Editorial Instituto de Investigaciones Porcinas*. Cuba. 1997; p. 33-36.
5. GONZALVO, S; *et al.* "Algunos Aspectos del Valor Nutritivo de Alimentos Venezolanos Destinados a Animales Monogástricos". *Livestock Researchfor Rural Development*. 2001; vol. 2. N° 13.
6. GUTIÉRREZ, G. *et. al*, Drug that can reduce cholesterol and urea levels and stabilize glucose, creatinine and triglyceride levels, prepared from *Eisenia foetida*. WIPO Patent Application WO/2009/014411. Mexico. 2007.
7. HARPER, D. "Eutrophication of freshwaters. *Principles, problems and restoration*. London; Editorial Chapman & hall. London.1992; p. 130-132.
8. IBÁÑEZ I; *et al.* *Nutritional and Toxicological Evaluation on Rats of Earthworm (*Eisenia foetida*) Meal as Protein Source for Animal Feed*. *Animal Feed Science and Technology*. 1993; vol. 42, p. 165-172.

9. MAYNARD, L., *Nutrition Animal*. México DF; Editorial Mc. Graw Hill Interamericana. 1992; p. 55.
10. CALDERÓN, J., NIEVES, D., “Inclusión de Harina de Lombriz (*Eisenia foetida*) en Dietas no Convencionales y Suplementación con *Trichanthera gigantea* en Conejos de Engorde”. Maracaibo; *Editorial Fundación para la Investigación Agrícola DANAC*. 2001; p. 18.
11. NÚÑEZ, M. “Utilización de la Harina de Lombriz de Tierra, *Eisenia foetida*, como sustituto de la harina de pescado en la Alimentación de post larvas de *Macrobrach inumro sembergil*”. Tesis. Lima: Universidad la Agraria la Molina. 1995; p. 55.
12. OECD. *Guideline for testing of chemicals*. Terrestrial Plants, Growth Test. N°. 208. París, Francia. Adopted: 4 April 1984.
13. OPPTS 850.4150. *Ecological Effects Test Guidelines*. Terrestrial Plant Toxicity, Tier I (Vegetative Vigor). United States Environmental Protection Agency. Prevention, Pesticides and Toxic Substances (7101). EPA 712-C-96-163. 1996.
14. República del Ecuador. Libro VI, Anexo I, Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULSMA), Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. 2013.