

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Ambiental



TESIS

Evaluación de la ecotoxicidad de los residuos sólidos obtenidos de la línea del proceso de curtición bovina en la *Eisenia fetida* como organismo de prueba para su potencial aplicación como abono

Para obtener el título profesional de:

Ingeniero Ambiental

Elaborado por:

Alvarez Vidal, Jesús Pablo

 [0000-0001-8052-8355](https://orcid.org/0000-0001-8052-8355)

Asesora:

Liliana Del Rosario Marrufo Saldaña

 [0000-0002-5908-7847](https://orcid.org/0000-0002-5908-7847)

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Alvarez Vidal [1]
Referencia/Reference	[1] J. Alvarez Vidal, “ <i>Evaluación de la ecotoxicidad de los residuos sólidos obtenidos de la línea del proceso de curtición bovina en la Eisenia fetida como organismo de prueba para su potencial aplicación como abono</i> ” [Tesis de pregrado]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2025.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Alvarez, 2025)
Referencia/Reference	Alvarez, J. (2025). <i>Evaluación de la ecotoxicidad de los residuos sólidos obtenidos de la línea del proceso de curtición bovina en la Eisenia fetida como organismo de prueba para su potencial aplicación como abono</i> . [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

*A mi buen Jesús, mi señor y salvador; a mis padres por su gran amor, a mis hermanos
y amigos, los amo.*

Agradecimientos

A mi familia por ser mi sustento en todo este tiempo, a la profesora Liliana Marrufo, por su apoyo incondicional durante todo el desarrollo de la tesis, a mi amigo Robert Buleje por sus recomendaciones y aportes, y a todos mis amigos de la UNI y la academia por su gran apoyo.

Resumen

La fabricación de cuero genera residuos sólidos que pueden terminar en un vertedero o un relleno sanitario; sin embargo, estos residuos por su alto contenido en proteínas pueden ser valorizados, a pesar de que en su composición también están presentes sustancias químicas. La presente investigación evaluó la ecotoxicidad de los residuos sólidos obtenidos de la línea del proceso de curtición bovina, con la finalidad de determinar su aplicación como abono. Para ello, se llevó a cabo un ensayo de toxicidad con diferentes concentraciones de exposición a los residuos. Se utilizaron cuatro tipos de residuos del proceso de fabricación del cuero: descarte, wet blue, recurtido teñido y engrase (RTE), y acabado. Estos residuos fueron evaluados en una mezcla con compost maduro, utilizando el organismo de prueba *Eisenia fetida*. Finalmente, se evaluó la mortalidad y se realizó la caracterización del humus resultante para determinar su potencial uso como abono. Se concluye que, a mayor cantidad de procesos individuales, las lombrices presentan una mayor tolerancia a los residuos y que sería factible la utilización del humus obtenido, siempre y cuando se puedan añadir sustancias orgánicas que mejoren sus propiedades. La presente investigación contribuye a demostrar que es posible aprovechar los residuos sólidos del proceso de fabricación de cuero como abono mediante la técnica de vermicompostaje con la lombriz *Eisenia fetida*.

Palabras clave – Valorización de residuos sólidos, abono, *Eisenia fetida*, bioensayo.

Abstract

Leather manufacturing generates solid waste that can end up in landfills; however, this waste, due to its high protein content, can be valorized despite containing chemical substances in its composition. This study evaluated the ecotoxicity of solid waste obtained from the bovine tanning process to determine its application as fertilizer. A toxicity test with different concentrations of waste exposure was conducted. Four types of waste from the leather manufacturing process were used: fleshings, wet blue, dyed, retan and fatliquoring (RTE), and finishing waste. These wastes were evaluated in a mixture with mature compost using the test organism *Eisenia fetida*. Mortality was assessed, and the resulting humus was characterized to determine its potential use as fertilizer. The study concluded that as the number of individual processes increased, the worms showed greater tolerance to the waste, and the use of the obtained humus would be feasible, provided that organic substances are added to improve its properties. This research demonstrates that it is possible to utilize the solid waste from the leather manufacturing process as fertilizer through vermicomposting with the worm *Eisenia fetida*.

Keywords: Solid waste valorization, fertilizer, *Eisenia fetida*, bioassay.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	v
Abstract	vi
Introducción	x
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Descripción del problema de investigación	1
1.3 Objetivos del estudio	2
1.3.1 Objetivo general	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	2
1.4 Antecedentes investigativos	3
Capítulo II. Marco teórico	6
2.1 Bases Teóricas.....	6
2.2 Términos básicos.....	20
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación	21
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados	52
Conclusiones	75
Recomendaciones	76
Referencias bibliográficas	77
Anexos	89

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Diseño experimental de las pruebas ecotoxicológicas.	25
Tabla 2: Parámetros de caracterización.....	28
Tabla 3: Metodologías utilizadas para el análisis de suelo.....	29
Tabla 4: Materiales de recolección de las muestras.....	30
Tabla 5: Cantidad de agua necesaria para añadir en cada concentración del bioensayo.	33
Tabla 6: Mortalidad de los datos expresada en unidades probit.....	34
Tabla 7: Tabla para un Bioensayo W, para la determinación del CL50 eje X log ₁₀ concentración valores en Y valores probit.	35
Tabla 8: Cantidad de lombrices por cada contenedor de plástico y por cada semana Bioensayo 1 (descarne).	38
Tabla 9: Cantidad de lombrices por cada contenedor de plástico y por cada semana Bioensayo 2 (wet blue).	39
Tabla 10: Tabla resumen de la variación del CL5, CL10 y CL50 para el Bioensayo 2 (wet blue) por semana.....	41
Tabla 11: Cantidad de lombrices por cada contenedor de plástico y por cada semana Bioensayo 3.1 (RTE).....	43
Tabla 12: Cantidad de lombrices por cada contenedor de plástico y por cada semana Bioensayo 3.2 (RTE).....	44
Tabla 13: Cantidad de lombrices por cada contenedor de plástico y por cada semana Bioensayo 4.1 (acabado).	46
Tabla 14: Variación del CL5, CL10 y CL50 para el Bioensayo 4.1 (acabado).	48
Tabla 15: Cantidad de lombrices por cada contenedor de plástico y por cada semana, Bioensayo 4.2 (acabado).	51
Tabla 16: Análisis de suelo bioensayo 1 (descarne) concentración 0.04 (g _{residuo} /g _{sustrato})	59
Tabla 17: Análisis de suelo bioensayo 2 (wet blue).....	60
Tabla 18: Análisis de suelo bioensayo 3.1 (RTE) y bioensayo 3.2 (RTE).....	62
Tabla 19: Análisis de suelo bioensayo 4.1 (acabado) y bioensayo 4.2 (acabado).....	64

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Diagrama del proceso de fabricación del cuero.	11
Figura 2: Diagrama de secuencia de la ejecución del trabajo de investigación	23
Figura 3: Residuos sólidos de acabado utilizados en los bioensayos.	25
Figura 4: Preparación de los bioensayos con residuo de descarte, acabado y RTE.	26
Figura 5: Ejecución del conteo manual de lombrices para el bioensayo con residuos de RTE.	27
Figura 6: Curva formada por los valores probit y el log 10 de la concentración.....	36
Figura 7: Gráfica de dosis respuesta Bioensayo 2 (wet blue), para la semana cuatro, ocho y doce	40
Figura 8: Gráficas de Variación del CL50 para el Bioensayo 2 (wet blue).	41
Figura 9: Gráficas de Variación del CL5 y CL10 para el Bioensayo 2 (wet blue).....	42
Figura 10: Gráficos dosis respuesta Bioensayo 4.1 (acabado), para la semana cuatro, ocho y doce	47
Figura 11: Gráficas de Variación de la concentración letal media Bioensayo 4.1 (acabado) de CL50.....	48
Figura 12: Gráficas de Variación de la concentración letal 5 y 10 (CL5 y CL10), Bioensayo 4.1 (acabado).	49
Figura 13: Gráficas de variación de la concentración letal 50 (CL50), Bioensayo 2 (wet blue) y Bioensayo 4.1 (ACB).	50
Figura 14: Muestras de cuero utilizadas en el bioensayo 3.1 (RTE) (a la izquierda) y bioensayo 4.1 (acabado) (a la derecha).....	56
Figura 15: Muestras de Recurtido Teñido y Engrase utilizados en los bioensayos	56
Figura 16: Gráfica comparativa de la mortalidad en la semana 12 de los bioensayos: acabado 4.2, RTE 3.1 y RTE 3.2.....	57
Figura 17: Espectro FTIR del Bioensayo 1 (descarte).....	68
Figura 18: Gráfica FTIR para el Bioensayo 2 (wet blue).....	69
Figura 19: Valores de porcentaje de mortalidad en el bioensayo 2 (wet blue).....	70
Figura 20: Gráfica FTIR para el bioensayo 3.1 (RTE).	71
Figura 21: Gráfica FTIR para el bioensayo 4.1 (acabado).....	72

Introducción

La actividad industrial, producto de sus procesos genera una diversa cantidad de residuos sólidos, muchos de ellos son contaminantes, siendo muchas veces muy difícil su tratamiento, no es la excepción la industria del cuero. Existen cerca de 9000 curtiembres alrededor del mundo, generando residuos sólidos y líquidos. Se ha establecido que por cada 1000kg de piel animal se producen 200 kg de cuero, siendo el resto eliminado como residuos, lo cual, si no es gestionado adecuadamente puede dar lugar a la contaminación ambiental (Muralidharan, 2022).

Ante esta gran cantidad de residuos generados, lo que usualmente se hace en el país es la disposición final de estos, ya sea en un botadero o un relleno sanitario; sin embargo, existen diversas alternativas de manejo de estos residuos, y es importante considerar la valorización de residuos sólidos como alternativa, en este sentido el tratamiento biológico, por ejemplo, mediante vermicompostaje, es una tecnología para el reaprovechamiento del colágeno presente en estos residuos. Sin embargo, para aplicar el vermicompostaje, primero, es importante establecer el nivel de tolerancia de estos organismos a los residuos mediante ensayos de toxicidad o bioensayos.

Los bioensayos son pruebas donde los organismos vivos, en condiciones de laboratorio, se exponen a diferentes concentraciones de una sustancia tóxica, con el fin de permitir ver el efecto químico de los contaminantes en los organismos vivos (Kohlmann et al., 2018).

En este trabajo, se realizó la evaluación de la ecotoxicidad de los residuos sólidos obtenidos de la línea del proceso de curtición bovina en un bioensayo utilizando como organismo indicador la *Eisenia fétida*, comúnmente conocida como lombriz roja californiana. Para ello, se realizó la recolección de cuatro residuos sólidos de la línea de proceso de curtición bovina, residuos de descarte; curtido; recurtido, teñido y engrase (RTE); y del proceso de acabado.

Estos residuos fueron mezclados individualmente junto con compost maduro y fueron expuestos al organismo de prueba, con el fin de evaluar la mortalidad y poder determinar su concentración letal media (CL50) como parámetro de toxicidad. Si se puede explicar o definir el nivel de ecotoxicidad observado en los residuos de la línea de proceso de curtición bovina será posible determinar su potencial como abono, obteniéndose no solo una herramienta de gestión de residuos, sino también una oportunidad de negocio que impulsaría la economía general en beneficio de la industria del cuero.

Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

El sector curtiembre afronta una serie de desafíos en relación con la gestión de sus aspectos ambientales, pudiendo, en el caso de los residuos sólidos, no solo aplicar la disposición final como alternativa de gestión, sino también la valorización, por el alto contenido de colágeno de estos residuos. La importancia de la presente investigación radica en que es el punto de partida para evaluar la valorización de residuos sólidos obtenidos de la línea del proceso de curtición bovina mediante un tratamiento biológico.

Por otro lado, este estudio contribuiría a los siguientes objetivos de acuerdo con la agenda para el desarrollo sostenible 2030: trabajo decente y crecimiento económico (8), industria, innovación e infraestructuras (9), ciudades y comunidades sostenibles (11), producción y consumo responsables (12), acción por el clima (13) y alianzas para lograr los objetivos (17).

1.2 Descripción del problema de investigación

La generación de residuos no es ajena a ninguna industria o actividad. La inmensa cantidad de procesos e insumos químicos necesarios para la fabricación de cuero, producen, una enorme cantidad y variedad de residuos sólidos, como los residuos procedentes de las operaciones de lijado, descarnado, pelambre y los desperdicios del corte del cuero (Ramamoorthy et. al, 1989).

La industria de la curtiembre, aunque se caracteriza por ser una industria contaminante (Martínez Buitrago & Romero Coca, 2017), en realidad, contribuye a cerrar el ciclo de consumo de recursos, utilizando como materia prima lo que es un residuo para la industria cárnica, que, de otro modo, probablemente, hubiera acabado en un botadero o un relleno sanitario. Estas pieles se caracterizan por su alto contenido de colágeno, materia prima de alto valor para otras

industrias. No obstante, los procesos de fabricación del cuero adicionan productos químicos, que dificultan el aprovechamiento de estos residuos

En este contexto, aunque la Ley N° 1278 (Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos), priorice disminuir la generación de residuos, esto tiene su límite, por lo tanto, la valorización es un tema fundamental para ser investigado y plantear soluciones viables en el contexto de este sector productivo. Una de estas soluciones es el tratamiento biológico de los residuos con la lombriz *Eisenia fetida* (vermicompostaje) lo que permitiría recuperarlos y convertirlos en aptos para su aplicación como abono. En nuestro país no se ha profundizado en el estudio de estas alternativas como opciones de valorización, los residuos generalmente son dispuestos sin una gestión adecuada, pudiendo contaminar el suelo y sus alrededores. Ante ello se formula la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es el nivel de toxicidad de los residuos obtenidos de la línea del proceso de curtición bovina en la *Eisenia fetida* para su potencial aplicación como abono?

1.3 Objetivos del estudio

1.3.1 Objetivo general

- ∅ Evaluar la ecotoxicidad de los residuos sólidos obtenidos de la línea del proceso de curtición bovina en la *Eisenia fétida*, como organismo de prueba, para su potencial aplicación como abono.

1.3.2 Objetivos específicos

- ∅ Realizar los ensayos de ecotoxicidad con los residuos sólidos de las operaciones identificadas en la *Eisenia fetida*.
- ∅ Determinar los parámetros ecotoxicológicos para cada uno de los residuos sólidos de las operaciones identificadas.

- ⌘ Caracterizar el producto de la humificación de los residuos para determinar su potencial como abono.

1.4 Antecedentes investigativos

Buleje et. al, en el 2019, en Perú, realizaron un trabajo de investigación donde se determinó la concentración tolerante de las lombrices (*Eisenia fetida*) a los residuos de cuero, para evaluar la potencialidad de la degradación de estos residuos mediante un tratamiento biológico. Con este objetivo se elaboró un ensayo de toxicidad en el que se mezcló, en contenedores de plástico, compost en diferentes concentraciones con residuos sólidos provenientes del proceso de curtido de cuero (residuos de cuero wet blue) y se inoculó lombrices. El estudio determinó la concentración tolerante de la *Eisenia fetida*, igual a 0.04 gramos de residuo por gramos de compost, que corresponde a una concentración de cromo aproximada de 951 mg/kg.

Oliveira et. al, en el 2018, en Brasil, realizaron un estudio cuyo objeto fue determinar parámetros ecotoxicológicos para el biomonitoreo de riesgo ambiental en suelos, de un área donde se encontraba una industria de cerámica que contenía contaminantes cadmio (Cd) y cromo (Cr) usando la lombriz *Eisenia fétida*. Se utilizó a la *Eisenia fetida* para medir la bioacumulación de metales pesados en un suelo contaminado con un tiempo de exposición de 56 días. Los resultados demostraron que las lombrices retuvieron en 6.25% de suelo contaminado y mostraron un aumento de peso. La bioacumulación de Cd y Cr se asoció con una significativa disminución en la cantidad de Cd y Cr en el suelo, Oliveira et. al concluyen que la *Eisenia fétida*, bajo condiciones de baja exposición a Cd y Cr, presentan aumento de peso y mantienen patrones normales de comportamiento y morfología. Con ello, se puede decir que la lombriz *Eisenia fetida* parece ser un biomarcador sensible y una herramienta efectiva para biomonitoreo.

Sforzini et. al, en el 2017, en Italia, buscaron determinar los efectos y modo de acción del cromo (VI) en la lombriz *Eisenia andrei*, para ello se realizó un ensayo donde se expuso a este contaminante a diferentes concentraciones de cromo (VI) (2, 15, 30 $\mu\text{g}/\text{mL}^{-1}$), usando la prueba de toxicidad de papel de contacto. Se investigó de manera intracelular las Especies Reactivas de Oxígeno (ROS), la producción de lipoperoxido, el daño al ADN oxidativo, y efectos en las diferentes funciones de la célula. Del ensayo se obtuvo que el cromo (VI) presentó reacciones adversas, como el incremento de los niveles de ROS intracelulares, condiciones de estrés en la membrana de lipo peroxidativa y daño en el ADN, se observó que con el incremento de la dosis y tiempo de exposición, el estado fisiológico y organelos intracelulares mostraron deterioro, Sforzini et. al concluyen que con los parámetros evaluados de diagnóstico de estrés y de la estabilidad de la membrana lisosómica y el biomarcador usado son apropiados para pronosticar la salud de las lombrices de tierra.

Di Carlo et. al, en el 2020, en Irlanda, buscó inocular con lombrices un suelo que contenía residuos de bauxita, que presenta elevado contenido de sodio y elevadas concentraciones de elementos traza. Se expuso a la lombriz *Eisenia fetida* por 28 días a diferentes tratamientos de residuo de bauxita/ suelo (0, 10, 25, 35, 50, 75 y 100% de residuo) para evaluar los efectos tóxicos en estos organismos, también se investigó la biodisponibilidad de elementos como cromo (Cr), arsénico (As) y vanadio (V), y se evaluó el riesgo de la transferencia de elementos. Los resultados mostraron que las lombrices expuestas a un suelo con $\geq 25\%$ residuo ($\text{pH} \geq 9.8$; $\% \text{Na}$ de intercambio $\geq 18.5\%$; Na extractable ≥ 1122 mg/kilogramo) fueron significativamente impactados (mortalidad $\geq 28\%$ e inhibición de la producción de cócón $\geq 76\%$). La alcalinidad, sodicidad y biodisponibilidad del sodio fueron identificados como mayores factores de toxicidad y se presentó también estrés osmótico. Para el suelo con 10% de residuo ($\text{pH} = 9.1$; $\% \text{ de sodio de intercambio} = 9.2\%$; sodio extractable = 472 mg/kilogramo) no se obtuvo toxicidad significativa para los organismos, pero el análisis con un biomarcador (superóxido dismutasa y catalasa) mostró estrés oxidativo. En el caso del

suelo que contenía $\geq 10\%$ de residuo se observó una acumulación y concentraciones elevadas de cromo, aluminio, arsénico y vanadio en comparación a las lombrices del control. Di Carlo et al. concluye que la inoculación con *Eisenia fétida* podría ser usada en futuros programas de rehabilitación para cuando los parámetros responsables de la toxicidad se reduzcan por debajo de los valores objetivo específico (es decir, pH = 9.1, %sodio de intercambio = 18.5% y sodio extractable = 1122 mg/kilogramo para la *Eisenia fétida*), esto a fin de prevenir que las lombrices tomen elevadas concentraciones de ciertos elementos (como el arsénico y vanadio) que podrían ser un riesgo potencial en la cadena alimenticia.

Capítulo II. Marco teórico

2.1 Bases Teóricas

2.1.1 *Proceso de producción del cuero*

Es un antiguo proceso perteneciente al sector de manufactura, un amplio rango de bienes se produce en base al cuero, tales como los zapatos, bolsas, billeteras, entre otros. El material crudo que se usa en la industria de cuero proviene del desecho de la industria de producción de carnes. El cuero es uno de los productos más comercializados del mundo y son producidos a partir de una fuente renovable, esta industria presenta aproximadamente ganancias mayores a 80 billones de dólares al año y se espera que esta cifra siga creciendo por el incremento de la población y urbanización de los países (Sivaram & Barik, 2019).

2.1.2 *Proceso de remojo*

En este proceso las pieles son rehumectadas y lavadas a fin de remover suciedad, algunos materiales grasos y proteínas solubles, los productos que típicamente son utilizados en el proceso de remojo es el carbonato de sodio, óxido de magnesio, enzimas, bactericidas, agentes humectantes y emulsionantes (Zugno, 2022).

2.1.3 *Proceso de pelambre*

En este proceso se busca depilar la piel y eliminar completamente el material de queratina tales como pelos, raíces de pelo y epidermis. Posteriormente se realiza el encalado de la piel con el objeto de hincharla de forma homogénea y así prepararla para el curtido, de forma simultánea se remueven albúminas, muco-polisacáridos y grasas. Este proceso genera una fuerte carga contaminante por materia orgánica, sulfuros y cal, además se consume altos volúmenes de agua en los procesos de lavado y acondicionamiento de las pieles, que se dan de forma posterior a la etapa inicial del pelambrado (Guzmán Ordóñez & Luján Pérez, 2010).

2.1.4 Proceso de desencalado

Tiene como propósito preparar las pieles física y químicamente para el curtido, en esta operación se trata de eliminar o neutralizar la alcalinidad. Se busca que la piel esté libre de sustancias químicas y orgánicas que no sean fibras colágenas. En general se utilizarán elementos como el agua por su gran poder de solubilidad y productos que disminuyan la alcalinidad como sales ácidas y ácidos. El proceso se basa en solubilizar el hidróxido de calcio absorbido por la piel, transformándolos en sales solubles de calcio mediante la adición de productos químicos (Melgar, 2000).

2.1.5 Proceso de descarnado

Es un proceso mecánico cuyo fin es el de remover las grasas adheridas al tejido, además elimina la grasa adiposa y abre el cuero o piel permitiendo una mejor reactividad durante los siguientes procesos (Melgar, 2000).

El peso inicial de las pieles está conformado por un 20 a 35% de descarnes, cabe destacar que los residuos del descarnado pueden ocasionar efectos desfavorables al medio ambiente tales como malos olores, emisión de sulfuros, amoníaco y otros solventes, además de proliferación de insectos, roedores y de aves de rapiña, que pueden provocar enfermedades dermatológicas, intestinales e incluso de tipo respiratorio (Peñates F. et al., 2017).

2.1.6 Proceso de dividido

Es una operación mecánica que sirve para separar horizontalmente el cuero en dos capas: flor y carnaza/descarne/ serraje, el lado flor es el más utilizado, para cueros flor entera. El lado carne se puede terminar o utilizar para cueros tipo gamuza (Zugno, 2022).

2.1.7 Proceso de purga o rendido

Tiene por objeto eliminar de la piel los componentes proteínicos no susceptibles de curtición mediante la acción de enzimas. El resultado de este proceso es una piel con un tacto

más suave, esto se debe a un aflojamiento y a una ligera degradación de la estructura del colágeno; además, proporciona una completa limpieza de flor eliminando restos de epidermis, proteínas interfibrilares, degradación del músculo erector del pelo y de la elastina (Melgar, 2000).

2.1.8 Proceso de piquelado

Tiene como objetivo el acondicionamiento de la piel para el curtido e interrumpir la acción de las enzimas sobre el colágeno. Se realiza bajo un tratamiento ácido en soluciones salinas. El piquelado puede llevarse a cabo en total, en este se emplea cantidades desde un 40% a un 100% de agua (relación en base a peso tripa) (Melgar, 2000).

2.1.9 Proceso de curtido

El curtido consiste en evitar que las proteínas de la piel se pudran. El efecto que tiene en el cuero es que al secarse no se hace duro como piedra, sino poroso y flexible. Esto se lleva a cabo mediante una estabilización de proteínas, al conjunto de estas sustancias que generan estabilización, se les puede llamar curtientes (Melgar, 2000).

Se tiene una gran variedad de curtientes, entre los cuales se encuentran los de origen vegetal (taninos) y mineral (cromo). El que mayormente se emplea es el cromo III, que se presenta como sulfato básico de cromo (Duque, 2019).

El sulfato básico de cromo tiene una alta eficiencia respecto a los agentes vegetales de curtición; sin embargo, el cromo no se fija completamente en la piel bovina, por lo que los remanentes son desechados como efluentes (Pilco et al., 2018).

2.1.10 Proceso de rebajado

Esta es una operación mecánica y tiene como objetivo dar uniformidad al espesor del cuero y eliminar el excedente de cuero por el lado carne (Zugno, 2022).

2.1.11 Proceso de recurtido, teñido y engrase (RTE)

En el proceso de recurtido se añaden químicos para ligar la estructura del cuero, dando características de llenura, forma, color uniforme, flexibilidad, suavidad y soporte. Productos fenólicos, naftalénicos, son ampliamente utilizados, también soluciones acrílicas, extractos vegetales naturales, también pueden utilizarse sales metálicas (Zugno, 2022).

En el proceso de teñido se adicionan colorantes con el fin de dar color y uniformidad del mismo cuero. Los colorantes empleados son mayormente colorantes ácidos y de complejos metálicos. El teñido puede ser superficial o atravesado en todo el espesor (Zugno, 2022).

Finalmente, en el engrase son añadidas emulsiones de aceites a fin de mejorar la suavidad y las propiedades mecánicas. Frecuentemente se utiliza una mezcla de distintos productos con la finalidad de lograr las propiedades requeridas. Los aceites pueden ser de origen vegetal, animal o sintéticos (Zugno, 2022).

2.1.12 Proceso de acabado

El proceso de acabado añade al cuero protección, color, brillo, textura, tacto y apariencia, consta de tres pasos principales: El pulido o lijado, engrasado y encerado y recubrimientos (Zugno, 2022).

El pulido o lijado consiste en pulir con diferentes grados de lija, a fin de crear diversas texturas en la superficie. El nivel de lijado puede ser suave o profundo, el lijado suave consiste en utilizar una lija fina que reduce imperfecciones superficiales, en cambio en el lijado profundo el grano grueso produce un efecto “terciopelo”, como el que encontramos en nubucks y gamuzas (Zugno, 2022).

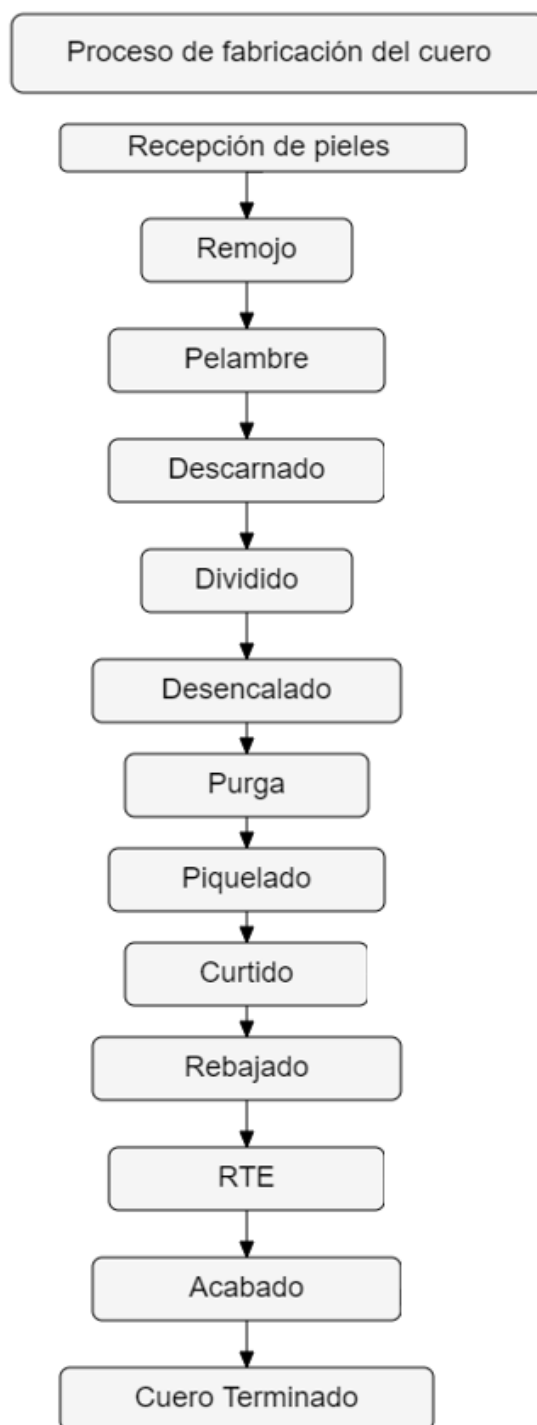
En el caso del engrasado y encerado, se aplican aceites en forma individual o combinada. Comúnmente se aplican en caliente, por uno o ambos lados del cuero con una

máquina de rodillos. Los aceites y ceras mejoran al cuero en su suavidad, color, tacto y en los efectos de realzado y repelencia al agua (Zugno, 2022).

Finalmente, el recubrimiento, los cueros pueden poseer uno o varios recubrimientos, la mayoría de las veces los recubrimientos forman una película, comúnmente, los cueros llevan una capa base de pigmento, una capa intermedia y una capa transparente en la superficie. Los acabados son aplicados por medio de aspersion (pistolas), también por máquinas de rodillos, generalmente los acabados se logran con aglutinantes o ligantes (Zugno, 2022).

Figura 1

Diagrama del proceso de fabricación del cuero.



Nota: fuente Aguaysa (2013)

2.1.13 Residuos sólidos generados en el proceso de curtiembre

2.1.13.1 Residuos de pelo del proceso de curtición

El residuo de pelo proveniente del proceso de curtido se utiliza por su alto contenido en queratina y puede ser aplicado en diferentes biomateriales como hidrogeles, esponjas y materiales compuestos aplicados en el campo de la biomedicina, también ha sido aplicada como bioadsorbente y para adsorber y remover iones metálicos y compuestos orgánicos como tintes, cobre (II), cobalto (II), níquel (II), plomo (II) y cromo (VI) (Shaw et al., 2022).

2.1.13.2 Residuos de piel del proceso de curtición

Se utiliza los restos de piel para obtener colágeno y gelatina, estos pueden ser utilizados en biomedicina y cosmética. Masilamani et al. prepararon empaques biodegradables usando gelatina (gel), extraída con ácido acético de retazos de piel cruda bovina. Por otro lado, se ha utilizado colágeno en cosmética y en la industria de limpieza, por ejemplo, Mendrycka et al. produjo emulsiones que contienen diferentes concentraciones de colágeno e hidrolizados extraídos por hidrolisis alcalina e hidrolisis enzimática de pieles de ternera (Shaw et al., 2022).

2.1.13.3 Residuos del proceso de descarte

Los residuos del proceso de descarte contienen alrededor de 87% de agua, 4 a 6% de proteína y de 1 a 2% de grasas. Los residuos de descarte se utilizan para extraer aceites y grasas, producir biocombustible y preparar engrasantes para cuero (para añadir flexibilidad y suavidad al cuero). Además, los residuos de descarte pueden ser utilizados para producir biodiesel, esto mediante digestión anaerobia. Ma et al. preparó un diesel etanol emulsificado usando ésteres metílicos de ácidos grasos de residuos de descarte (Shaw et al., 2022).

2.1.13.4 Residuos del proceso de acabado

Los residuos de cuero acabado son principalmente zapatos, bolsas y productos terminados, siendo estos los más voluminosos de la industria del cuero. Debido a la dificultad de disposición, la mayoría de estos residuos son directamente descartados sin un tratamiento apropiado. A fin de solucionar este problema se pueden plantear métodos de reciclaje viables económicamente (Li et al., 2019).

2.1.14 Herramientas ecotoxicológicas: Bioensayos

Las pruebas de toxicidad o bioensayos pueden definirse como los test donde los organismos vivos, bajo condiciones de laboratorio, se exponen a diferentes concentraciones de una sustancia tóxica. Todos estos test permiten estudiar el efecto químico de los contaminantes en los diferentes grupos taxonómicos, estableciendo relaciones entre la concentración y el efecto, y es de gran utilidad para evaluaciones de riesgo por contaminantes químicos (Kohlmann et al., 2018).

Los efectos pueden ser evaluados en términos de respuestas letales (mortalidad) toxicidad aguda (por ejemplo, comportamiento de fertilización y/o crecimiento) y toxicidad crónica. (Kohlmann et al., 2018).

Las pruebas de toxicidad aguda son una herramienta muy útil y son utilizados como indicadores de calidad ambiental, porque los efectos en organismos de una sustancia en particular pueden variar considerablemente de una especie a otra, dependiendo de las diferencias metabólicas y la naturaleza de su hábitat (Kohlmann et al., 2018).

2.1.15 Pruebas estadísticas utilizadas en evaluaciones ecotoxicológicas

Las pruebas estadísticas son de suma relevancia a la hora de analizar parámetros ecotoxicológicos, una de las pruebas ampliamente aplicadas en el campo de la ecotoxicología es la prueba ANOVA (Analysis of Variance, análisis de varianza en español), que es una

herramienta estadística utilizada para determinar la influencia que tienen las variables dependientes e independientes en un estudio de regresión. Además, la prueba ANOVA permite la comparación de dos o más grupos al mismo tiempo para determinar si hay una relación entre ellos (Kenton, 2021).

Otro tipo de prueba estadística utilizada es el análisis Probit, este es un método de análisis de la relación entre un estímulo y la proporción de casos que presentan una reacción a este estímulo, se utiliza para cuando se tiene una respuesta dicotómica que se cree puede estar influenciada o causada por los niveles de alguna o algunas variables independientes (IBM, 2021).

2.1.16 Vermicompostaje

Se le denomina así al proceso de compostar mediante el uso de lombrices y microorganismos. Este proceso finaliza con la estabilización de la materia orgánica (de igual manera al compost maduro), en este caso son las lombrices con apoyo de microorganismos quienes realizan el proceso de compostaje. En el proceso de vermicompostaje, los minerales insolubles se solubilizan y se encuentran disponibles para las plantas al aplicarse en el suelo. Además, otros compuestos orgánicos (celulosa) se degradan parcialmente a compuestos simplificados, esto por la acción de las bacterias presentes en el tracto digestivo de la lombriz (FAO, 2015). Es usual el uso de lombrices epigeas, como la *Eisenia fetida*, para procesar y convertir residuos orgánicos en biofertilizantes (Galanakis, 2017).

El vermicompost, al igual que el compost, mejora la estructura de suelo, incrementa la retención de agua, brinda microorganismos benéficos, también enzimas y otros metabolitos que intervienen en la transformación de la materia orgánica (FAO, 2015).

2.1.17 Humus y humificación

El Humus es considerado una de las formas más abundantes de materia orgánica que se encuentran sobre la tierra (Anderson, 1979), consiste en una compleja mezcla de diversos compuestos de difícil definición, que tienen la característica de presentar pesos moleculares de 7000 a 300,000 g/mol. Se conoce muy poco sobre la estructura y reactividad de las sustancias, esto debido a su gran heterogeneidad química (García et. al, 2018).

La humificación es el proceso de formación de sustancias húmicas (materia orgánica que se encuentra en estado de madurez) (Romeo, 2014).

2.1.18 Experiencias de vermicompostaje de residuos de cuero

En un estudio de Nunes et al., en el 2016, se realizó vermicompostaje como un método alternativo de tratamiento de los residuos sólidos del proceso de curtición, se utilizó como organismo de prueba a la *Eisenia fetida*, se tuvo como residuo a tratar a los residuos de cuero wet blue. Durante el proceso de vermicompostaje, se colectó una muestra de 1 litro de cada una de las vermicompostadoras y se realizaron 3 réplicas. Las muestras fueron testeadas en 0, 15, 30, 45, 60, 90 y 135 días. El material fue aireado, seguido por la maceración y tamizado a través de mallas. Se midieron parámetros como materia orgánica (MO), potencial de hidrógeno (pH), carbón orgánico total (COT), capacidad de intercambio catiónico (CIC), relación carbono nitrógeno (C:N), y cromo (III) y cromo (VI).

Los resultados demostraron que el vermicompostaje es una alternativa de tratamiento de residuos de la industria de curtiembre, también que durante el vermicompostaje con la lombriz *Eisenia fetida*, esta mostró un incremento en el peso y en la longitud. Los parámetros pH, COT, MO y C:N, mostraron una disminución de concentraciones durante el proceso, mientras que la CIC mostró un incremento significativo, estas tendencias muestran la eficiencia del vermicompostaje como un método tratamiento de los residuos sólidos del proceso de curtición (Nunes et al., 2016).

En otra experiencia, residuos de descarte generados en el proceso de curtiembre fueron vermicompostados usando la lombriz *Eisenia fetida*, el vermicompostaje se realizó por 50 días, después se inocularon 50 lombrices en recipientes de plástico, la humedad fue de 60-80% y no se añadió alimento adicional durante el periodo de estudio. Entre los parámetros analizados en el periodo de estudio, se tiene al pH, nitrógeno Kjeldhal total (NKT), carbono orgánico total (COT), fósforo total (FT) y el ratio carbono nitrógeno (C:N). El vermicompostaje produjo la reducción del pH de 7.7 a pH 6.74 y la relación C:N de 30.6 a 15.5, todo esto en comparación con la muestra control. También se observó un incremento notable en la biomasa de las lombrices. Los resultados del estudio mostraron que la lombriz *Eisenia fetida* fue capaz de convertir los residuos de descarte en nutrientes para el suelo (Ravindran et al., 2008).

Abdulla Al Mamun en el 2023, evaluó el vermicompostaje de residuos de rebajado y residuos de encalado, a través de una mezcla con estiércol usando la lombriz *Eisenia fetida*, con el objeto de darle un uso sustentable en agricultura. Después de 30 y 40 días la *Eisenia fetida* fue inoculada, por un periodo de 90 días. Los parámetros analizados fueron: pH, carbono total orgánico (CTO), nitrógeno kjeldahl total (NKT), la relación C:N, potasio total (PT) y fósforo total (FT). Las lecturas fueron tomadas a los 0, 30, 60 y 90 días respectivamente. El vermicompostaje mostró resultados significativos en reducción de los parámetros pH, CTO y una reducción en 9 veces de la relación C:N. Por otra parte, se encontró un incremento en los parámetros NKT y FT. Los resultados indican que la *Eisenia fetida* fue capaz de convertir los residuos de rebajado y de encalado en nutrientes para el suelo que pueden ser utilizados como fertilizantes. El vermicompostaje se aplicó en las plantaciones y se investigó el efecto de la acumulación de metales pesados en las plantas para lograr un crecimiento vegetal (Abdulla-Al-Mamun, 2023).

2.1.19 Las lombrices como organismos utilizados en pruebas ecotoxicológicas

Uno de los organismos utilizados en pruebas ecotoxicológicas son las lombrices, estas son consideradas las ingenieras del ecosistema, son organismos que directa o de forma

indirecta afectan la disponibilidad de recursos a otros organismos causando cambios físicos en componentes bióticos o abióticos de un ecosistema (Tucker, 2017).

Las lombrices pueden dividirse en cuatro categorías: epigeas¹, epianecic, anécicas, y endógenas. Las especies epígeas son pequeñas y viven en el horizonte O y horizonte A del suelo. Ellos se alimentan primariamente de las hojarascas y estiércol, por otro lado, las lombrices epianecic y las anécicas son largas y forman madrigueras verticales en el suelo. Ellos extraen material del horizonte orgánico hacia sus madrigueras, que pueden alcanzar una profundidad de casi dos metros. La principal diferencia entre las lombrices epianecic y anécicas es la sensibilidad de las lombrices anécicas a la acidez. Finalmente, las lombrices endógenas presentan un tamaño intermedio entre las especies anécicas y epigeas y viven en horizontes del suelo más bajos y se alimentan de suelo enriquecido con materia orgánica, moviéndose de manera horizontal a través del suelo (Tucker, 2017).

Las lombrices han sido usadas en la medicina tradicional china por miles de años, 500 años atrás las lombrices fueron descritas como un “dragón de la tierra” en el famoso libro médico “Compendio de Materiales”, en el cual fue recetada como un antipirético y diurético, así como también como para el tratamiento de la ictericia. Estudios a gran escala fueron desarrollados a partir de lombrices de tierra. Mihara et al. aisló un grupo de proteasas de lombrices e isoenzimas y ocho proteasas de la lombriz de tierra *Eisenia fetida* (Zhou & He, 2013).

Lombrices como la *Eisenia fetida* y la *Eisenia andrei* son utilizadas mayormente en el vermicompostaje porque ambas son peregrinas y ubicuas con una distribución en el mundo entero, resilientes, y poseen una gran termotolerancia (Sharma & Garg, 2018).

¹ Las Lombrices *Eisenia fetida* pertenecen a la categoría de epigeas.

La lombriz *Eisenia fetida* es usada para compostar materiales orgánicos como el estiércol de cerdo y ganado desechos agrícolas y de jardín y desechos de alimentos como los de una cafetería, restaurante y tiendas de comestibles (Scanes, 2018).

2.1.20 Mecanismo interno de las lombrices durante la degradación de los residuos del proceso de curtición bovina

Las lombrices de tierra como la *Eisenia fetida*, pueden sobrevivir en suelos contaminados con metales. Además, estas lombrices pueden eliminar metales pesados de residuos orgánicos. Investigaciones recientes han indicado que diferentes metales pesados como cadmio, cobre, zinc y plomo; son bioacumulados en el interior del cuerpo de las lombrices. El cuerpo interno de las lombrices de tierra contiene proteínas de enlaces metálicos llamadas metalotioneínas (MTs) y su peso molecular es de alrededor de 6-7kDa. Estas proteínas se encuentran en los tejidos cloragógenos internos de las lombrices. Las metalotioneínas (MTs) pueden estimular el proceso de detoxificación de metales. En última instancia, las proteínas MTs pueden unirse a muchos iones de metales pesados como el cobre $2+$, zinc $2+$, y manganeso $2+$ (Yuvaraj et al., 2020).

De acuerdo con los reportes ecotoxicológicos, se sabe bien que las lombrices estimulan el proceso de mineralización y también consumen metales tóxicos. Los posibles mecanismos para la reducción de metales pesados en los sistemas de vermiestabilización son los siguientes (Yuvaraj et al., 2020):

- (1) Bioacumulación de metales pesados en el interior del cuerpo de las lombrices.
- (2) Conversión en fracción soluble de metales pesados durante el proceso de vermiestabilización.

Hobbelen et al. (2006) concluye que las formas solubles de sustancias químicas pueden ser fácilmente bioacumuladas en el interior de las lombrices. Por otra parte, muchos factores pueden alterar el proceso de bioacumulación de metales. Por ejemplo, el pH de los sustratos, así como también la presencia de sustancias orgánicas pueden modificar el proceso de entrada de metales pesados como (cadmio y plomo), (Peijnenburg, 2002). Además, parámetros químicos de los sustratos pueden también ser regulados por el proceso de bioacumulación de metales.

Recientemente Coelho et. al (2018), reportó que diferentes cantidades de metales pesados (mg kg^{-1}) como el cobre (0.80), níquel (1.24), plomo (0.20) y zinc (5.27) fueron bioacumulados en interior de la lombriz *Eisenia fetida* (Yuvaraj et al., 2020).

Las lombrices bioacumulan zinc (Zn) de los sustratos, que pueden regular la respiración y el crecimiento de sus tejidos. Además, las lombrices tienen diferentes mecanismos de bioacumulación, se debe mencionar que el contenido total de metales en las lombrices y el sustrato se evalúan usando dos factores: Factor de Bioconcentración (FBC), donde los iones metálicos ingresan a través de la superficie de la piel y el Factor de Bioacumulación (FBA) ocurre por vía dérmica, inhalación, alimentación y absorción. Ciertos factores (por ejemplo, la presencia de materiales orgánicos y grupos quelantes) pueden alterar los procesos FBC/FBA (Yuvaraj et al., 2020).

Stürzenbaum et al. (2001) identificó isoformas de metalotioneínas (MT) en lombrices *L. rubellus* maduras usando la técnica PCR cuantitativa isoforma-específica. Las metalotioneínas (MT) es una de las únicas proteínas enlaza-metales con un alto contenido de cisteína (Bhattacharya and Kim, 2016). Además, las proteínas MT tienen grupos tiol específicos los cuales pueden enlazar metales esenciales y no esenciales (Amiard et al., 2006), lo cual favorece la formación de complejos organometálicos (Nannoni et al., 2011) (Yuvaraj et al., 2020).

Las lombrices tienen otras enzimas como las fototriesterasas que degradan varios contaminantes tóxicos. Estas enzimas fueron aisladas de las lombrices *Eisenia andrei* por Sik lee et al. (2001). Por otro lado, las enzimas carboxilesterasa se encontraron en la pared de los músculos de la lombriz *Lumbricus terrestris* que pueden detoxificar los pesticidas aplicados en los campos agrícolas (Sanchez-Hernandez and Wheelock, 2009) (Yuvaraj et al., 2020).

En este contexto, se tiene la idea que el suelo contaminado puede crear un estrés que resulte en la activación de ciertas enzimas en el cuerpo de las lombrices, y luego de un largo tiempo de exposición (por ejemplo >30 días), las lombrices pueden adaptar/tolerar los contaminantes (Yuvaraj et al., 2020).

2.2 Términos básicos

2.2.1 CL50

La Concentración Letal Media (CL50), es la concentración en la cual la mitad de la población de los organismos de prueba muere (Baran, 2014).

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

3.1 Enfoque de investigación

El enfoque de la investigación es cuantitativo porque analiza datos cuantitativos, considera resultados sobre variables y estudia las propiedades y fenómenos cuantitativos.

3.2 Tipo de investigación

El tipo de Investigación es aplicada porque con la investigación se busca contribuir a resolver el problema de la disposición final de los residuos sólidos de la línea del proceso de curtición bovina mediante una evaluación ecotoxicológica que permita determinar el potencial uso de estos residuos como abono.

3.3 Nivel de investigación

El nivel de investigación es correlacional porque se analiza la relación de las variables concentración de los residuos de cada proceso y los parámetros ecotoxicológicos, así se analiza si el aumentar, disminuir o modificar la variable dependiente hace que varíen los resultados de la variable dependiente y por tanto la investigación se considera correlacional.

3.4 Diseño metodológico

El diseño metodológico es experimental, dado que se manipulará las variables independientes (concentración de los residuos sólidos de cada proceso de curtido y tiempo de exposición) para analizar las consecuencias que la manipulación de estas tiene sobre las variables dependientes (parámetros ecotoxicológicos, efectos tóxicos cualitativos y concentración de contaminantes).

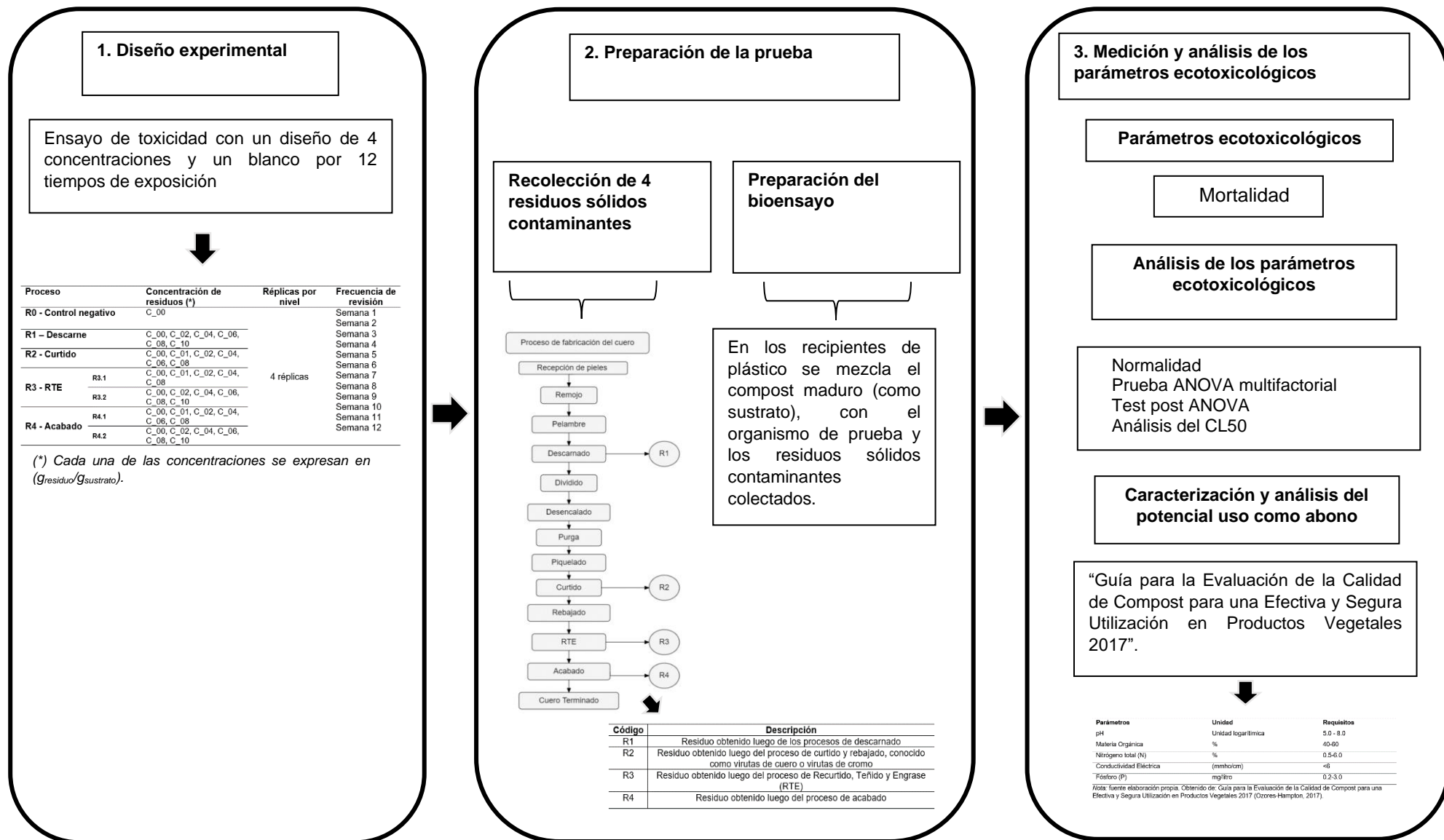
3.5 Procedimiento metodológico

3.5.1 *Diagrama de secuencia de la ejecución del trabajo de investigación*

A continuación, se presenta el diagrama de secuencia de la ejecución del trabajo de investigación.

Figura 2

Diagrama de secuencia de la ejecución del trabajo de investigación



3.5.2. Desarrollo experimental

3.5.2.1 Paso 1: Diseño experimental

Se utilizó 4 tipos de residuos sólidos obtenidos después de los procesos, estos son: descarte, curtido, recurtido, teñido y engrase (RTE) y acabado, según se muestra en la Tabla N°1.

Se realizó los ensayos de toxicidad con cada tipo de residuo y se utilizó un control negativo o blanco. Se debe mencionar que en el caso del Bioensayo con el residuo de RTE, se realizaron dos experimentos (RTE 3.1 y 3.2) considerando dos muestras de residuos diferentes, y que en uno de los experimentos se trabajó con 4 concentraciones; de forma similar se procedió para el bioensayo con el residuo de acabado (ACB 4.1 y 4.2). Los valores de exposición toman como referencia el trabajo de Buleje et. al, (2019).

Cabe recalcar que para el aseguramiento de la calidad del ensayo se incluyó un control negativo (sin la presencia de residuos) y se realizó 4 réplicas.

Por otro lado, la supervivencia en el control negativo fue igual o superior al 90% al final del bioensayo (OCDE, 1984).

Figura 3

Residuos sólidos de acabado utilizados en los bioensayos.



Nota: fuente elaboración propia

A continuación, se muestra el diseño experimental de las pruebas ecotoxicológicas:

Tabla 1

Diseño experimental de las pruebas ecotoxicológicas.

Proceso		Concentración de residuos (*)	Réplicas por concentración	Frecuencia de revisión
R0 - Control negativo		C_00	4 réplicas	Semana 1
R1 – Descarne		C_00, C_02, C_04, C_06, C_08, C_10		Semana 2
R2 – Curtido		C_00, C_01, C_02, C_04, C_06, C_08		Semana 3
R3 - RTE	R3.1	C_00, C_01, C_02, C_04, C_08		Semana 4
	R3.2	C_00, C_02, C_04, C_06, C_08, C_10		Semana 5
R4 - Acabado	R4.1	C_00, C_01, C_02, C_04, C_06, C_08		Semana 6
	R4.2	C_00, C_02, C_04, C_06, C_08, C_10		Semana 7
				Semana 8
				Semana 9
				Semana 10
				Semana 11
				Semana 12

Nota: fuente elaboración Propia.

(*) Cada una de las concentraciones se expresan en (g_{residuo}/g_{sustrato}).

3.5.2.2 Paso 2: Preparación de la prueba

Se utilizó contenedores plásticos de un litro de capacidad para contener las mezclas de residuos y los medios de soporte (sustrato).

Se utilizó compost maduro como sustrato para las lombrices. Se realizó la prueba de supervivencia al compost maduro para verificar su inocuidad. Esto consistió en separar una fracción del medio y colocar encima 20 lombrices, si se sumergen en el medio, se considera apto para la prueba, caso contrario se descarta el medio.

Se midió el contenido humedad del medio (compost) y los residuos. Se agregó agua hasta alcanzar el 80% de humedad.

Figura 4

Preparación de los bioensayos con residuo de descarte, acabado y RTE.



Nota: fuente elaboración propia.

3.5.2.3 Paso 3: *Medición de parámetros ecotoxicológicos*

Se midió el siguiente parámetro:

☞ Mortalidad

La medición de estos efectos se realizó mediante conteo manual de cada contenedor con lombrices y observación. Se utilizó un ambiente del Laboratorio de I+D+i de CITEccal Lima, con limitada luz natural para evitar estresar a los organismos de prueba.

Figura 5

Ejecución del conteo manual de lombrices para el bioensayo con residuos de RTE.



Nota: fuente elaboración propia.

3.5.2.4 Paso 4: *Análisis de los parámetros ecotoxicológicos*

☞ Se utilizó el modelo estadístico PROBIT para el cálculo de la CL50.

3.5.2.5 Paso 5: *Caracterización del humus y análisis del potencial uso como abono*

Se determinó las características fisicoquímicas del sustrato antes y después de la humificación respecto a los requisitos de la “Guía para la Evaluación de la Calidad de Compost

para una Efectiva y Segura Utilización en Productos Vegetales”, del departamento de Ciencias de Horticultura, Instituto Alimentos y Ciencias de Agricultura de la Universidad de California desarrollada por Ozores-Hampton en el 2017, de tal manera que se establezca su potencial aplicación como abono.

Se midió los siguientes parámetros (ver Tabla N° 2):

Tabla 2

Parámetros de caracterización.

Parámetros	Unidad	Requisitos
pH	Unidad logarítmica	5.0 - 8.0
Materia Orgánica	%	40-60
Nitrógeno total (N)	%	0.5-6.0
Conductividad Eléctrica	(mmho/cm)	<6
Fósforo (P)	mg/litro	0.2-3.0

Nota: fuente elaboración propia. Obtenido de: Guía para la Evaluación de la Calidad de Compost para una Efectiva y Segura Utilización en Productos Vegetales 2017 (Ozores-Hampton, 2017).

Adicionalmente, se caracterizó los sustratos mediante pruebas de infrarrojo².

3.6 Técnicas de recolección de datos

3.6.1 Técnicas de documentación de información

Para el acopio de la información se realizó una revisión selectiva de la literatura tanto de fuentes primarias como fuentes secundarias, procurándose los siguientes aspectos:

- ⌘ Búsqueda de información en bases de datos de publicaciones científicas en revistas indexadas

² Espectroscopia infrarroja (IR): Esta técnica permite estudiar los grupos funcionales presentes en una muestra.

3.6.2 Técnicas de recojo de datos

3.6.2.1 Observación experimental

Se realizó lo siguiente:

- ☞ Mortalidad, se determinó a partir del conteo manual
- ☞ Análisis químico del suelo mediante pruebas de laboratorio, en el siguiente recuadro se detallan los métodos empleados:

Tabla 3

Metodologías utilizadas para el análisis de suelo.

Parámetro de análisis	Método
Potencial de Hidrógeno (pH)	SGS-MN-ME-188 / diciembre 2014 Rev. 02 / Suelos Agrícolas: pH en agua
Materia orgánica	SGS-MN-ME-212 / agosto 2014 Rev. 01 / Suelos Agrícolas: Materia Orgánica por Volumetría – Método Walkley y Black
Nitrógeno total (N)	
Conductividad eléctrica	SGS-MN-ME-190 / abril 2015 Rev. 02 / Suelos Agrícolas: Conductividad eléctrica
Cobre (Cu)	SGS-MN-ME-219 / marzo 2013 Rev. 02 / Determinación de microelementos disponibles: manganeso, cobre, zinc y hierro en suelos agrícolas (método de Olsen modificado)
Cinc (Zn)	
C:N	Carbono: SGS-MN-ME-207 / marzo 2011 Rev. 02 / Suelos Agrícolas: Materia Orgánica Nitrógeno: SGS-MN-ME-212 / agosto 2014 Rev. 01 / Suelos agrícolas: Materia Orgánica por Volumetría – Método Walkley y Black

Nota: fuente elaboración propia.

- ☞ Análisis del proceso de degradación de los residuos mediante pruebas de Espectroscopia Infrarroja (IR).

3.6.3. Instrumentos de recolección o medición

3.6.3.1. Instrumentos para la recolección de información

Se utilizó fichas para registrar la cuenta semanal de lombrices, esto se realizó con el uso de hojas de cálculo del Software Microsoft Excel.

3.6.3.2. Materiales para los bioensayos

Se utilizaron los siguientes materiales:

Tabla 4

Materiales de recolección de las muestras.

Instrumentos	Cantidad	Uso
Contenedores de Plástico de 1Lt	144	En estos recipientes se realizó la mezcla del compost con el residuo y se inocularán las lombrices.
Guantes de Nitrilo	50	Para la cuenta manual en cada recipiente de las lombrices.
Varilla de Vidrio	2	Utilizado como instrumento de apoyo para realizar la cuenta de las lombrices dentro de los recipientes.
Lavatorios	2	Para facilitar la cuenta de las lombrices.
Hojas Bond	100	Para realizar las tomas fotográficas de las características fenotípicas de las lombrices a través de las semanas.

Nota: fuente elaboración propia.

3.6.3.3 Instrumentos de medición (equipos):

- ∅ Balanza de capacidad de 2kg y resolución 0.1g para determinar el peso de las lombrices.
- ∅ Pipeta graduada para la determinación de la cantidad de agua a añadir en los diferentes tápers de las diferentes concentraciones.
- ∅ Cámara fotográfica, para comparar el color de las lombrices en las primeras semanas con las últimas semanas.
- ∅ Regla para medir el tamaño de las lombrices antes de ser inoculadas en los contenedores de plástico.

3.6.3.4. Muestreo y almacenamiento

Se obtuvo una muestra representativa de 500g de las operaciones de descarte, curtido, RTE y acabado.

Para el caso de la operación de descarte, esta fue almacenada en bolsas ziplock y fue refrigerada. Para los demás residuos fueron almacenados en bolsas de plástico.

3.6.4. Procesamiento de datos

Se realizó el análisis estadístico en Microsoft Excel y se utilizó además el Software R para el tratamiento de los datos de mortalidad en las lombrices y se determinó las gráficas de variación del CL50.

3.7 Cálculos. y/o aplicaciones y obtención de resultados

3.7.1 Cálculo de cantidad de agua

A continuación, se muestran los resultados del cálculo para la determinación de la cantidad de agua a colocar en las diferentes concentraciones del experimento (Tabla N°5), conforme a lo establecido por Buleje et. al (2019).

Se tiene así la Ecuación 1, donde se muestra la expresión de humedad como el peso del agua entre el peso de suelo seco y también se tiene la Ecuación 2, donde se expresa el valor del peso del agua como el producto de la humedad con el peso de suelo seco.

$$\frac{W}{P_s} = H \quad (1)$$

$$W = H * P_s \quad (2)$$

De donde:

H: Humedad.

W: Peso de Agua.

P_s: Peso de suelo seco (considerándolo constante constante).

Si consideramos una expresión donde se tengan dos condiciones para el agua, condición inicial y condición final, podríamos llegar a determinar la cantidad de agua necesaria para el bioensayo considerando las ecuaciones (1) y (2). Así se tiene la Ecuación 3, que

expresa la cantidad de agua a añadir como la diferencia del peso de agua final y el peso de agua inicial.

$$A = W_f - W_i$$

De donde:

A: Cantidad de agua a añadir.

W_f : Peso final del agua.

W_i : Peso inicial del agua.

Se reemplaza la expresión (2) en la expresión (3) y se obtiene la Ecuación (4), que muestra el valor de la cantidad de agua como una diferencia del producto de la humedad final por el peso del suelo seco, menos la humedad inicial por el peso de suelo seco:

$$A = H_f * P_s - H_i * P_s \quad (4)$$

Al realizar una factorización se obtiene la Ecuación 5, que representa la cantidad de agua como la diferencia de la humedad final e inicial por el producto del peso de suelo seco:

$$A = (H_f - H_i) * P_s \quad (5)$$

Considerando la expresión (1), obtenemos la Ecuación 6, que expresa la cantidad de agua como la diferencia de la humedad final menos la división del peso inicial del agua entre el peso del suelo seco, todo ello multiplicado por el peso del suelo seco:

$$A = \left(H_f - \frac{W_i}{P_s} \right) * P_s \quad (6)$$

Finalmente se obtiene la Ecuación 7, que muestra la cantidad de agua como la diferencia de la humedad final por el peso del suelo seco menos el peso inicial del agua:

$$A = H_f * P_s - W_i \quad (7)$$

Esta expresión es utilizada para la determinación del agua requerida para el bioensayo (véase Tabla N°5).

3.7.2 Cantidad de agua necesaria para añadir en cada concentración del bioensayo

Para la preparación del bioensayo, se debe saber la cantidad de agua a colocar respecto a cada concentración considerada. En el siguiente recuadro se muestran los resultados del cálculo para la determinación de la cantidad de agua a colocar en las diferentes concentraciones del experimento, conforme a lo establecido por Buleje et. al (2019).

Tabla 5

Cantidad de agua necesaria para añadir en cada concentración del bioensayo.

Concentraciones	Compost (g)	Residuo (g)	Compost (g)	Residuo (g)	Agua compost (ml)	Agua residuo (ml)	Agua total (ml)
C 0	250	0	201.38	0.00	92.3	0.0	92.3
C 1	250	2.5	201.38	1.91	92.3	1.2	93.5
C 2	250	5	201.38	3.83	92.3	2.3	94.7
C 4	250	10	201.38	7.66	92.3	4.7	97.0
C 6	250	15	201.38	11.49	92.3	7.0	99.3
C 8	250	20	201.38	15.32	92.3	9.3	101.7

Nota: fuente elaboración propia.

3.7.3 Cálculos para el análisis de mortalidad

Entre los cálculos desarrollados referente a la mortalidad se tiene a la Concentración Letal Media o CL50, para la determinación del CL50 se utilizó el método de Probit.

3.7.3.1 Análisis Probit

Este análisis consiste en la obtención de una curva de tipo log-normal, donde se pueden analizar datos de dosis o concentración-respuesta, cuando se analiza respuestas cuantales se transforma los valores de las concentraciones a logaritmos y se expresa los datos de mortalidad en unidades probit. En un bioensayo las unidades probit se determinan a partir del porcentaje de mortalidad.

La siguiente tabla presenta las unidades probit considerando el porcentaje de mortalidad. Si por ejemplo se tiene un bioensayo donde el porcentaje de mortalidad es de 32% para determinar el valor probit se utiliza la Tabla N°6 haciendo un cruce entre una fila y una columna seleccionada, el valor de la fila en la tabla corresponde a las decenas del porcentaje de mortalidad, para este ejemplo sería 3, si se ve la columna con los valores de 10 en 10 de 0 hasta 99, dado que se tiene como valor fila 3 se tendrá el 30% como el valor de fila. Para el caso del valor de la columna se utiliza las unidades del porcentaje de mortalidad, dado que el porcentaje es 32% las unidades sería 2, por consiguiente, el valor de la columna es 2, al realizar el cruce entre la fila y la columna determinadas el valor probit correspondiente es de 4.53.

Tabla 6

Mortalidad de los datos expresada en unidades probit.

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	...	2.67	2.95	3.12	3.25	3.36	3.45	3.52	3.59	3.66
10	3.72	3.77	3.82	3.87	3.92	3.96	4.01	4.05	4.08	4.12
20	4.16	4.19	4.23	4.26	4.29	4.33	4.36	4.39	4.42	4.45
30	4.48	4.50	4.53	4.56	4.59	4.61	4.64	4.67	4.69	4.72
40	4.75	4.77	4.80	4.82	4.85	4.87	4.90	4.92	4.95	4.97
50	5.00	5.03	5.05	5.08	5.10	5.13	5.15	5.18	5.20	5.23
60	5.25	5.28	5.31	5.33	5.36	5.39	5.41	5.44	5.47	5.50
70	5.52	5.55	5.58	5.61	5.64	5.67	5.71	5.74	5.77	5.81
80	5.84	5.88	5.92	5.95	5.99	6.04	6.08	6.13	6.18	6.23
90	6.28	6.34	6.41	6.48	6.55	6.64	6.75	6.88	7.05	7.33
...	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
99	7.33	7.37	7.41	7.46	7.51	7.58	7.65	7.75	7.88	8.09

Nota: fuente elaboración propia.

Para la determinación de la concentración letal media (CL50), es necesario la obtención de la ecuación de la curva generada a partir del Log10 de la concentración en

porcentaje del bioensayo (valores en las abscisas “X”) y los valores probit (valores de las ordenadas “Y”). A partir de ello se puede completar una tabla como la que se presenta a continuación como ejemplo para un Bioensayo “W”.

Tabla 7

Tabla para un Bioensayo W, para la determinación del CL50 eje X \log_{10} concentración valores en Y valores probit.

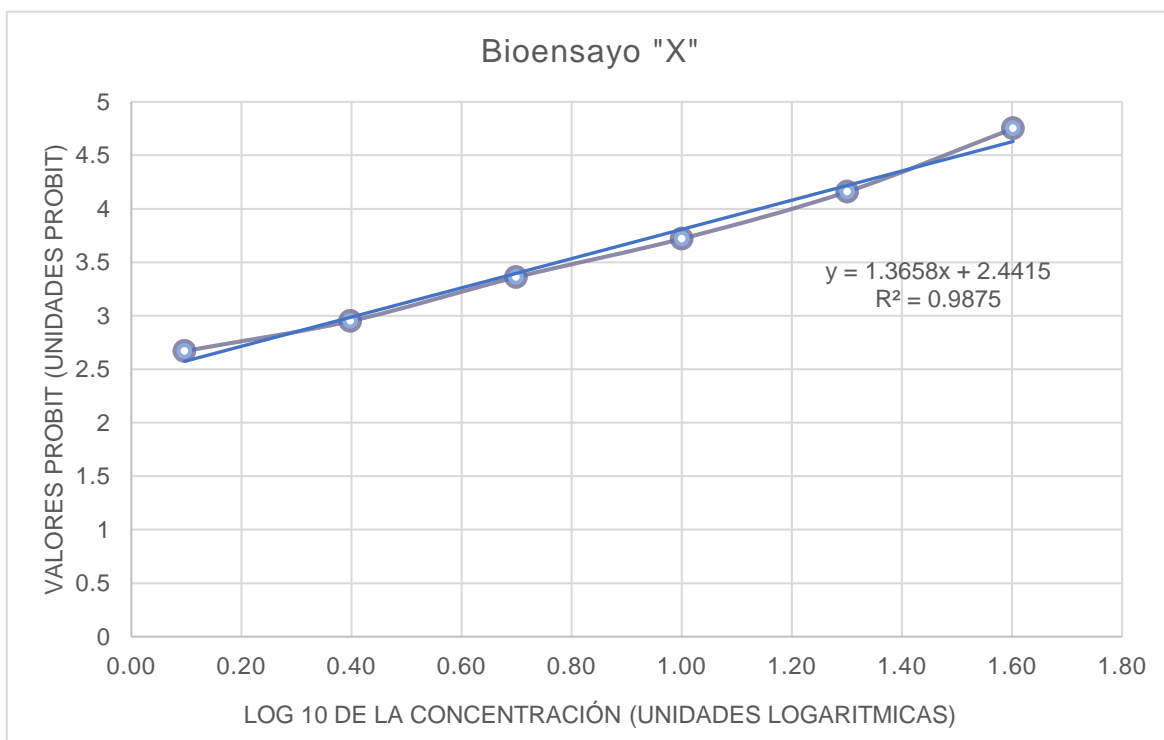
Bioensayo “W”	
X (\log_{10} concentración)	Y (Valores probit)
1.70	5
1.60	4.75
1.30	4.16
1.00	3.72
0.70	3.36
0.40	2.95
0.10	2.67

Nota: fuente elaboración propia

A partir de esta se puede graficar en el plano cartesiano la siguiente curva formada por las coordenadas X e Y de la Tabla N°7:

Figura 6

Curva formada por los valores probit y el log 10 de la concentración.



Nota: fuente elaboración propia

Una vez obtenido los pares ordenados se determina la ecuación de la recta, que en este caso es: $Y = 1.3658X + 2.4415$, con la ecuación de la recta se utiliza el valor probit 5 ($Y=5$), a fin de obtener el valor X o valor de la abscisa, qué representa a la concentración Log10 donde la población que perece en un 50%, entonces para determinar el CL50, se determina el Antilogaritmo en base 10 del valor X determinado al realizar el despeje de la ecuación, el resultado de este AntiLog10 corresponde a la concentración letal media, a continuación se presenta el cálculo del CL50 del ejemplo presentado:

En la Ecuación 8, se presenta la ecuación de la recta:

$$y = 1.3658x + 2.4415 \quad (8)$$

Tomando el valor probit 5 ($y=5$), se tiene la Ecuación 9, que expresa la ecuación de la recta con un valor " $y=5$ ".

$$5 = 1.3658x + 2.4415 \quad (9)$$

Despejando, se tiene la Ecuación 10, que muestra el valor de " x " igual a 1.87:

$$x = 1.87 \quad (10)$$

Para encontrar el CL50 se aplica el Antilogaritmo en base 10 del valor obtenido en (10).

$$\text{Antilog}_{10}(1.87) = 74.13$$

Por consiguiente, el CL50 para el ejemplo es 74.13.

3.8 Resultados

3.8.1 Resultados del Bioensayo 1 (descarne)

Los resultados del Bioensayo 1 (bioensayo con el residuo de descarne) se presentan en la Tabla N° 8, estos representan la cantidad de lombrices por cada contenedor de plástico y por cada semana.

Tabla 8

Cantidad de lombrices por cada contenedor de plástico y por cada semana Bioensayo 1 (descarne).

Semana / Contenedor	S0 25- Aug	S1 1- Sep	S2 8- Sep	S3 15- Sep	S4 22- Sep	S5 29- Sep	S6 6- Oct	S7 13- Oct	S8 20- Oct	S9 27- Oct	S10 3- Nov	S11 10- Nov	S12 17- Nov
DSC-00	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
DSC-00	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
DSC-00	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
DSC-00	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
DSC-02	20	20	19	19	19	20	20	20	20	20	20	20	20
DSC-02	20	19	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
DSC-02	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
DSC-02	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
DSC-04	20	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DSC-04	20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DSC-04	20	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DSC-04	20	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DSC-06	20	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DSC-06	20	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DSC-06	20	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DSC-06	20	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DSC-08	20	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DSC-08	20	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DSC-08	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DSC-08	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DSC-10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DSC-10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DSC-10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
DSC-10	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: fuente elaboración propia

3.8.2 Resultados del Bioensayo 2 (wet blue)

Los resultados del bioensayo 2 (bioensayo con el residuo de wet blue) se presenta en la Tabla N°9, estos representan la cantidad de lombrices por cada contenedor de plástico y por cada semana, se presenta también en la Figura N°7 la gráfica dosis respuesta por semana y las gráficas de variación de la concentración letal 50, 5 y 10 (CL50, CL5 y CL10) en la Figura N°8 y Figura N°9.

Tabla 9

Cantidad de lombrices por cada contenedor de plástico y por cada semana Bioensayo 2 (wet blue).

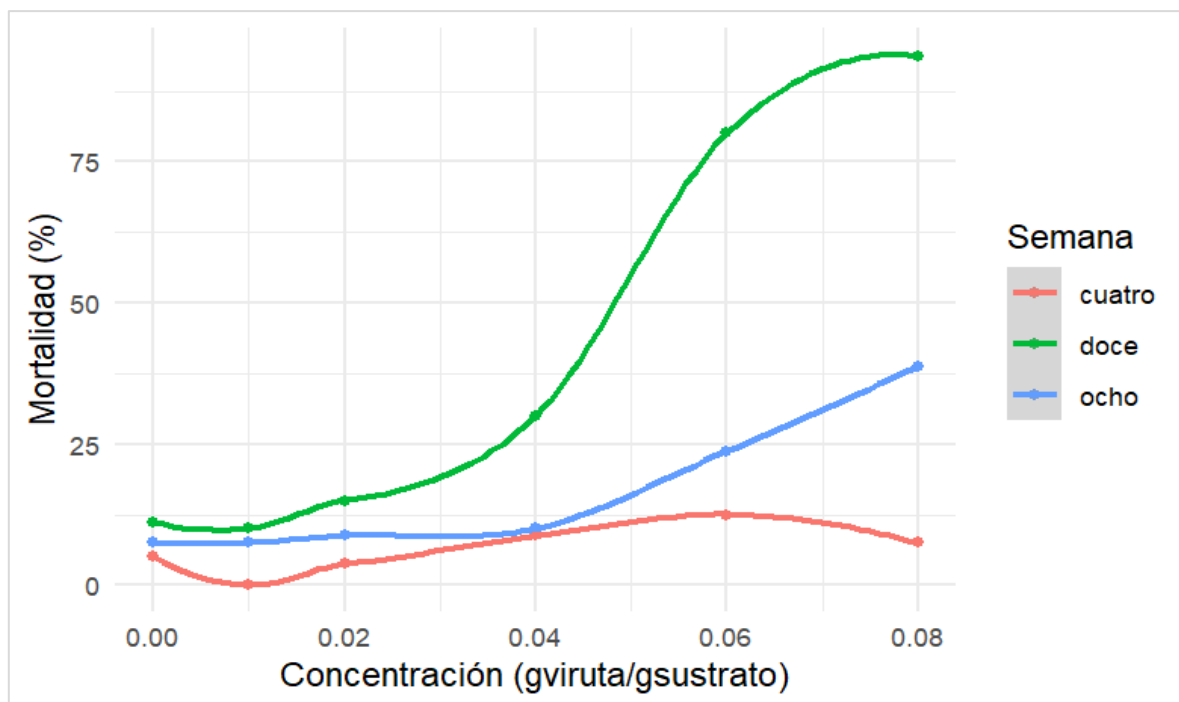
Fecha / Contenedor	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
	21- Dec	28- Dec	4- Jan	11- Jan	18- Jan	25- Jan	1- Feb	8- Feb	15- Feb	22- Feb	1- Mar	8- Mar	15- Mar
WB-00	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19
WB-00	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19	18	18
WB-00	20	20	19	19	19	19	19	19	19	19	18	17	17
WB-00	20	18	18	18	18	18	18	17	17	17	17	17	17
WB-01	20	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19	19
WB-01	20	20	20	20	20	19	18	18	18	18	18	18	18
WB-01	20	20	20	20	20	20	19	19	18	18	17	17	17
WB-01	20	20	20	20	20	20	19	19	19	19	18	18	18
WB-02	20	20	19	19	19	19	18	18	18	18	17	17	17
WB-02	20	19	18	18	18	18	18	18	17	17	16	16	16
WB-02	20	20	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19
WB-02	20	20	20	20	20	19	19	19	19	18	18	16	16
WB-04	20	19	18	18	18	18	18	18	18	17	15	13	13
WB-04	20	19	17	17	17	17	17	17	17	17	17	14	14
WB-04	20	20	19	19	19	19	19	19	18	18	18	16	16
WB-04	20	20	19	19	19	19	19	19	19	17	16	13	13
WB-06	20	20	19	19	19	18	18	17	16	14	11	4	4
WB-06	20	20	20	17	17	17	17	16	16	15	9	3	3
WB-06	20	20	18	18	18	18	18	18	18	15	13	3	3
WB-06	20	18	16	16	16	15	14	13	11	11	8	6	6
WB-08	20	20	20	20	20	18	18	16	15	6	4	2	2
WB-08	20	19	18	18	18	16	16	14	12	8	4	3	3
WB-08	20	20	17	17	17	14	11	11	10	5	1	0	0
WB-08	20	20	20	20	19	18	15	15	12	6	0	0	0

Nota: fuente elaboración propia.

En la siguiente figura se presenta los gráficos de dosis respuestas, realizados con el software Rstudio, para la semana cuatro, ocho y doce en base a los resultados del Bioensayo 2 (wet blue).

Figura 7

Gráficos dosis respuesta Bioensayo 2 (wet blue), para la semana cuatro, ocho y doce.



Nota: fuente elaboración propia.

Se presenta a continuación la tabla resumen de la variación de la concentración letal 5, 10 y 50, (CL5, CL10 y CL50), que servirá para realizar las gráficas de variación de la concentración (Figura N°8 y Figura N°9).

Tabla 10

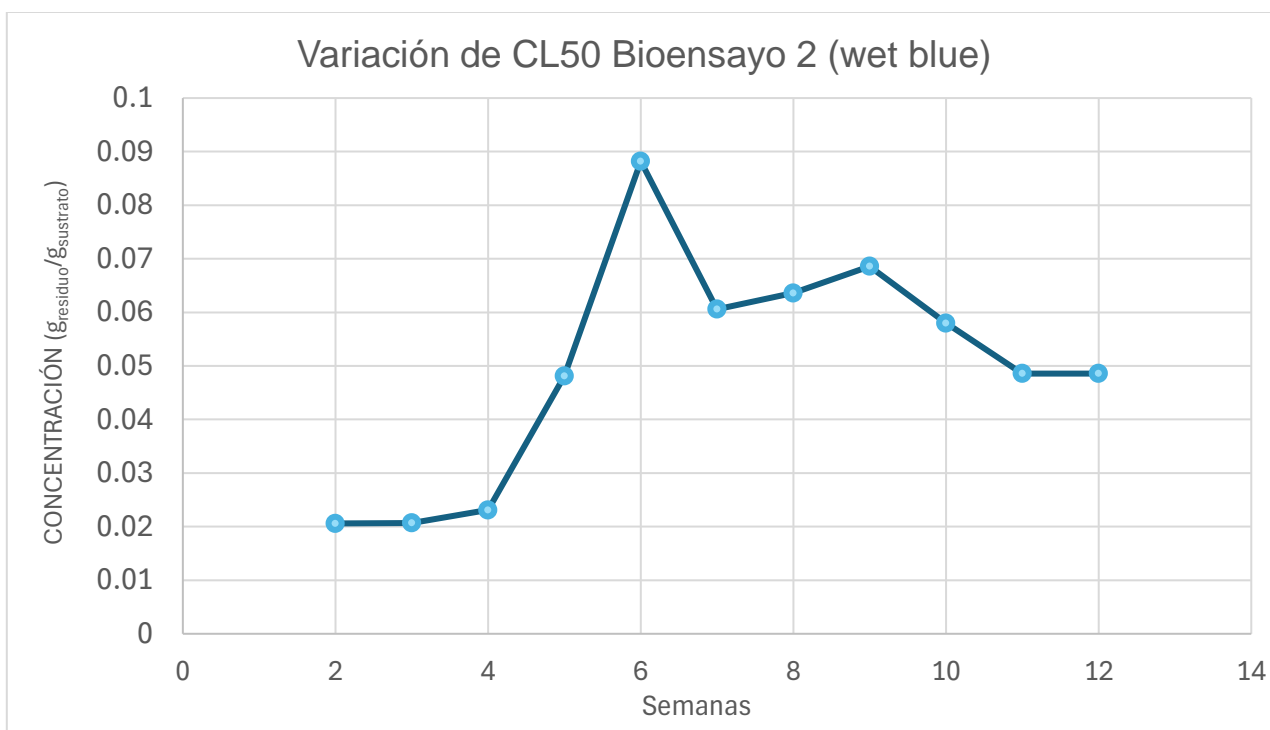
Tabla resumen de la variación del CL5, CL10 y CL50 para el Bioensayo 2 (wet blue) por semana.

Semana	CL5 (g _{residuo} /g _{sustrato})	CL10 (g _{residuo} /g _{sustrato})	CL50 WB (g _{residuo} /g _{sustrato})
2	0.0195	0.0196	0.0206
3	0.0188	0.0126	0.0207
4	0.0178	0.0191	0.0231
5	0.0232	0.0280	0.0481
6	0.0356	0.0448	0.0882
7	0.0385	0.0432	0.0606
8	0.0393	0.0444	0.0636
9	0.0340	0.0406	0.0686
10	0.0317	0.0369	0.0580
11	0.0312	0.0394	0.0486
12	0.0312	0.0394	0.0486

Nota: fuente elaboración propia

Figura 8

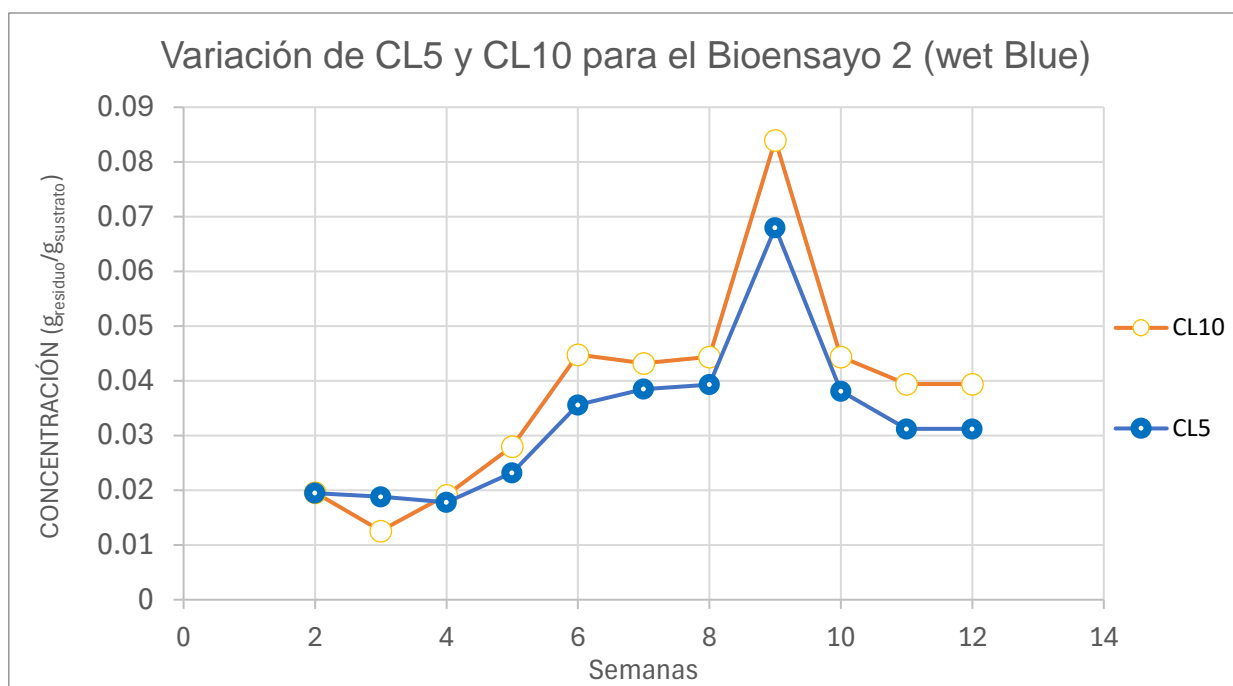
Gráficas de Variación del CL50 para el Bioensayo 2 (wet blue)



Nota: fuente elaboración propia.

Figura 9

Gráficas de Variación del CL5 y CL10 para el Bioensayo 2 (wet blue)



Nota: fuente elaboración propia.

3.8.3 Resultados del Bioensayo 3.1 y 3.2 (RTE)

A continuación, se presentan los resultados del Bioensayo 3 (bioensayo con el residuo de recurtido, teñido y engrase o por sus siglas RTE), respecto a ello se realizaron 2 bioensayos, a fin de analizar el comportamiento de los organismos de prueba en dos escenarios distintos (dos muestras diferentes), donde se consideraron algunos valores distintos de concentración y fueron realizadas en un espacio temporal distinto, con ello se tiene: Bioensayo 3.1 (RTE) y Bioensayo 3.2 (RTE).

Es importante mencionar que se realizaron estos dos bioensayos, considerando una muestra diferente, con la finalidad de observar la mortalidad en las últimas semanas, porque se observó una poca mortalidad en el Bioensayo 3.1 (RTE), por lo cual para verificar este comportamiento se realizó un segundo Bioensayo (Bioensayo 3.2 (RTE)).

Se presenta en la Tabla N°11 y Tabla N°12 los resultados del Bioensayo 3.1 (RTE) y Bioensayo 3.2 (RTE) respectivamente, estos representan la cantidad de lombrices por cada contenedor de plástico y por cada semana.

Tabla 11

Cantidad de lombrices por cada contenedor de plástico y por cada semana Bioensayo 3.1 (RTE).

Semana / Contenedor	S0 3- May	S1 10- May	S2 17- May	S3 24- May	S4 31- May	S5 7- Jun	S6 14- Jun	S7 21- Jun	S8 28- Jun	S9 5- Jul	S10 12- Jul	S11 19- Jul	S12 26- Jul
1RTE-00	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19	19
1RTE-00	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19
1RTE-00	20	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
1RTE-00	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19
1RTE-01	20	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
1RTE-01	20	20	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19
1RTE-01	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19
1RTE-01	20	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
1RTE-02	20	20	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
1RTE-02	20	20	18	18	18	18	18	18	18	17	17	17	17
1RTE-02	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
1RTE-02	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
1RTE-04	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19
1RTE-04	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
1RTE-04	20	18	18	18	18	18	18	18	17	17	17	17	17
1RTE-04	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
1RTE-08	20	20	20	20	19	19	19	19	18	18	18	17	15
1RTE-08	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	18
1RTE-08	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
1RTE-08	20	20	20	20	20	20	20	20	20	18	18	18	18

Nota: fuente elaboración propia

En la siguiente tabla se tienen los resultados del Bioensayo 3.2 (RTE), obsérvese que para este no se ha considerado la concentración (2RTE - 01); sin embargo, a diferencia del Bioensayo 3.1 se cuenta con la concentración 06 (2RTE - 06):

Tabla 12

Cantidad de lombrices por cada contenedor de plástico y por cada semana Bioensayo 3.2 (RTE).

Semana / Contenedor	S0 18- Aug	S1 25- Aug	S2 1- Sep	S3 8- Sep	S4 15- Sep	S5 22- Sep	S6 29- Sep	S7 6- Oct	S8 13- Oct	S9 20- Oct	S10 27- Oct	S11 3- Nov	S12 10- Nov
2RTE-00	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19	19	19
2RTE-00	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2RTE-00	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2RTE-00	20	20	20	20	20	20	20	20	20	18	18	18	18
2RTE-02	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2RTE-02	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19
2RTE-02	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2RTE-02	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2RTE-04	20	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
2RTE-04	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2RTE-04	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2RTE-04	20	20	20	20	20	20	20	20	20	18	18	17	17
2RTE-06	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2RTE-06	20	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19	19
2RTE-06	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2RTE-06	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2RTE-08	20	18	18	18	18	18	18	18	18	17	17	17	17
2RTE-08	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19
2RTE-08	20	19	19	19	18	18	18	18	18	18	18	18	18
2RTE-08	20	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
2RTE-10	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2RTE-10	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19	19	18
2RTE-10	20	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19	19
2RTE-10	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

Nota: fuente elaboración propia

3.8.4 Resultados del Bioensayo 4.1 y 4.2 (acabado)

Los resultados del Bioensayo 4 (bioensayo con el residuo de acabo o por sus siglas ACB), respecto a este se realizaron dos bioensayos, con la finalidad de analizar el comportamiento de los organismos de prueba bajo dos circunstancias distintas: distintas muestras y distintas concentraciones; considerando esto se tiene: Bioensayo 4.1 (acabado) y Bioensayo 4.2 (acabado); se presenta en la Tabla N°13 y Tabla N°15 los resultados del Bioensayo 4.1 (acabado) y Bioensayo 4.2 (acabado) respectivamente, en estos se muestran la cantidad de lombrices por cada contenedor de plástico y por cada semana.

Tabla 13

Cantidad de lombrices por cada contenedor de plástico y por cada semana Bioensayo 4.1 (acabado).

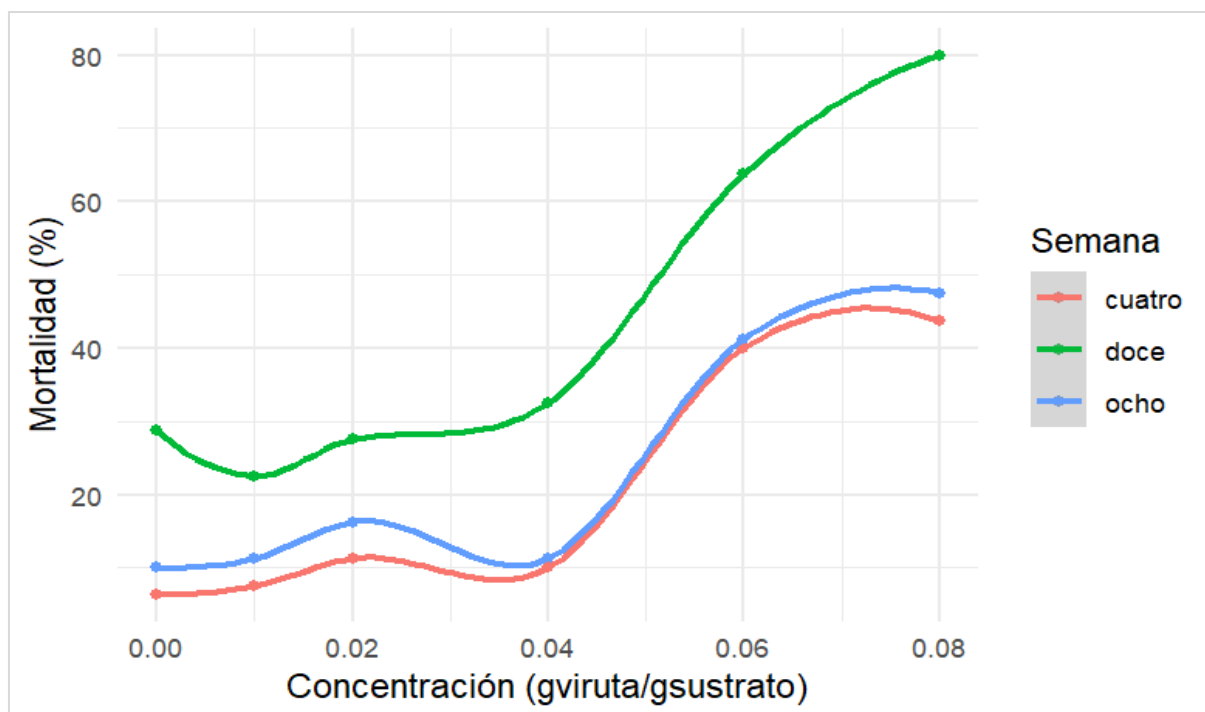
Semana / Contenedor	S0 19- Feb	S1 26- Feb	S2 5- Mar	S3 12- Mar	S4 19- Mar	S5 26- Mar	S6 2- Apr	S7 9- Apr	S8 16- Apr	S9 23- Apr	S10 30- Apr	S11 7- May	S12 14- May
1ACB-00	20	20	18	17	16	16	16	16	16	16	16	16	15
1ACB-00	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	18	17
1ACB-00	20	20	20	20	20	20	20	20	19	16	14	11	10
1ACB-00	20	20	20	19	19	19	19	18	17	17	16	15	15
1ACB-01	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	18	18	18
1ACB-01	20	18	17	16	15	14	14	14	14	14	13	13	12
1ACB-01	20	19	19	19	19	19	19	19	18	18	17	16	15
1ACB-01	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19	17	17
1ACB-02	20	19	19	19	19	18	18	16	16	16	15	15	13
1ACB-02	20	20	20	20	20	20	20	20	19	18	18	18	17
1ACB-02	20	19	19	17	16	15	14	14	14	14	12	12	11
1ACB-02	20	20	19	19	19	18	18	18	18	18	18	17	17
1ACB-04	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	18	16	8
1ACB-04	20	19	19	19	19	19	18	18	17	17	17	17	16
1ACB-04	20	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
1ACB-04	20	19	18	18	18	18	18	18	18	18	16	16	13
1ACB-06	20	14	13	12	12	12	12	12	12	9	8	6	4
1ACB-06	20	14	10	10	9	9	9	9	9	9	9	8	7
1ACB-06	20	15	14	14	12	12	12	12	12	11	11	11	11
1ACB-06	20	16	15	15	15	15	15	15	14	13	13	10	7
1ACB-08	20	10	10	9	9	9	9	9	9	9	7	6	4
1ACB-08	20	14	14	14	11	10	10	10	10	7	5	3	1
1ACB-08	20	13	12	12	12	12	12	12	10	6	6	1	0
1ACB-08	20	16	15	14	13	13	13	13	13	13	12	12	11

Nota: fuente elaboración propia

En la Figura N°10 se presenta los gráficos de dosis respuestas, realizados con el software Rstudio, para la semana cuatro, ocho y doce, en base a los resultados del Bioensayo 4.1 (acabado):

Figura 10

Gráficos dosis respuesta Bioensayo 4.1 (acabado), para la semana cuatro, ocho y doce.



Nota: fuente elaboración propia

Se presenta a continuación la tabla resumen de la variación de la concentración letal 5, 10 y 50, (CL5, CL10 y CL50), que servirá para realizar las gráficas de variación de la concentración (Figura N°11 y Figura N°12).

Tabla 14

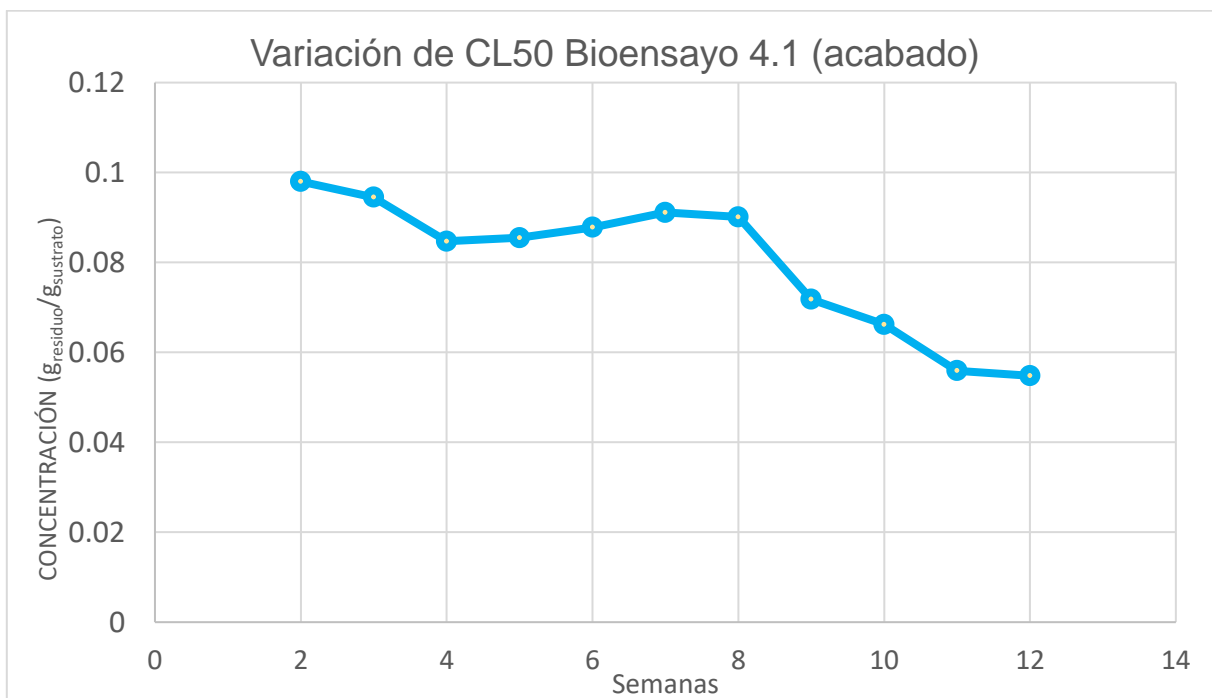
Variación del CL5, CL10 y CL50 para el Bioensayo 4.1 (acabado).

Semana	CL5 (g _{residuo} /g _{sustrato})	CL10 (g _{residuo} /g _{sustrato})	CL50 (g _{residuo} /g _{sustrato})
2	0.0230	0.0332	0.0980
3	0.0218	0.0316	0.0945
4	0.0221	0.0311	0.0847
5	0.0196	0.0285	0.0855
6	0.0169	0.0257	0.0878
7	0.0144	0.0229	0.0911
8	0.0109	0.0187	0.0901
9	0.0148	0.0221	0.0718
10	0.0132	0.0198	0.0662
11	0.0091	0.0145	0.0559
12	0.0352	0.0394	0.0548

Nota: fuente elaboración propia

Figura 11

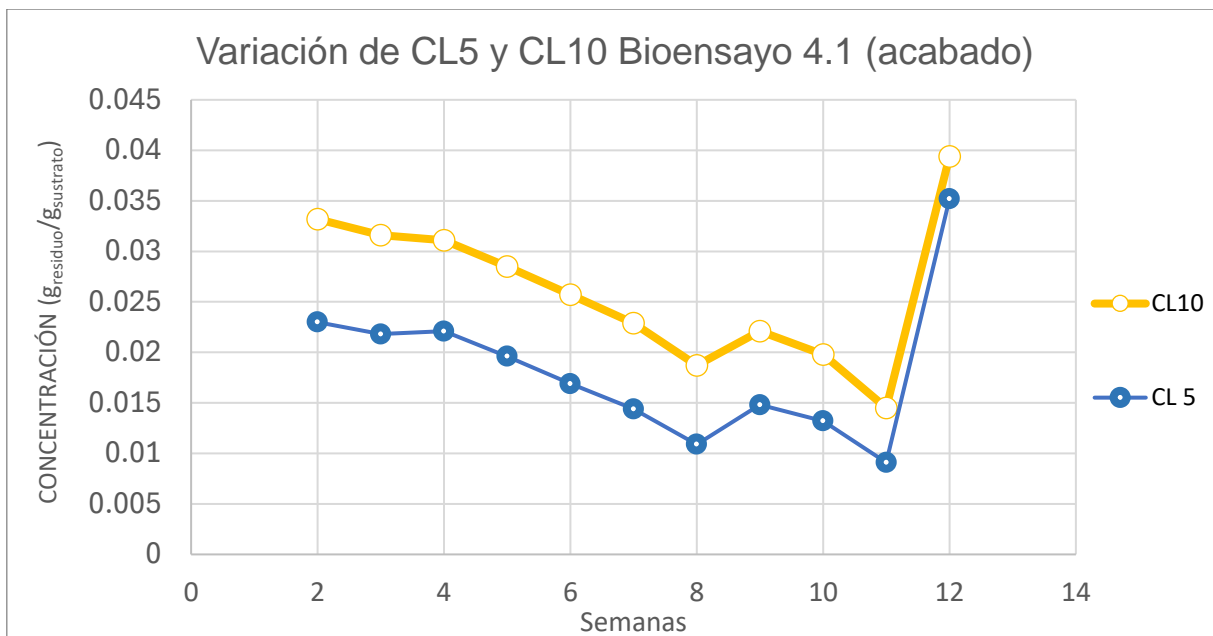
Gráficas de variación de la concentración letal media Bioensayo 4.1 (acabado) de CL50.



Nota: fuente elaboración propia

Figura 12

Gráficas de variación de la concentración letal 5 y 10 (CL5 y CL10), Bioensayo 4.1 (acabado).

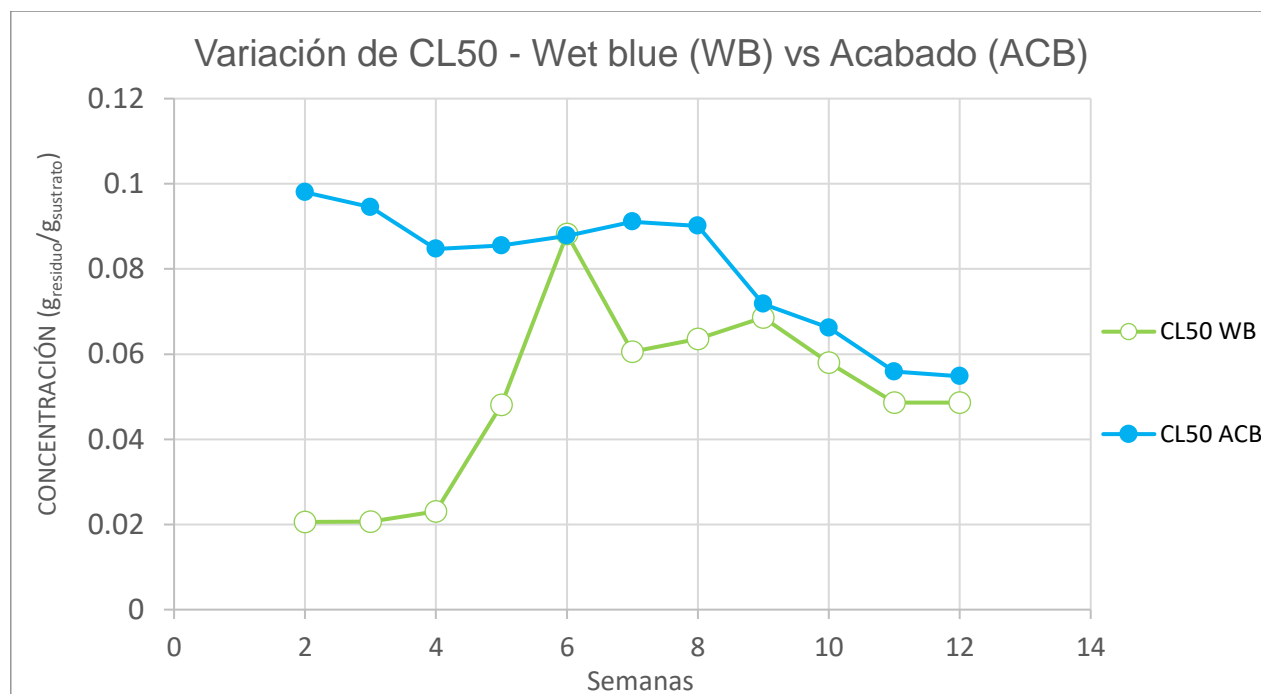


Nota: fuente elaboración propia

A continuación, se presenta una gráfica comparativa de la variación de CL50 para los dos residuos donde se pudo determinar la variación de CL50 (Bioensayo 2 wet blue y Bioensayo 4.1 acabado).

Figura 13

Gráficas de variación de la concentración letal 50 (CL50), Bioensayo 2 (wet blue) y Bioensayo 4.1 (ACB).



Nota: fuente elaboración propia

En la Tabla N°15 se presenta la cantidad de lombrices por contenedor de plástico por cada semana para el Bioensayo 4.2 (acabado), este bioensayo se realizó considerando una muestra diferente (residuo de acabado de un proceso distinto al Bioensayo 4.1), y también considera la concentración 10 (2ACB-10) y dejando el análisis de la concentración 01 (2ACB-01).

Tabla 15

Cantidad de lombrices por cada contenedor de plástico y por cada semana, Bioensayo 4.2

(acabado).

Semana /Contenedor	S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12
	23- Aug	1- Sep	6- Sep	13- Sep	20- Sep	27- Sep	4- Oct	13- Oct	18- Oct	25- Oct	3- Nov	8- Nov	15- Nov
2ACB-00	20	20	20	20	19	18	17	17	17	17	17	17	17
2ACB-00	20	20	20	20	18	18	18	18	18	18	18	18	18
2ACB-00	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2ACB-00	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19
2ACB-02	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2ACB-02	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2ACB-02	20	20	20	20	18	18	18	16	16	16	16	16	16
2ACB-02	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2ACB-04	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2ACB-04	20	20	20	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
2ACB-04	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19
2ACB-04	20	20	20	20	18	18	18	18	18	18	18	18	18
2ACB-06	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2ACB-06	20	20	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19
2ACB-06	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19
2ACB-06	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2ACB-08	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2ACB-08	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2ACB-08	20	19	19	19	19	19	19	18	18	18	18	18	18
2ACB-08	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2ACB-10	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
2ACB-10	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	19	19	19
2ACB-10	20	20	20	20	20	19	19	19	19	19	19	19	19
2ACB-10	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20

Nota: fuente elaboración propia

Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

4.1 Análisis de resultados

4.1.1 Análisis de los gráficos de resultados

4.1.1.1 Bioensayo 1 (descarne)

De acuerdo con la Tabla N°8, las concentraciones 0.00 y 0.02 (gresiduo/gsustrato), hasta la semana 12, no generan mortalidad en las lombrices, por el contrario, en la concentración 0.04 (gresiduo/gsustrato) se observa una alta tasa de mortalidad de las lombrices en la semana 1, llegando al 100 % de mortalidad en la semana 2. La tolerancia de las lombrices a concentraciones menores a 0.02 (gresiduo/gsustrato), se debería al contenido grasa, proteína y agua presente en estos residuos que los convierte en un sustrato adecuado para su desarrollo (Jini, et al., 2016), (Pérez-Aguilar, 2024), (Puhazhselvan et. al, 2022). Si bien el potencial de hidrógeno (pH) de estos residuos puede llegar a 12 (Hashem et. al, 2014), concentraciones iguales o menores de 0.02 (gresiduo/gsustrato) en la mezcla de sustratos, no incrementaría el pH a niveles perjudiciales para las lombrices. De acuerdo con la Tabla N°16 el pH final del sustrato vermicospostado es 8.20.

La fuente de basicidad de estos residuos tiene su origen en el sulfuro de sodio (2-4%) y cal (2-6%) que se utiliza en operaciones anteriores al descarnado para el apelmbrado de las pieles. El sulfuro de sodio ha sido identificado como una potente fitotoxina, para las plantas y para el funcionamiento de los ecosistemas (Lamers et. al, 2013). Si bien la cal es utilizada como fertilizante en combinación con otras sustancias orgánicas e inorgánicas (Agyn-Birikorang et. al, 2023), (Dugalić et. al, 2024), en altas concentraciones contribuye a elevar el pH del medio, lo cual es dañino para las lombrices que pueden desarrollarse en un pH alrededor de 5-9 (Wu et. al, 2020).

4.1.1.2 Bioensayo 2 (wet blue)

La Tabla N°9 muestra los resultados para los ensayos con residuos wet blue, en ella se observa una mayor mortalidad a partir de la semana 7 para la concentración 0.06 (gresiduo/gsustrato). La diferencia de la tolerancia de las lombrices con el Bioensayo 1 (descarne),

podría estar influenciada por el pH de los residuos wet blue, que se encuentran en un rango de 3 a 4 y por tanto las sustancias que generaban basicidad han disminuido de forma considerable debido a procesos por los que ha pasado la piel luego del descarte, que incluye 1) el desencalado, que tiene por finalidad eliminar el exceso de sustancias básicas procedentes del encalado o pelambre y se utiliza agua, ácido fórmico, sulfato de amonio y cloruro de amonio, 2) el rendido, en que se ablanda la piel para iniciar el proceso de curtición en sí mismo y se utilizan enzimas proteolíticas en medio acuoso, 3) el piquelado, que tiene por objetivo llevar la piel a un medio ácido para lograr la disolución del agente curtiente y su reticulación en la piel y el 4) el curtido, en el que se reticula el agente curtiente a los grupos funcionales amino y carboxilo de la piel. Se utiliza sulfato básico de cromo en medio acuoso.

Cabe mencionar que, al finalizar el bioensayo, en el humus generado el pH fue de 6.80, un pH idóneo para el crecimiento de las lombrices.

En la Figura N°7, los gráficos de dosis respuesta comparando las semanas 4, 8 y 12 indican una mayor mortalidad de las lombrices en función al tiempo.

Las Figura N°8 y 9 muestran el cálculo de CL5, CL10 y CL50. Según la EPA el CL5, representaría la concentración más alta que no causa efecto (NOEC) y CL10, la concentración más baja que causa efecto (LOEC). De acuerdo con los resultados obtenidos para el residuo wet blue, estos valores serían 0.010 ($\text{g}_{\text{residuo}}/\text{g}_{\text{sustrato}}$) (NOEC) y 0.015 ($\text{g}_{\text{residuo}}/\text{g}_{\text{sustrato}}$) (LOEC).

Por otro lado, al comparar el valor de CL5 (NOEC) alcanzado en la semana 7 (0.01 ($\text{g}_{\text{residuo}}/\text{g}_{\text{sustrato}}$)), este resultado difiere con lo encontrado por Buleje et al. (2019), quien determinó una concentración tolerante de 0.04 ($\text{g}_{\text{residuo}}/\text{g}_{\text{sustrato}}$) (NOEC), considerando un bioensayo de 7 semanas y como organismo de prueba a la lombriz *Eisenia fetida*.

Las diferencias encontradas entre los resultados se deberían a la distinta procedencia de las muestras, principalmente, distintas pieles y distintos procesos productivos.

La toxicidad del residuo wet blue estaría asociada principalmente a la presencia de cromo proveniente del proceso de curtido y a su comportamiento en el sustrato. El cromo en

la sal curtiente tiene un estado de oxidación +3 y por lo tanto esta especie química permanecería en los residuos. Sin embargo, se ha demostrado que bajo ciertas condiciones oxidantes el cromo (III) puede oxidarse a cromo (VI). Esta última especie a diferencia del cromo (III) tiene mayor movilidad y es capaz de atravesar las membranas celulares de los organismos (Rahman et al., 2021). Según Buleje et al., el manganeso del suelo sería uno de los factores que contribuye a la oxidación del cromo.

Se debe destacar también que la supervivencia de las lombrices a concentraciones más bajas se debería a los niveles de colágeno en el residuo que constituyen una fuente de materia orgánica para la supervivencia de las lombrices (Flores et. al, 2023) y a tolerancia de las lombrices a bajas concentraciones de cromo.

4.1.1.3 Bioensayo 3.1 y 3.2 (RTE)

En el caso del Bioensayo 3.1 (RTE), la mortalidad de las lombrices es mucho menor a las obtenidas en los Bioensayo 2 (wet blue) y en el Bioensayo 1 (descarne). La concentración 0.08 ($\text{g}_{\text{residuo}}/\text{g}_{\text{sustrato}}$) alcanzó una mortalidad promedio de 11.3% en la semana 12 para el Bioensayo 3.1 y 8.8% para el Bioensayo 3.2 (RTE). La baja mortalidad en este bioensayo puede deberse a que las lombrices se desarrollaron en una condición de pH favorable para su crecimiento (Ozores-Hampton, 2017). Al finalizar el bioensayo el pH del humus obtenido fue de 7.20.

Con la finalidad de establecer la tolerancia de las lombrices a los residuos se decidió realizar un tratamiento adicional igual a 0.01 ($\text{g}_{\text{residuo}}/\text{g}_{\text{sustrato}}$), encontrándose una mortalidad muy similar a los resultados de las demás concentraciones.

Los residuos RTE, provienen de procesos posteriores al curtido en los que se ha realizado el neutralizado del cuero, el recurtido, el teñido y el engrase. En estos procesos se utilizan agentes deacidulantes como el formiato de sodio, agentes recurtientes, principalmente

taninos vegetales, colorantes sintéticos como anilinas y engrasantes tales como aceites sintéticos (Hansen et al., 2020).

Estudios sobre estos productos químicos reportan una mayor o menor toxicidad, en función de sus características propias, así como diferentes propiedades de biodegradabilidad (Luca & Puccini, 2019). No obstante, los resultados obtenidos con las concentraciones de residuos de cuero utilizados en este experimento han demostrado en un ensayo crónico, mayor a 14 días, que no se estarían generando efectos tóxicos a nivel de individuos, dado que, a la doceava semana, las lombrices habrían consumido los residuos del cuero por ser la principal fuente de nutrientes, conformado, principalmente por el colágeno. Es posible también que las otras sustancias químicas estén siendo degradadas por las lombrices sin llegar estas o sus productos de degradación a un umbral de toxicidad significativo (Gudeta, Kumar et al., 2023)

4.1.1.4 Bioensayo 4.1 y 4.2 (acabado)

Al comparar los resultados de los Bioensayos 4.1 y 4.2 (acabado), se observa una mayor mortalidad de lombrices en el Bioensayo 4.1 (acabado). En el caso del Bioensayo 4.1 (acabado), a partir de la semana 1, en la concentración $0.06 \text{ (g}_{\text{residuo}}/\text{g}_{\text{sustrato}})$ se alcanza el 26.3% de mortalidad, mientras que en el Bioensayo 4.2. en la semana 12 para la concentración $0.01 \text{ (g}_{\text{residuo}}/\text{g}_{\text{sustrato}})$ se alcanzó solo una mortalidad de 2.5%. Este porcentaje es similar a los alcanzados en las muestras del Bioensayo 3.2 (RTE) iguales a 1.3% y 3.8% en la semana 12 para las concentraciones $0.06 \text{ (g}_{\text{residuo}}/\text{g}_{\text{sustrato}})$ y $0.01 \text{ (g}_{\text{residuo}}/\text{g}_{\text{sustrato}})$ respectivamente.

Luego del proceso de RTE, se suman procesos adicionales para lograr la apariencia final del cuero, que está asociada principalmente a su brillo, tacto y color. Para ello, se utilizan anilinas, pigmentos, ceras, aceites, sustancias aglutinantes o ligantes, entre otros (Zugno, 2022). Por ello la toxicidad del cuero acabado está directamente relacionada a los tipos de insumos químicos utilizados, los cuales varían en función de la apariencia deseada para el cuero y en ello radicaría la diferencia entre los Bioensayos 4.1 y 4.2 (acabado). Así, por

ejemplo, el contenido de ciertos pigmentos que contienen aminos aromáticas (Rebelo et al, 2023), tendría influencia en la mayor o menor toxicidad de los residuos (Ardila, Poutou, et al., 2021).

Figura 14

Muestras de cuero utilizadas en el bioensayo 3.1 (RTE) (a la izquierda) y bioensayo 4.1 (acabado) (a la derecha).



Nota: fuente elaboración propia.

Figura 15

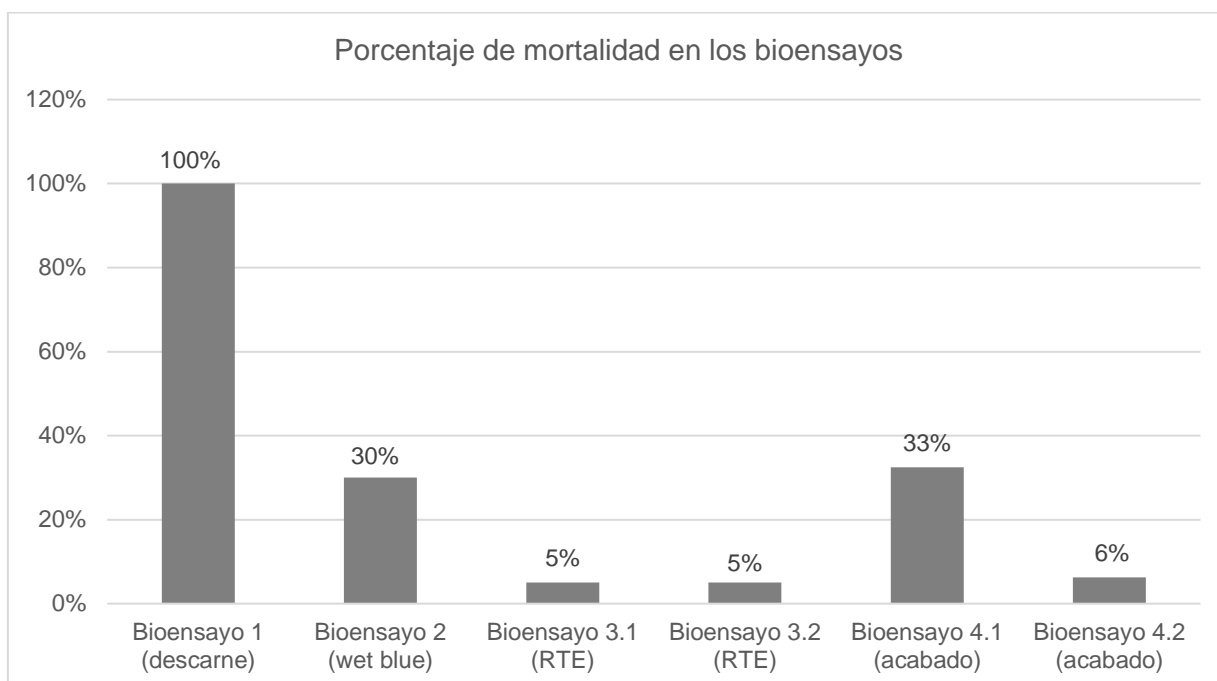
Muestras de Recurtido Teñido y Engrase utilizados en los bioensayos



Nota: fuente elaboración propia.

Figura 16

Gráfica comparativa de la mortalidad en la semana 12 de los bioensayos: acabado 4.2, RTE 3.1 y RTE 3.2.



Nota: 100%, 30%, 5%, 5%, 33% y 6% representa el porcentaje mortalidad de lombrices en la semana 12, para el bioensayo 1 (descarne), bioensayo 2 (wet blue), bioensayo 3.1 (RTE), bioensayo 3.2 (RTE), bioensayo 4.1 (acabado) y bioensayo 4.2 (acabado), respectivamente en la concentración 0.04 (g_{residuo}/g_{sustrato}).

4.1.2 Análisis de los resultados de la caracterización del suelo

En la siguiente tabla se presenta los resultados obtenidos para el análisis de suelo para el bioensayo 1 (descarne), estos resultados son analizados en condiciones postratamiento (luego del bioensayo).

4.1.2.1 Resultados del análisis del suelo para el Bioensayo 1 (descarne)

Tabla 16

Análisis de suelo bioensayo 1 (descarne) concentración 0.04 ($g_{\text{residuo}}/g_{\text{sustrato}}$)

Parámetros	Unidad	DSC - Postratamiento	Requisitos
pH	Unidad logarítmica	8.20	5.00 – 8.00
Materia Orgánica	%	8.28	40.00 – 60.00
Nitrógeno Total (N)	%	0.41	0.50 – 6.00
Conductividad Eléctrica	mmho/cm	5.10	< 6
C:N	Adimensional	15.12	10:1 – 15:1

Nota: fuente elaboración propia

De acuerdo con los resultados obtenidos, el pH, igual a 8.20, podría originar potenciales problemas en el suelo si es utilizado como abono. Dentro de estos problemas se identifica la deficiencia de nutrientes tales como zinc, cobre, boro y manganeso (Queensland Government, 2023).

Ravindran et al. (2008), realizaron un experimento de vermicompostaje de residuos de descarnes utilizando lombriz *Eisenia fetida*, encontrando una reducción de 1.3 unidades en el pH respecto al control, obteniendo un valor final de pH postratamiento de 6.74, esto debido a que el descarnes fue mezclado con estiércol de vaca y residuos agrícolas.

En el caso de la presente investigación el pH del suelo, utilizando solo residuos de descarnes llegó a 8.20, debido a las sales básicas presentes en los residuos, que no fueron neutralizados en el proceso.

En cuanto al porcentaje de materia orgánica, se determinó un valor muy inferior al requisito establecido, debido probablemente a que en la mezcla de sustratos no se añadió una fuente de materia orgánica complementaria, por lo que las lombrices tuvieron que agotar la procedente de los residuos del cuero. Cabe destacar que un bajo porcentaje de materia orgánica en el suelo significaría un problema para el crecimiento de las plantas, trayendo además problemas con la fertilidad, la disponibilidad del agua, la compactación, erosión, parásitos y enfermedades (Magdoff & Van Es, 2021).

Para el caso del porcentaje de nitrógeno total, se tiene un porcentaje menor al requisito establecido. De ser utilizado este suelo en el abono de plantas, implicaría una deficiencia en el crecimiento de las plantas o un poco desarrollo, pudiendo ser más susceptible a enfermedades como la clorosis (color amarillento o verde pálido en las hojas) y una maduración más acelerada del fruto (Flores et. al, 2019).

La conductividad y la relación carbono nitrógeno se encuentran dentro de los valores recomendados, lo que indica la potencialidad del residuo para ser utilizados en el vermicompostaje mezclándose con otros residuos que equilibre su pH y aumente la producción de materia orgánica en el humus resultante.

4.1.2.2 Resultados del análisis del suelo para el Bioensayo 2 (wet blue)

La Tabla N°17 presenta los resultados obtenidos para el análisis de suelo en el bioensayo con el residuo de wet blue, para las condiciones pre y post vermicompostaje, respectivamente en el tratamiento 0.04 ($\text{g}_{\text{residuo}}/\text{g}_{\text{sustrato}}$).

Tabla 17

Análisis de suelo bioensayo 2 (wet blue)

Parámetros	Unidad	Wet blue - Pretratamiento	Wet blue - Postratamiento	Requisitos
pH	Unidad logarítmica	6.80	7.50	5.00 – 8.00
Materia Orgánica	%	7.70	11.51	40.00 – 60.00
Nitrógeno Total (N)	%	0.38	0.58	0.50 – 6.00
Conductividad Eléctrica	mmho/cm	6.92	12.14	< 6
C: N	Adimensional	19.16	12.71	10:1 – 15:1

Nota: fuente elaboración propia

De acuerdo con los resultados, luego de 12 semanas de vermicompostaje se observa un aumento de pH en el humus, que tendría su origen en los compuestos químicos que se originan en la degradación de los residuos de cuero. Probablemente la degradación del colágeno, con alto contenido de nitrógeno haya originado la generación de amoníaco, el cual

originan en la degradación de los residuos de cuero. Probablemente la degradación del colágeno, con alto contenido de nitrógeno haya originado la generación de amoníaco, el cual contribuiría a elevar el pH (FAO, 2015), no obstante, el valor final de pH es un valor adecuado para el cultivo de plantas según los requisitos.

El porcentaje de materia orgánica post tratamiento se encuentran muy por debajo de los requisitos establecidos; sin embargo, se evidenció un incremento en su contenido luego del tratamiento, el cual podría estar asociada al aumento de la biomasa luego del ensayo (FAO, 2015).

En cuanto al porcentaje de nitrógeno total, su incremento se debería a la degradación de los residuos de cuero, constituido principalmente por la proteína colágeno (FAO, 2015).

Por otra parte, en el caso de la conductividad eléctrica el valor de 12.14 mmho/cm supera el valor establecido en el requisito. Serían las sales provenientes del proceso de curtido las que originarían la alta conductividad, además de iones disponibles y minerales generados durante la degradación de la materia orgánica por las lombrices (Ravindran et al., 2013). El uso de este humus podría causar la inhibición en la germinación de las plantas pudiéndose afectar su crecimiento (Marno, 2017).

Finalmente, en cuanto a la relación carbono nitrógeno (C/N), en el postratamiento se tiene un nivel adecuado en la relación C/N, lo cual indicaría una descomposición adecuada de la materia orgánica, debido a una actividad microbiana normal (Gamarra et al., 2018). No obstante, para lograr un adecuado contenido de materia orgánica, se requiere realizar mezclas con fuentes ricas en carbono (FAO, 2015)

4.1.2.3 Resultados del análisis del suelo para el bioensayo 3.1 y 3.2 (RTE)

Tabla 18

Análisis de suelo bioensayo 3.1 (RTE) y bioensayo 3.2 (RTE)

Parámetros	Unidad	3.1 RTE - Pretratamiento	3.1 RTE - Postratamiento	3.2 RTE - Pretratamiento	3.2 RTE - Postratamiento	Requisit os
pH	Unidad logarítmi ca	7.20	7.30	8.00	7.50	5.00 – 8.00
Materia Orgánica	%	15.35	9.71	12.17	7.76	40.00 – 60.00
Nitrógeno Total (N)	%	0.77	0.49	0.61	0.39	0.50 – 6.00
Conductivid ad Eléctrica	mmho/c m	5.17	6.12	3.47	6.18	< 6
C:N	Adimens ional	12.19	19.08	7.74	14.33	10:1 – 15:1

Nota: fuente elaboración propia

El pH del humus post tratamiento de los residuos RTE, no se incrementó respecto al valor obtenido para los residuos wet blue, lo que, como ya se mencionó, estaría asociada a la descomposición de los residuos de cuero.

En cuanto a la materia orgánica en el humus, se observa una disminución de su contenido respecto al valor inicial antes del tratamiento, en ambas muestras, lo que se debería a la degradación del colágeno por las lombrices y las bacterias asociadas (FAO, 2015). No habiendo otra fuente importante de materia orgánica, se puede considerar que los residuos RTE hasta la semana 12, constituyen una fuente de materia orgánica. No obstante, su contenido post tratamiento es muy bajo para su uso como fertilizante. Ello sustenta, también en este caso, la necesidad de mezcla con otros tipos de residuos para potenciar su utilidad.

El uso directo de este humus con este contenido de materia orgánica implicaría una mayor susceptibilidad de problemas en el crecimiento de las plantas, trayendo además problemas con la fertilidad, disponibilidad del agua, compactación, erosión, parásitos y enfermedades (Magdoff & Van Es, 2021).

En cuanto al contenido de nitrógeno, se observa una disminución de este en ambas muestras, y estaría asociado a la degradación de la fuente proteica del residuo. No obstante, los valores reportados, al encontrarse dentro de los requisitos, contribuirían al desarrollo normal de las plantas (Flores et al., 2019), por ello que la adición de materia orgánica sugerida incluiría, principalmente, fuentes de carbono, tales como residuos agrícolas (FAO, 2015).

En el caso de la conductividad eléctrica, en ambos tratamientos, se observa un incremento de la misma en aproximadamente una unidad, siendo menor que la conductividad del humus obtenido a partir de los residuos de wet blue y ligeramente mayor que el requisito. Este resultado se explicaría en que los procesos adicionales por los que pasa el cuero a partir del wet blue lavarían o lixiviarían el contenido de sales incorporados en las etapas iniciales.

En cuanto a la relación carbono nitrógeno (C:N), en el postratamiento, el humus resultante, en el caso del bioensayo 3.1 (RTE), tiene un valor igual a 19.08, superando el requisito, mientras que el bioensayo 3.2 (RTE) con un valor de 14.33 se mantiene dentro de los requisitos, por ello la incorporación de materia orgánica rica en carbono, debe realizarse considerando el aporte de nitrógeno del cuero para lograr una adecuada relación C:N. Según la FAO (2015), el humus procedente del vermicompostaje debe tener un valor entre 10 – 11.

4.1.2.4 Resultados del análisis del suelo para el Bioensayo 4.1 y 4.2 (acabado)

Tabla 19

Análisis de suelo bioensayo 4.1 (acabado) y bioensayo 4.2 (acabado).

Parámetros	Unidad	4.1 ACB - Pretratamiento	4.1 ACB - Postratamiento	4.2 ACB - Pretratamiento	4.2 ACB - Postratamiento	Requisitos
pH	Unidad logarítmica	7.20	7.30	8.00	7.50	5.00 – 8.00
Materia Orgánica	%	15.58	18.03	6.29	9.44	40.00 –60.00
Nitrógeno Total (N)	%	0.78	0.90	0.31	0.47	0.50 – 6.00
Conductivid ad Eléctrica	mmho/cm	4.03	5.46	3.97	7.99	< 6
C:N	Adimensi onal	13.03	10.18	15.10	11.98	10:1 – 15:1

Nota: fuente elaboración propia.

Los valores de pH del humus procedente de los tratamientos acabado 1 y 2, no varían respecto a los de recurtido, teñido y engrase (RTE) y se mantiene en un rango adecuado para la supervivencia de las lombrices. No obstante, en la muestra de acabado 1 se encontró un porcentaje de mortalidad mucho mayor al término del experimento, lo cual se relacionaría con el contenido de materia orgánica, que en el caso de la muestra acabado 1, antes y después del tratamiento es mayor respecto a acabado 2. Estos niveles estarían asociados, además del contenido proteico, a la cantidad y naturaleza de otros componentes químicos orgánicos adicionados en el proceso para lograr un determinado tipo de acabado.

En lo que se refiere al contenido de nitrógeno en estos tratamientos se observa un aumento de la concentración a diferencia de los tratamientos RTE, lo cual se explicaría en los compuestos orgánicos adicionales que se incorporan en el proceso de acabado.

La conductividad eléctrica muestra la misma tendencia que las muestras de humus proveniente del RTE, que indican la liberación de sales en el proceso de vermicompostaje. Por otro lado, como se indicó en el apartado anterior, a pesar de que la relación C:N final se

encuentre dentro de los valores recomendados, es necesario incorporar una fuente de carbono que cubra la deficiencia de materia orgánica en el residuo.

A partir del análisis del humus obtenido en los tratamientos se puede concluir que los residuos del proceso de curtiembre tienen potencial para ser vermicompostados, siendo necesario su mezcla con otros residuos que complementen sus propiedades fisicoquímicas intrínsecas para obtener fertilizantes de acuerdo con los requisitos establecidos. En este sentido resulta importante el análisis de sustancias trazas, que no se degradarían en el proceso, como el contenido de cromo en sus dos estados de oxidación más relevantes III y VI, así como otros metales pesados que pudieran provenir de los insumos utilizados en el proceso de curtición.

4.1.3 Análisis de los resultados de la espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR, por sus siglas en inglés)

La Espectroscopia de Infrarrojo por Transformada de Fourier (FTIR por sus siglas en inglés) es una técnica analítica utilizada en química y en ciencias de materiales para obtener información sobre las vibraciones moleculares de una muestra. Se fundamenta en el principio de que las moléculas absorben la radiación infrarroja en frecuencias específicas que corresponden a las vibraciones de los enlaces químicos dentro de la molécula (Pinares, 2023). Cuando la muestra se expone a la radiación infrarroja, ciertas longitudes de onda son absorbidas por las vibraciones de los enlaces químicos, mientras que otras son transmitidas. El espectro resultante muestra la absorción de energía en función de la longitud de onda, lo que proporciona información sobre la estructura molecular y la composición de la muestra. El análisis de estos espectros puede revelar información sobre los grupos funcionales presentes en la muestra, así como sobre la identificación de compuestos y la caracterización de materiales.

En el presente trabajo de investigación se aplicó FTIR a los residuos antes y después de ser compostados usando un espectrofotómetro SHIMADZU QATR 10 en el espectro de 4000-650 cm^{-1} .

4.1.3.1 Análisis de los espectros de FTIR

Las Figuras N° 17, 18, 20 y 21 muestran los espectros FTIR de las muestras de suelo.

En los espectros FTIR de las figuras mencionadas, la banda en el rango de 3200 a 3500 cm^{-1} indicaría la presencia de grupos hidroxilo (OH^-) provenientes del compost y de los residuos de cuero. Tanto el compost como los residuos pueden presentar materia orgánica que contenga grupos OH^- , como alcoholes, fenoles y ácidos carboxílicos. Así mismo indicaría la presencia de agua absorbida proveniente del compost debido a su naturaleza húmeda, y/o al contenido de agua residual en los residuos de cuero (Rosu et al., 2017) (Abdulla-Al-Mamun, 2023).

Los picos entre 2920 y 2846 cm^{-1} podrían ser el resultado de las vibraciones de estiramiento de los enlaces carbono e hidrógeno (C-H) en grupos metilo (CH_3) y metileno (CH_2). Estos grupos son comunes en una variedad de compuestos orgánicos, incluidos los presentes en la materia orgánica del compost y los residuos de cuero (Rosu et al., 2017) (Abdulla-Al-Mamun, 2023).

El rango de 1625 a 1669 cm^{-1} en un espectro FTIR está asociado principalmente con las vibraciones de estiramiento de los enlaces (C=C) en los sistemas conjugados, como los dobles enlaces en alquenos y en grupos aromáticos, podrían estar relacionados con los enlaces C=C en los lípidos y grasas presentes en la matriz del cuero, así como con compuestos aromáticos derivados de tratamientos químicos durante el proceso de curtido (Mehta et al., 2020). Las vibraciones de 1637 cm^{-1} corresponderían a la absorción de carbonilo o banda amidal (Rosu et al., 2017). Alrededor de este valor, también se pueden encontrar a la

amida I (vibración de estiramiento C=O del esqueleto peptídico del colágeno y del grupo carboxilo de la cadena lateral). Asimismo, en las muestras se encuentran picos alrededor de 1547cm^{-1} y 1241cm^{-1} que corresponderían a la amida II (combinación de la flexión N-H y la vibración de estiramiento de la flexión de C-N) y amida III (deformación N-H acoplada con la vibración de estiramiento C-N) (Sathish et al., 2019).

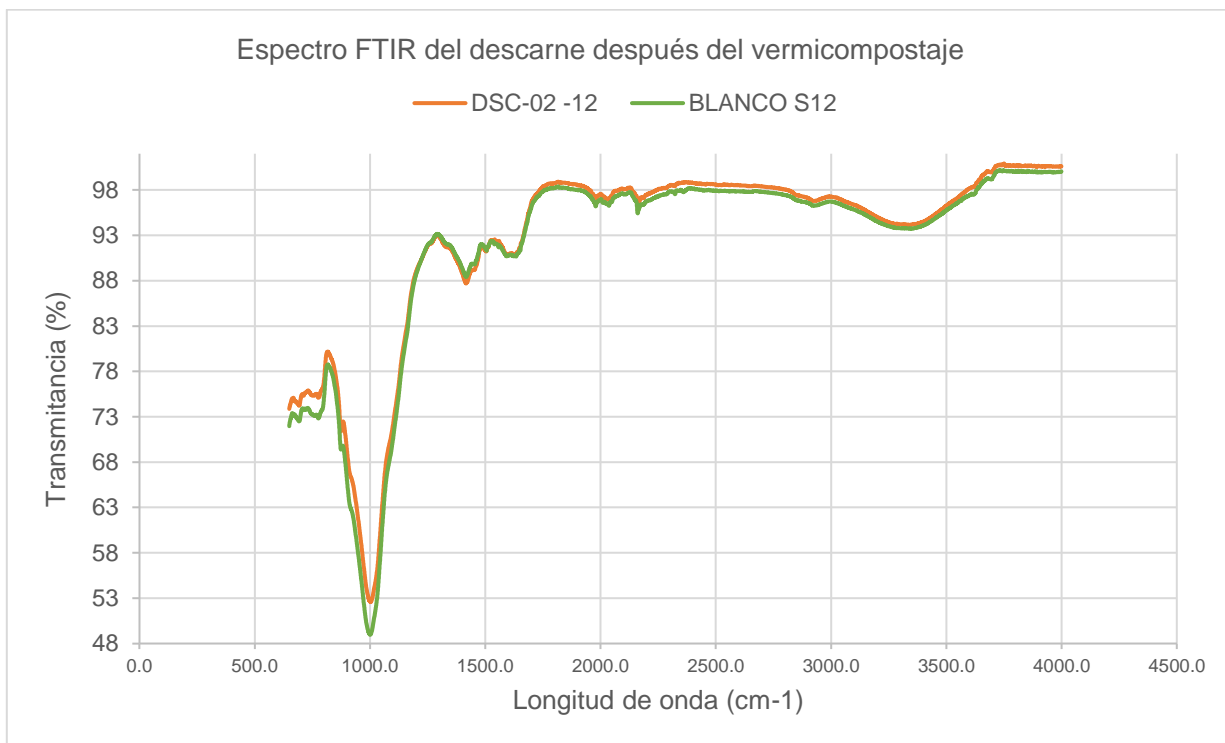
El rango de 996 a 1009 cm^{-1} estaría asociado con la presencia de oxígeno en grupos carbonilo (C=O) y podrían proceder de varios compuestos orgánicos presentes en los materiales de partida y sus productos de descomposición durante el proceso vermicompostaje (Abdulla-Al-Mamun, 2023). En el caso de los residuos de cuero, los picos en este rango también podrían estar relacionados con los enlaces C-H presentes en los lípidos y grasas residuales del cuero, así como en otros componentes orgánicos de la matriz proteica (Abidi, 2023).

4.1.3.2 Análisis del espectro de FTIR para el Bioensayo 1 (descarne)

En la Figura N°17, se muestra el espectro FTIR para el residuo de descarte post tratamiento en la semana 12. Se observa una ligera disminución de la intensidad de ciertos grupos funcionales respecto al blanco, lo que se debería a la degradación de los residuos de parte de las lombrices y los microorganismos asociados. Este espectro correspondió a la concentración tolerante para los residuos de descarte fue de $0.02\text{ (g}_{\text{residuo}}/\text{g}_{\text{sustrato}})$.

Figura 17

Espectro FTIR del Bioensayo 1 (descarne)



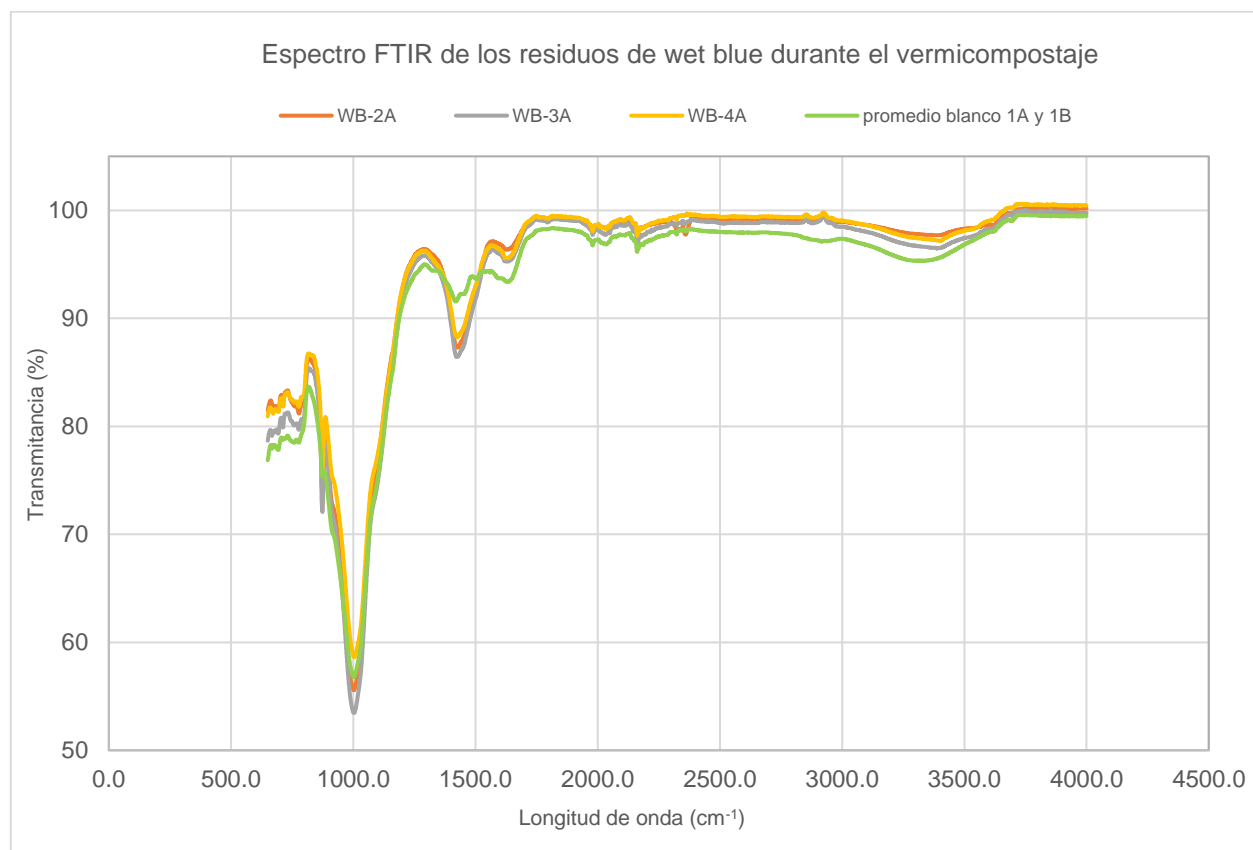
Nota: fuente elaboración propia.

4.1.3.3 Análisis del espectro de FTIR para el Bioensayo 2 (wet blue)

En la Figura N°18 se muestra la gráfica FTIR para las muestras de residuos de Bioensayo 2 (wet blue) antes y después del tratamiento.

Figura 18

Gráfica FTIR para el Bioensayo 2 (wet blue)



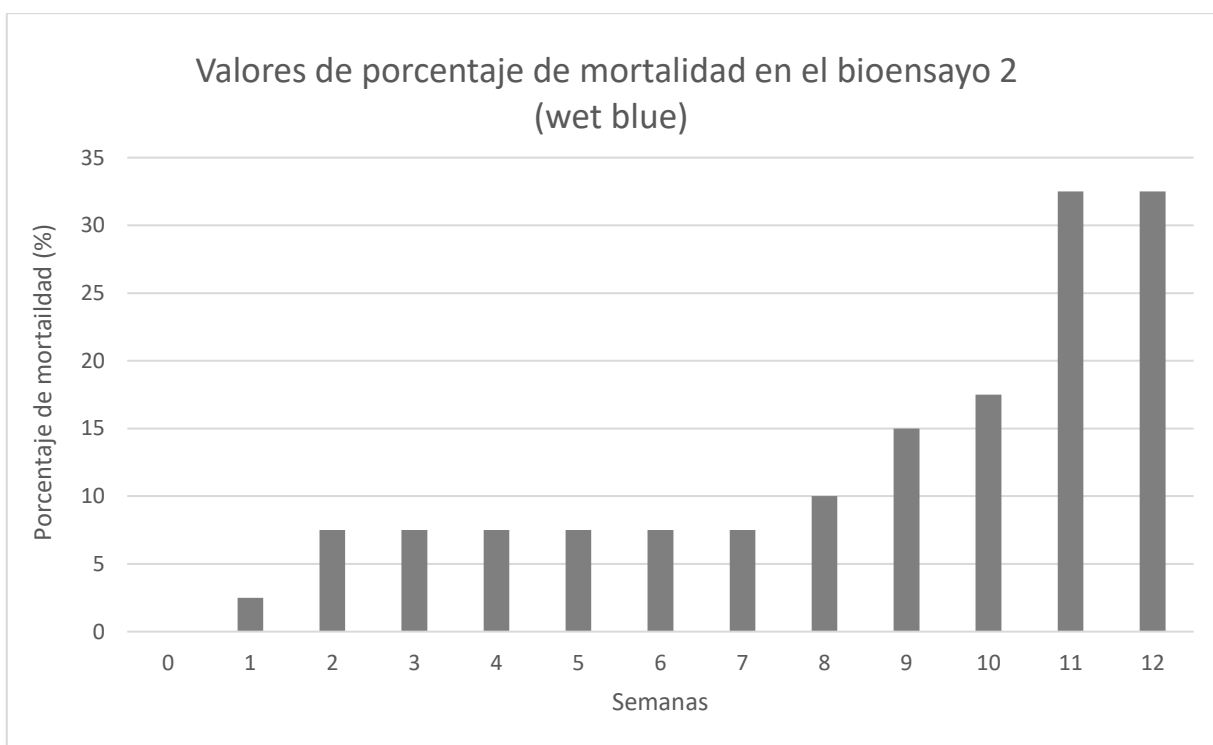
Nota: fuente elaboración propia

Se observa el aumento de la intensidad alrededor del pico 1434 cm⁻¹. Este pico podría estar relacionado con la vibración de estiramiento del enlace C-H en grupos alquilo presentes en los residuos de cuero (Mehta et al., 2020) (Rosu et al, 2018). Durante el proceso de vermicompostaje, los microorganismos y las lombrices descomponen la materia orgánica, lo que puede aumentar la concentración de compuestos alquilo como resultado de la degradación de lípidos, proteínas y carbohidratos. Un aumento en la intensidad del pico en 1434 cm⁻¹ podría reflejar un aumento en la cantidad de grupos alquilo presentes en la muestra debido a esta actividad biológica.

Estos procesos de degradación podrían ir generando sustancias que resultan tóxicas para las lombrices lo que condicionaría su mortalidad. Buleje demostró que no existe acumulación de cromo en las lombrices y sugirió que este se mantendría inmovilizado en la materia orgánica del suelo. Por otro lado, la disminución de la intensidad de otros picos, indican que a este nivel las lombrices podrían estar consumiendo proteínas y lípidos, lo que se reflejaría en el nivel de supervivencia determinado. En la Figura N°19 se presenta los valores de la mediana para el porcentaje de mortalidad para el bioensayo 2 (wet blue) en la concentración 0.04 ($\text{g}_{\text{residuo}}/\text{g}_{\text{sustrato}}$). Se observa que el porcentaje de mortalidad incrementa con el pasar de las semanas llegando hasta un 32.5% en la semana 12.

Figura 19

Valores de porcentaje de mortalidad en el bioensayo 2 (wet blue)



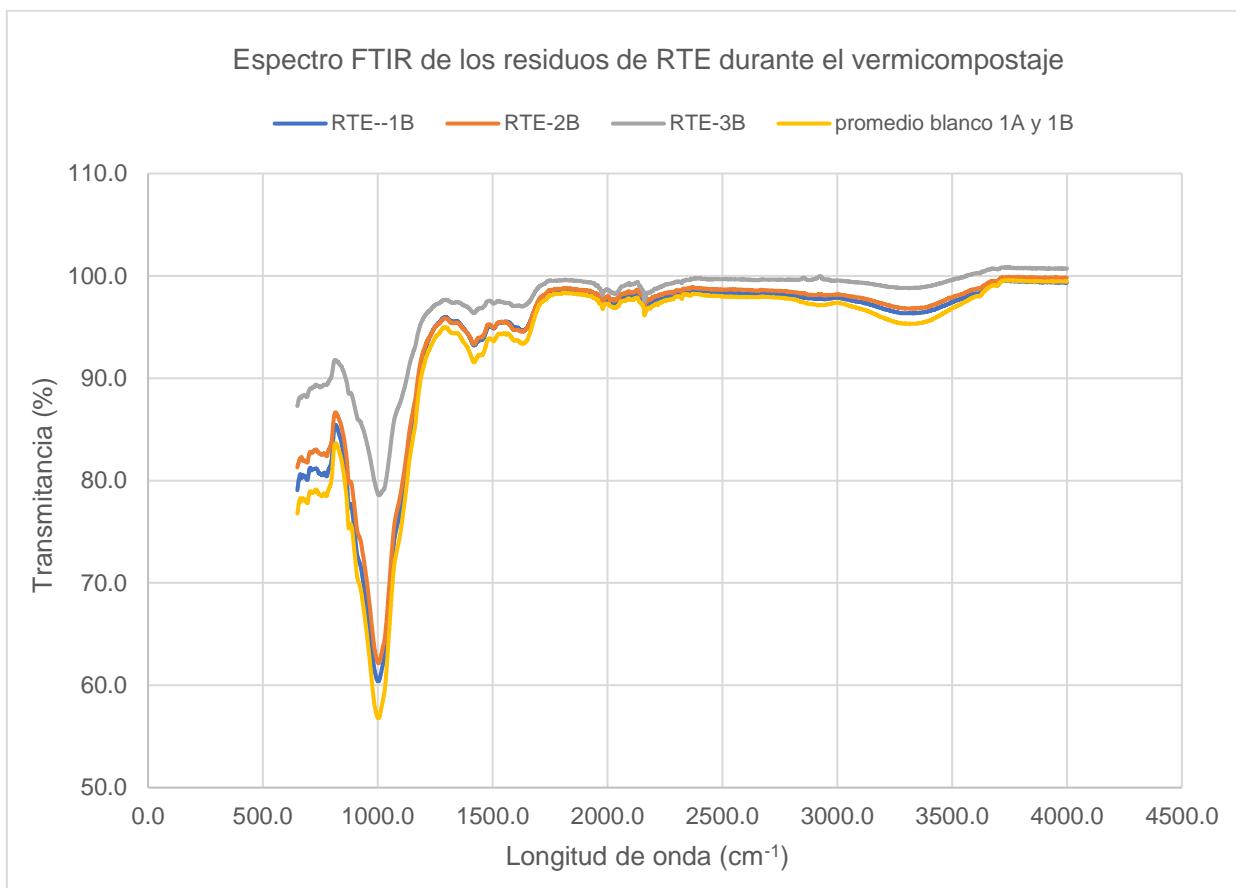
Nota: fuente elaboración propia.

4.1.3.2.3 Análisis del espectro de FTIR para el Bioensayo 3.1 (RTE)

En la Figura N°20 se muestra la gráfica FTIR para el Bioensayo 3.1 (RTE)

Figura 20

Gráfica FTIR para el bioensayo 3.1 (RTE).



Nota: fuente elaboración propia.

A partir del análisis FTIR para las muestras del bioensayo 4.1 (RTE) se concluye que existe la posibilidad de que ciertos grupos funcionales, como los grupos hidroxilo (-OH) de alcoholes o ácidos carboxílicos, sean consumidos o transformados en otros compuestos a medida que progresa la descomposición de la materia orgánica. Este proceso podría dar lugar a una disminución en la intensidad de las vibraciones en el rango de 3200 a 3500 cm⁻¹. Lo mismo ocurriría con los lípidos, evidenciado por un pico alrededor de 1000 cm⁻¹. Estos cambios

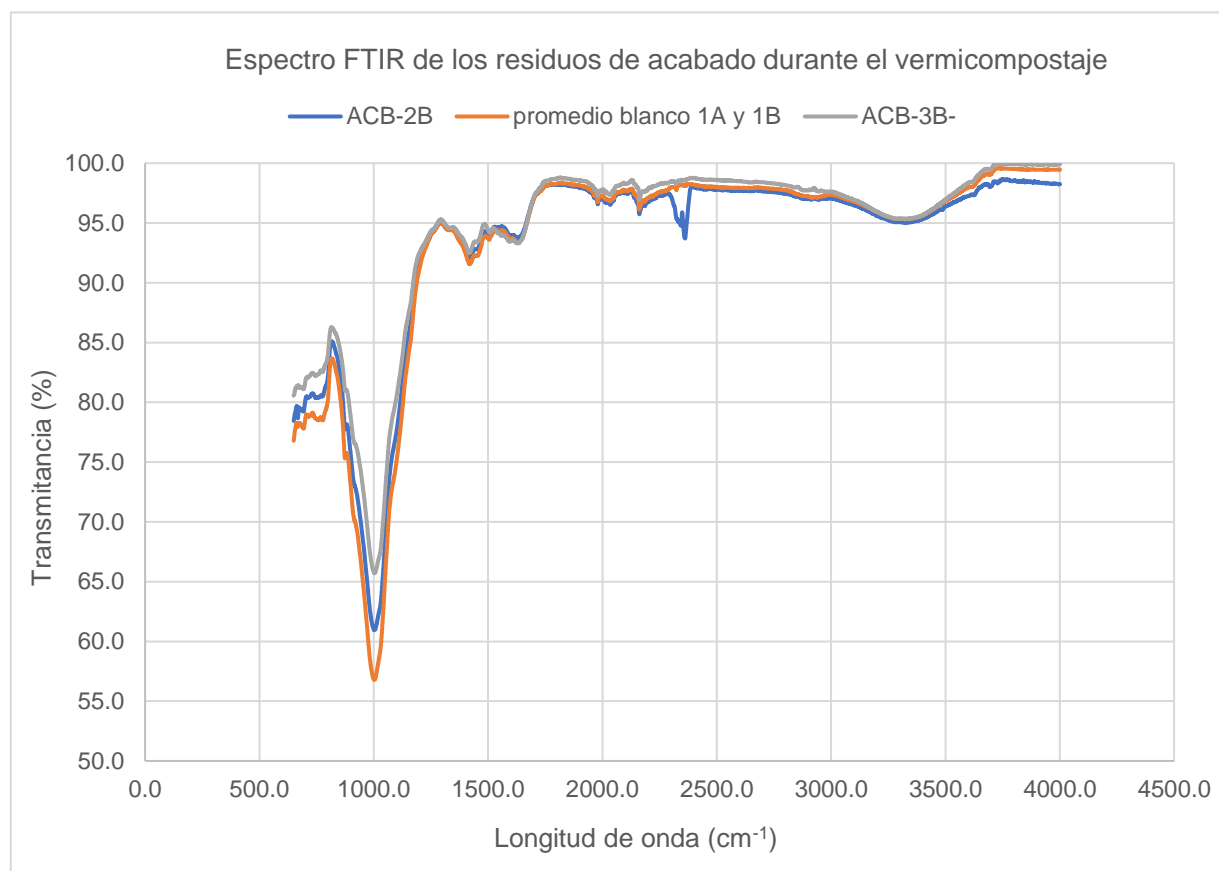
se relacionan con la supervivencia de las lombrices cuando se utiliza una concentración de 0.04 g de cuero por g de sustrato.

4.1.3.4 Análisis del espectro de FTIR para el Bioensayo 4.1 (acabado)

En la Figura N°21 se muestra la gráfica FTIR para el Bioensayo 4.1 (acabado).

Figura 21

Gráfica FTIR para el bioensayo 4.1 (acabado)



Nota: fuente elaboración propia.

Del análisis FTIR para el Bioensayo 4.1 (acabado), al igual que para las muestras, se infiere que es posible que algunos grupos funcionales, como los grupos hidroxilo (-OH) de alcoholes o ácidos carboxílicos, se consuman o se conviertan en otros compuestos a medida que avanza la descomposición de la materia orgánica. Ello sustentado en la disminución de la

intensidad de las vibraciones en el rango de 3200 a 3500 cm^{-1} . Lo mismo sucedería con los lípidos (pico alrededor de 1000 cm^{-1}). Estos resultados sustentan la alta supervivencia de las lombrices para la concentración 0.04 ($\text{g}_{\text{cuero}}/\text{g}_{\text{sustrato}}$).

4.2 Contrastación de hipótesis

4.2.1 Hipótesis Principal

Si el nivel de ecotoxicidad observado en la línea de proceso de curtición bovina llega a explicarse o a definirse, entonces es posible probar su potencial como abono.

4.2.1.1 Contrastación de Hipótesis Principal

De acuerdo con los resultados del análisis del suelo, se tiene un vermicompost con mayor factibilidad de poder ser utilizado como abono para el caso del bioensayo 3.2 (RTE) y bioensayo 4.2 (acabado), dado que presentan una menor toxicidad en comparación con los residuos del bioensayo 1 (descarne), bioensayo 2 (wet blue), bioensayo 3.1 (RTE) y bioensayo 4.1 (acabado).

Los resultados del análisis indican un mayor cumplimiento en los requisitos en el caso del humus de los bioensayos 2 (wet blue) y bioensayo 4.1 (acabado), teniendo en ambos casos niveles adecuados de pH, siendo este ligeramente básico y siendo señal de un compost maduro (Hoildal & Annie, 2021), por otro lado, ambos Bioensayos evidenciaron niveles cercanos de materia orgánica, esto implicó una actividad microbiana más estimulada. En el caso del Nitrógeno Total (N) se tuvieron niveles adecuados lo cual significa un suelo con menor propensión a presentar enfermedades en plantas como clorosis, por otra parte, en cuanto a los niveles de conductividad eléctrica en el caso del Bioensayo 2 (wet blue) se tuvo valores mayores al requisito establecido, esto indica una mayor probabilidad de presentar inhibición de la germinación en plantas (Alromian et al., 2013). Finalmente, en ambos casos se observó

una adecuada cantidad de carbono nitrógeno, lo cual significa un nivel adecuado de descomposición de la materia orgánica y una actividad microbiana moderada.

Por consiguiente, el vermicompost del residuo de wet blue y acabado, es más factible de ser utilizado potencialmente como abono, siempre que pueda ser enriquecido, a fin de alcanzar valores óptimos.

4.2.2 Hipótesis Secundaria

Los parámetros ecotoxicológicos de cada tipo de residuo tienen una relación inversa a la cantidad de procesos³ individuales.

4.2.2.1 Contrastación de Hipótesis Secundaria

La hipótesis presenta que a mayor cantidad de procesos individuales se esperaría un mayor valor en los parámetros ecotoxicológicos utilizados. De lo analizado se tiene (considerado como parámetro ecotoxicológico a la mortalidad) que al realizar el tratamiento de los residuos con mayor cantidad de procesos individuales se presenta una menor mortalidad en las lombrices, por tanto, se cumple con la relación inversa planteada en la hipótesis secundaria. Esto se da debido a condiciones de pH del sustrato, así como también la presencia de sustancias orgánicas procedentes de la degradación del contenido proteico de los residuos (Yuvaraj et. al, 2020).

³ Entre mayor cantidad de procesos mayor cantidad de insumos químicos.

Conclusiones

Se determinó que la *Eisenia fetida* tiene diferente tolerancia a los residuos del proceso de curtición: los residuos de descarte tienen la más baja tolerancia respecto a los residuos wet blue, RTE y acabado, mientras que los residuos de RTE tienen la tolerancia más alta, concluyéndose que, a mayor cantidad de procesos individuales, las lombrices presentan una mayor tolerancia en el tratamiento, debido, principalmente, al cambio de las condiciones de pH del sustrato ocasionado por los residuos y a la presencia de sustancias orgánicas procedentes de la degradación de estos. Por otro lado, para los residuos procedentes del acabado, la tolerancia de las lombrices esta condicionada al tipo de acabado aplicado al cuero.

Se concluye que las lombrices rojas californianas, tienen la capacidad de degradar los residuos provenientes de la curtición de pieles en función a su concentración y toxicidad característica.

Así mismo, se determina que la calidad del humus obtenido en la degradación de los residuos por las lombrices tiene condiciones para ser utilizada como abono, siempre que se pueda añadir sustancias que mejoren sus propiedades. Por lo tanto, se concluye que el vermicompostaje es una técnica viable para la valorización de los residuos sólidos procedentes de la curtición de pieles.

Recomendaciones

Continuar con las investigaciones en torno a la aplicación del vermicompostaje para el tratamiento de los residuos sólidos procedentes de la curtición de pieles, considerando la adición de otros residuos con alto contenido en carbono, tal como el estiércol para mejorar la calidad del humus obtenido.

Se sugiere continuar desarrollando bioensayos considerando los residuos sólidos procedentes de los procesos no desarrollados en esta investigación (pelambre), a fin de observar si los resultados tendrán las mismas características que los residuos sólidos analizados en la presente investigación.

Evaluar la realización del monitoreo de suelo post tratamiento, considerando como parámetro de análisis el cromo, dado que el cromo es un contaminante presente en el proceso de curtido bovino, que influye en la toxicidad de los residuos.

Referencias bibliográficas

- Abdulla-Al-Mamun, Md., Hossain, N., Hossain, M. I., & Sultana, R. (2023). Conversion of Leather Industry Solid Waste to Organic Fertilizer by Vermicomposting: Use for Plant Growth. *Textile & Leather Review*, 6 (February), 37–56. <https://doi.org/10.31881/tlr.2022.82>
- Aguaysa, P. (2013). Universidad Técnica de Ambato. Recuperado de Universidad Técnica de Ambato.
- Agyin-Birikorang, S., Adu-Gyamfi, R., Kadyampakeni, D.M., Chambers, R.A., Tindjina, I., Dauda, H.W. (2023). Lime Microdosing: A new liming strategy for increased productivity in acid soils. *Soil Science Society of America Journal*. 88:136-151. <https://doi.org/10.1002/saj2.2061>.
- Alromian, F., Al-Turki, A., El-Hadidy, Y., & Al-Romian, F. (2013). Assessment of chemical properties of locally composts produced in Saudi Arabia. *Article in International Journal of Current Research*, December 2013. <https://www.researchgate.net/publication/342466898>
- Ana Paula Oliveira Resende, Vanessa Santana Vieira Santos, Carlos Fernando Campos, Cássio Resende de Moraes, Edimar Olegario de Campos Júnior, Antônio Marcos Machado de Oliveira & Boscolli Barbosa Pereira (2018) Ecotoxicological risk assessment of contaminated soil from a complex of ceramic industries using earthworm *Eisenia fetida*, *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 81:20, 1058-1065. <https://doi.org/10.1080/15287394.2018.1528572>.

- Ardila, L., Poutou, R., Pedroza, A. & Quevedo, B. (2021). A Brief History of Colour, the Environmental Impact of Synthetic Dyes and Removal by Using Laccases. *Molecules*. 2021 Jul; 26(13): 3813. <https://doi.org/10.3390/molecules26133813>.
- Baran, K. P. (2014). Toxicity Testing, Inhalation. In *Encyclopedia of Toxicology: Third Edition* (Third Edition, Vol. 4). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.00952-0>.
- Buleje, R; Marrufo, L. (2019). Determinación de la concentración tolerante de la *Eisenia fetida* a residuos sólidos con cromo procedentes de curtiembres. I Congreso Internacional de Manejo de Residuos Sólidos Industriales y Peligrosos.
- Bigorgne, E., Cossu-Leguille, C., Bonnard, M., & Nahmani, J. (2010). Genotoxic effects of nickel, trivalent and hexavalent chromium on the *Eisenia fetida* earthworm. *Chemosphere*, 80(9), 1109–1112. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.05.039>
- Carlos Garcia, Paolo Nannipieri, Teresa Hernandez, Chapter 9 - The Future of Soil Carbon, Editor(s): Carlos Garcia, Paolo Nannipieri, Teresa Hernandez, The Future of Soil Carbon, Academic Press, 2018, Pages 239-267, ISBN 9780128116876, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811687-6.00009-2>.
- Castañeda, Y., Vargas, R., Césare, M., & Visitación, L. (2017). Remojo Convencional y enzimático de pieles , por Evaluation and Treatment of Effluents of the Convencional and the Enzymatic Leather Soaking Processes, by Protein Precipitation and Coagulation. *Revista Sociedad Química Del Perú*, 82(4), 440–453.
- Chojnacka K., Skrzypczak D, Mikula K., Witek-Krowiak A., Izydorczyk G., Kuligowski K., Bandrów P. and Kulazynski M. (2021). Progress in sustainable technologies of leather wastes valorization as solutions for the circular economy. *Journal of Cleaner Production* 313, 127902. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127902>.

Cueronet. (s.f.). Recurtido, Rebajado. Obtenido de Cueronet.com
<https://biblioteca.org.ar/libros/cueros/recurtido.htm>

Cueronet. (s.f.). Dividido. Obtenido de Cueronet.com
<https://biblioteca.org.ar/libros/dividido.htm>.

Di Carlo, E., Boullemant, A., Poynton, H., & Courtney, R. (2020). Exposure of earthworm (Eisenia fetida) to bauxite residue: Implications for future rehabilitation programmes. *Science of The Total Environment*, 716, 137126.
<https://doi:10.1016/j.scitotenv.2020.137126>.

Duque A. (2019). Diseño de un sistema de recuperación en el proceso de curtido de cuero al cromo en curtiembres (búfalo). Departamento de ingeniería química Medellín, Colombia.

Dugalić, Marijana, Ljubomir Životić, Boško Gajić, and Dragana Latković. 2024. "Small Doses of Lime with Common Fertilizer Practices Improve Soil Characteristics and Foster the Sustainability of Maize Production" *Agronomy* 14, no. 1: 46.
<https://doi.org/10.3390/agronomy14010046>.

FAO - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2015). Manual de compostaje del agricultor. *Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe*.

Fox, D. R. (2016). Contemporary Methods for Statistical Design and Analysis. In *Marine Ecotoxicology*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803371-5.00002-3>.

Florencia, M., Plasencia, A., Corbella, R., Andina, D., Sanzano, A., Sosa, F., & Fernandez, J. (2019). *Edafologia.com.ar*. Obtenido de Edafologia.com.ar: www.edafologia.com.ar

- Flores, T., Luis, M., Mirari, A., Giovanny F. (2023). Universidad Técnica de Ambato. <https://doi.org/10.31243/id.v17.2023.2042>.
- Galanakis, C. (2017). Handbook of grape processing by-products. In C. Galanakis, Handbook of grape processing by-products. Academic Press.
- Gamarra Lezcano, Cynthia Carolina, Díaz Lezcano, Maura Isabel, Vera de Ortiz, Mirtha, Galeano, María del Pilar, & Cabrera Cardús, Antero José Nicolás. (2018). Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 9(46), 4-26. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i46.134>.
- Gonzalez Ana M., J.S. Raisman. (s.f.). El proceso de curtido. Recuperado de: http://www.biologia.edu.ar/tesis/forcillo/proceso_de_curtido.htm.
- Gudeta, K., Kumar, V., Bhagat, A., Mohan, J., Ahmad Bhat, S., Ameen, F., Qadri, H., Singh, S., & Amarowicz R. (2023). Ecological adaptation of earthworms for coping with plant polyphenols, heavy metals, and microplastics in the soil: A review. *Heliyon*. 2023 Mar; 9(3): e14572. <https://10.1016/j.heliyon.2023.e14572>.
- Guzmán Ordóñez, K., & Luján Pérez, M. (2010). Reducción de emisiones de la etapa de pelambre en el proceso de curtido de pieles. *Acta Nova*, 4(4), 464–492.
- Hashem, Md. Abul & Nur-A-Tomal, Md. Shahruk & Mondal, Biplab. (2014). Solid waste generation during fleshing operation from tannery and its environmental impact: Bangladesh perspective. Conference: 2nd International Conference on Advances in Civil Engineering 2014 (ICACE-2014) At: CUET, Chittagong, Bangladesh.
- Hansen É., Monteiro P., Witt A., Kern J., Luiza A., Gutterres M. (2020). Impact of post-tanning chemicals on the pollution load of tannery wastewater. *Journal of Environmental Management*, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110787>.

- Jini, R.; Bijinu, B.; Baskaran, V.; Bhaskar, N. (2016). Utilization of Solid Wastes from Tanneries as Possible Protein Source for Feed Applications: Acute and Sub-acute Toxicological Studies to Assess Safety of Products Prepared from Delimed Tannery Fleshings. *Waste and Biomass Valorization*, 7(3), 439–446. doi:10.1007/s12649-015-9463-3.
- Liliana Rosu, Cristian–Dragos Varganici, Andra–Manuela Crudu, Dan Rosu, Adrian Bele (2017), Ecofriendly wet–white leather vs. conventional tanned wet–blue leather. A photochemical approach, *Journal of Cleaner Production*, [https://doi:10.1016/j.jclepro.2017.12.237](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.237).
- IBM. (2021). IBM - SPSS Statistics. Retrieved from IBM - SPSS Statistics: <https://www.ibm.com/docs/es/spss-statistics/25.0.0?topic=regression-probit-analysis>.
- Íñiguez, G., Rodriguez, R., & Virgen, G. (2006). Compostaje de material de descarte y aguas residuales de la industria de curtiduría. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 22(3), 113–123.
- Kenton, W. (2021, febrero 8). Investopedia. Recuperado de Investopedia: <https://www.investopedia.com/terms/a/anova.asp>.
- Kohlmann, B., Arroyo, A., Macchi, P. A., & Palma, R. (2018). Biodiversity and Biomonitoring Indexes. *Integrated Analytical Approaches for Pesticide Management*, 83–106. [https://doi:10.1016/b978-0-12-816155-5.00006-3](https://doi.org/10.1016/b978-0-12-816155-5.00006-3).
- Lamers LP, Govers LL, Janssen IC, Geurts JJ, Van der Welle ME, Van Katwijk MM, Van der Heide T, Roelofs JG, Smolders AJ. (2013). Sulfide as a soil phytotoxin-a review. *Front Plant Sci.* 2013 Jul 22; 4:268. doi: 10.3389/fpls.2013.00268.
- Luca A. & Puccini M. (2019). Leather tanning: Life cycle assessment of retanning, fatliquoring and dyeing. *Journal of Cleaner Production* 226(2019) 720 – 729. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.03.335>.

- Marno, F. (2017, noviembre 1). Trace & Save. Trace & Save: <http://traceandsave.com/what-can-electrical-conductivity-tell-us-about-our-soil>.
- Magdoff, F., & Van Es, H. (2021). Building soils for better crops. <https://www.sare.org/wp-content/uploads/Building-Soils-for-Better-Crops.pdf>.
- Noureddine Abidi (2023), FTIR Microspectroscopy. Springer Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-84426-4>.
- Martinez Buitrago, S. Y., & Romero Coca, J. A. (2017). Revisión del estado actual de la industria de las curtiembres en sus procesos y productos: un análisis de su competitividad. *Revista Facultad de Ciencias Económicas*, 26(1), 113–124. <https://doi.org/10.18359/rfce.2357>.
- Maryoung, L. A., Lavado, R., & Schlenk, D. (2014). Impacts of hypersaline acclimation on the acute toxicity of the organophosphate chlorpyrifos to salmonids. *Aquatic Toxicology*, 152, 284–290. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2014.04.017>.
- Mehta, M., Naffa, R., Maidment, C., Holmes, G., & Waterland, M. (2020). Raman and ATR-FTIR spectroscopy towards classification of wet blue bovine leather using ratiometric and chemometric and chemometric analysis. *Journal of Leather Science and Engineering*. <https://doi.org/10.1186/s42825-019-0017-5>.
- Melgar, D. (2000). *Tecnología del Cuero*. Huancayo: Centro de Desarrollo Artesanal Unidad Operativa de Aplicación de Tecnologías.
- Muralidharan, V., Palanivel, S., & Balaraman, M. (2022). Turning problem into possibility: A comprehensive review on leather solid waste intra-valorization attempts for leather processing. *Chemical Engineering Journal*, 399-408. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133021>.

- Sohail, M. I., Arif, M., Rauf, A., Rizwan, M., Ali, S., Saqib, M. & Zia-ur-Rehman M. Chapter 2 - Organic Manures for Cadmium Tolerance and Remediation, *Cadmiun Tolerance in Plants, Agronomic, Molecular, Signaling, and Omic Approaches*, 2019, 19-67. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815794-7.00002-3>.
- Noulas, C., Tziouvalekas, M., & Karyotis, T. (2018). Zinc in soils, water and food crops. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 49(October 2017), 252–260. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2018.02.009>.
- Nunes, R. R., Bontempi, R. M., Mendonça, G., Galetti, G., & Rezende, M. O. O. (2016). Vermicomposting as an advanced biological treatment for industrial waste from the leather industry. *Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 51(5), 271–277. <https://doi.org/10.1080/03601234.2015.1128737>.
- Oliveira Resende, A. P., Santos, V. S. V., Campos, C. F., Morais, C. R. de, de Campos Júnior, E. O., Oliveira, A. M. M. de, & Pereira, B. B. (2018). Ecotoxicological risk assessment of contaminated soil from a complex of ceramic industries using earthworm *Eisenia fetida*. *Journal of Toxicology and Environmental Health - Part A: Current Issues*, 81(20), 1058–1065. <https://doi.org/10.1080/15287394.2018.1528572>
- Organization for Economic Cooperation and Development (OCDE) (1984). Earthworm acute toxicity tests. OCDE Guideline 207. Paris, France.
- Ozores-Hampton, M. (2017). Guidelines for assessing compost quality for safe and effective utilization in vegetable production. *HortTechnology*, 27(2), 162–165. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH03349-16>.
- Peñates F, S., Guzmán D, N., Aguas M, Y., Martínez M, A., & Cury R, K. (2017). Evaluación del proceso de desencalado de residuos de descarnes de un proceso de curtición.

Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA, 9(2), 253.
<https://doi.org/10.24188/recia.v9.n2.2017.607>.

Pérez-Aguilar, H., Lacruz-Asaro, M.A. & Arán-Aís. (2024). F. Bioprocess to valorise fleshing produced in the tanning industry. *Environ Sci Pollut Res* 31, 17718–17731.
<https://doi.org/10.1007/s11356-023-28652-0>.

Pilco Núñez, A., Tinoco Angeles, F., Mamani Pichihua, P., & Yallico Acosta, G. (2018). Remoción de cromo de efluentes de la industria curtiembre mediante electrodiálisis. *Industrial Data*, 21(1), 27-34.

Pinares, Rubén, Machaca, Virgilio, Lozano, Franklin, Quispe, Arturo, Ccopa, Ruth, & Calsin, Bilo. (2023). Comparaciones de la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR), parámetros colorimétricos y porcentaje de medulación en fibra de vicuña. *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 34(4), e25953. Epub 25 de agosto de 2023. <https://dx.doi.org/10.15381/rivep.v34i4.25953>

Puhazhselvan, P. et. Al (2022). Recycling of tannery fleshing waste by a two step process for preparation of retanning agent. *Process Safety and Environmental Protection* (Volume 157, Pagina 59-67). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2021.11.003>.

PRODUCE, BCRP. (s.f.), citado por Peñates F, S., Guzmán D, N., Aguas M, Y., Martínez M, A., & Cury R, K. (2017). Evaluación del proceso de desencalado de residuos de descarnes de un proceso de curtición. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 9(2), 253. <https://doi.org/10.24188/recia.v9.n2.2017.607>

Queensland Government (2023, julio 04). *Soil pH*:

<https://www.qld.gov.au/environment/land/management/soil/soil-properties/ph-levels>

Rahman Z. & Thomas L. (2021), Chemical-Assisted Microbially Mediated Chromium (Cr) (VI) Reduction Under the Influence of Various Electron Donors, Redox Mediators, and

- Other Additives: An Outlook on Enhanced Cr (VI) Removal. *Journal Frontiers in Microbiology* [https://doi: 10.3389/fmicb.2020.619766](https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.619766).
- Ramamoortey et. al (1989), citado por Hashmi GJ, Dastageer G, Sajid MS, Ali Z, Malik MF, Liaqat I. 2017. Leather Industry and Environment: Pakistan Scenario. *International Journal of Applied Biology and Forensics* 1(2):20-25.
- Ravindran, B., Lee, S. R., Chang, S. W., Nguyen, D. D., Chung, W. J., Balasubramanian, B., Sekaran, G. (2019). Positive effects of compost and vermicompost produced from tannery waste-animal fleshing on the growth and yield of commercial crop-tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) plant. *Journal of Environmental Management*, 234, 154–158. [https://doi:10.1016/j.jenvman.2018.12.100](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.12.100)
- Ravindran, B., Dinesh, S. L., Kennedy, L. J., & Sekaran, G. (2008). Vermicomposting of Solid Waste Generated From Leather Industries Using Epigeic Earthworm *Eisenia Foetida*. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 151(2–3), 480–488. <https://doi.org/10.1007/s12010-008-8222-3>
- Ravindran, B., Contreras, S. M., Wong, J.W.C. (2013). Nutrient and enzymatic changes of hydrolysed tannery solid waste treated with epigeic earthworm *Eudrilus eugeniae* and phytotoxicity assessment on selected commercial crops. *Environmental Science and Pollution Research*. <https://doi.org/10.1007/s11356-013-1897-1>.
- Rebelo, D., Antunes, S. & Rodrigues S. (2023). The Silent Threat: Exploring the Ecological and Ecotoxicological Impacts of Chlorinated Aniline Derivatives and the Metabolites on the Aquatic Ecosystem. *Journal of Xenobiotics* 2023 Dec; 13(4): 604–614. <https://doi.org/10.3390/jox13040038>.

Romeo M. Flores, Chapter 3 - Origin of Coal as Gas Source and Reservoir Rocks, Editor(s):

Romeo M. Flores, Coal and Coalbed Gas, Elsevier, 2014, Pages 97-165, ISBN 9780123969729, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396972-9.00003-3>.

Sathish, M., Madhan, B.; Raghava Rao, J. (2019). Leather solid waste: An eco-benign raw material for leather chemical preparation – A circular economy example. Waste Management 87(2019), 357–367. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.026>.

Sharma, K., & Garg, V. K. (2018). Solid-State Fermentation for Vermicomposting. Current Developments in Biotechnology and Bioengineering, 373–413. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-63990-5.00017-7>.

Shaw, S., Chattopadhyay, P. K., Singha, N. R., & Mukherjee, G. (2022). Resource Utilisation of Solid LeatherWaste: Part I. Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists, 106(3), 137–144.

Scanes, C. G. (2018). Invertebrates and Their Use by Humans. Animals and Human Society, 181–193. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-805247-1.00012-5>.

Starsplit, G. (s.f.). Gemata. Obtenido de Gemata: https://www.gemata.it/a_ESP_261_1.html

Susanna Sforzini, Michael N. Moore, Zhuofan Mou, Marta Boeri, Mohamed Banni, Aldo Viarengo, Mode of action of Cr(VI) in immunocytes of earthworms: Implications for animal health, Ecotoxicology and Environmental Safety, Volume 138, 2017, Pages 298-308, ISSN 0147-6513, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.01.013>.

Torres, L. (s.f.). Universidad de Guanajuato:

<http://www.dcne.ugto.mx/Contenido/revista/numeros/10/cueros.html>.

- T&L. (s.f.). Tintorería y Lavandería. Obtenido de Tintorería y Lavandería: <https://www.tintoreriaylavanderia.com/tintoreria/77-tintoreria-autor/649-los-acabados-en-el-cuero.html>.
- Tucker Serniak, L. (2017). The Effects of Earthworms on Carbon Dynamics in Forest Soils. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-409548-9.10670-0>.
- Wu, J., Ren, Z., Zhang, C. *et al.* Effects of soil acid stress on the survival, growth, reproduction, antioxidant enzyme activities, and protein contents in earthworm (*Eisenia fetida*) (2020) *Environ Sci Pollut Res* 27, 33419–33428. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04643-y>.
- Yuvaraj, A., Karmegam, N., Tripathi, S., Kannan, S., & Thangaraj, R. (2020). Environment-friendly management of textile mill wastewater sludge using epigeic earthworms: Bioaccumulation of heavy metals and metallothionein production. *Journal of Environmental Management*, 254(April 2019), 109813. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109813>.
- Yuvaraj, A., Karmegam, N., Ravindran, B., Chang, S. W., Awasthi, M. K., Kannan, S., & Thangaraj, R. (2020). Recycling of leather industrial sludge through vermitechnology for a cleaner environment—A review. *Industrial Crops and Products*, 155(July), 112791. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112791>.
- Zhou, Y., & He, R.-Q. (2013). Earthworm Fibrinolytic Enzymes. *Handbook of Proteolytic Enzymes*, 2953–2958. doi:10.1016/b978-0-12-382219-2.00647-5.
- Zugno L. (2022). Proceso Moderno Cuero Vacuno. www.buckman.com/wp-content/uploads/2023/01/Proceso-Moderno-Cuero-Vacuno-Espanol-.pdf.

Zulfiqar, U., Haider, F. U., Ahmad, M., Hussain, S., Maqsood, M. F., Ishfaq, M., Shahzad, B., Waqas, M. M., Ali, B., Tayyab, M. N., Ahmad, S. A., Khan, I., & Eldin, S. M. (2023). Chromium toxicity, speciation, and remediation strategies in soil-plant interface: A critical review. *Frontiers in Plant Science*, 13(January), 1–33. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1081624>.

Anexos

Anexos 1: Matriz de consistencia.....	1
Anexos 2: Informes de ensayo del análisis de calidad del suelo	3
Anexos 3: Cálculos del análisis Probit	15

ANEXO 1

⌘ Matriz de consistencia

“Evaluación de la ecotoxicidad de los residuos sólidos obtenidos de la línea del proceso de curtición bovina en la Eisenia fetida como organismo de prueba para su potencial aplicación como abono.”

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Indicadores	Metodología
¿Cuál es la ecotoxicidad de los residuos obtenidos de la línea del proceso de curtición bovina en la <i>Eisenia fetida</i> para su potencial aplicación como abono?	General: Evaluar la ecotoxicidad de los residuos sólidos obtenidos de la línea del proceso de curtición bovina en la <i>Eisenia fetida</i> como organismo de prueba para su potencial aplicación como abono.	Si el nivel de ecotoxicidad observado en la línea de proceso de curtición bovina llega a explicarse o a definirse, entonces es posible probar su potencial como abono.	Independientes: ∅ Concentración de los residuos de cada proceso ∅ Tiempo de exposición	Concentración de los residuos sólidos de cada proceso de curtiembre por cantidad de compost en gramos (g/g) Número de semanas (s)	Enfoque: Cuantitativo. Tipo de investigación: Aplicativa. Alcance o Nivel de investigación: Correlacional Diseño: Experimental. Temporalidad/Espacial: Longitudinal Universo: 2880 lombrices. Muestra: 20 lombrices por cada táper.
	Específicos: ∅ Realizar los ensayos de ecotoxicidad con los residuos sólidos de las operaciones identificadas en la <i>Eisenia fetida</i> . ∅ Determinar los parámetros ecotoxicológicos para cada uno de los residuos sólidos de las operaciones identificadas. ∅ Caracterizar el producto de la humificación de los residuos para determinar su potencial como abono.	Los parámetros ecotoxicológicos de cada tipo de residuo tienen una relación inversa a la cantidad de procesos individuales.	Dependientes: ∅ Efectos tóxicos cualitativos ∅ Parámetros ecotoxicológicos ∅ Calidad de suelo como abono	NOEC, CL50, CL10 y CL5 (g/g) Potencial de Hidrógeno (unidades de pH) Capacidad de Intercambio Cationico (cmol(+)/kg) Carbono Orgánico (%) Nitrógeno Total (%) Relación Carbono Nitrógeno (na) Humedad (%) Densidad (ρ) Cromo (mg/kg)	Tipo de muestreo: Probabilístico (Muestreo aleatorio simple). Unidad de análisis: Lombriz <i>Eisenia fetida</i> . Técnicas de recolección de datos: Observación experimental. Instrumentos de recolección: Balanza 2000x0.1 g, Pipeta graduada, cámara fotográfica, regla milimetrada. Procesamiento de datos: Software Microsoft Excel. Rstudio.

Nota: fuente elaboración propia

ANEXO 2

⌘ Informes de ensayo del análisis de calidad de suelo

INFORME DE ENSAYO SA2100563 Rev. 0

Página 1 de 2

A solicitud de:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		
Por cuenta de:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		
Producto descrito como:	Suelos	Cantidad Muestras:	2
Tipo de Análisis:	ANALISIS QUIMICO	Fecha de Recepción:	24/03/2021
Localidad de preparación:	CALLAO	Fecha de Ensayo:	Del 24/03/2021
Descripción del Estado y Condición de la Muestra:	En bolsas de plástico con tape		Al 29/03/2021
	Suelos		
	Peso aprox. de 540 g. húmedas.		
Referencia Cliente:	OL231686 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		
Notas:	MUESTRAS RECIBIDAS		

Esquema	Método
SA_CSA21V	SGS-MN-ME-207 / Marzo.2011 Rev.02 / Suelos Agrícolas: Materia Orgánica
SA_COND2H	SGS-MN-ME-190 / Abril 2015 Rev.02 / Suelos Agrícolas: Conductividad eléctrica
SA_CSB52Y	SGS-MN-ME- 268 /Marzo 2015 Rev. 00/ DETERMINACION DE BORO SOLUBLE POR UV-VIS
SA_DALH	SGS-MN-ME-217 / Agosto 2011 Rev. 00 / Suelos Agrícolas: Determinación de Aluminio e Hidrógeno Intercambiables (Acidez Intercambiable)
SA_ICP12B	SGS-MN-ME-193 / Noviembre.2013 Rev.01 / Suelos Agrícolas: Carbonato de Calcio
SA_ICP58FC	SGS-MN-ME-263 / Diciembre 2014 Rev.00 /Suelos Agrícolas - Determinación de cationes cambiables por saturación de acetato de amonio-ICPOES.
SA_ICP58FD	SGS-MN-ME-262 / Diciembre 2014 Rev.00 /Suelos Agrícolas: Determinación de Cationes Disponibles por Saturación con Acetato de Amonio-ICPOES
SA_MOV1D	SGS-MN-ME-212/ Agosto-2014 Rev 01 / Suelos Agrícolas: Materia Orgánica por Volumetría - Método Walkley y Black
SA_PD18H	SGS-MN-ME-261/ Setiembre 2014 Rev. 00/ Suelos Agrícolas: Determinación Colorimétrica de Fósforo Disponible soluble en Bicarbonato de Sodio
SA_PH32H	SGS-MN-ME-188 / Diciembre 2014 Rev.02 / Suelos Agrícolas: pH en agua
SA_SNA2Q	SGS-MN-ME-219 / Marzo 2013 Rev. 02 / DETERMINACION DE MICROELEMENTOS DISPONIBLES: MANGANESO, COBRE, ZINC Y HIERRO EN SUELOS AGRICOLAS (MÉTODO DE OLSEN MODIFICADO)
SA_TEX1N	SGS-MN-ME-191 / Noviembre.2013 Rev.01 / Suelos Agrícolas: Textura
PMI_CHGR	Peso de Muestra Recibido

Elemento	C_ORG	C_Total	C.E.	B_soluble	Al_cambiable	H_cambiable	% Acidez	CaCO3
Esquema	SA_CSA21V	SA_CSA21V	SA_COND2H	SA_CSB52Y	SA_DALH	SA_DALH	Intercambiabl e	SA_ICP12B
Unidad	%	%	dS/m	ppm	me/100g	me/100g	SA_DALH	%
Límite de Detección	0.01	0.01	0.01	0.2	0.01	0.01	%	0.01
							0.01	
SUELO / WB -04 -CO -F	6.58	7.37	—	—	—	—	—	—
SUELO / WB -04 -CA -F	—	—	12.14	3.4	—	—	—	5.54

Elemento	Saturación de Bases	Ca_cambiable	CIC	K_cambiable	% Na	Mg_cambiable	Na_cambiable	Ca_disponible
Esquema	SA_ICP58FC	SA_ICP58FC	SA_ICP58FC	SA_ICP58FC	Intercambiabl e	SA_ICP58FC	SA_ICP58FC	SA_ICP58FD
Unidad	%	me/100g	me/100g	me/100g	%	me/100g	me/100g	me/100g
Límite de Detección	0.01	0.01	0.01	0.01	SA_ICP58FC	0.01	0.01	0.01
					%			
					0.01			

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.com/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

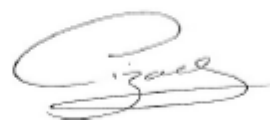
INFORME DE ENSAYO

SA2100563 Rev. 0

Página 2 de 2

Elemento Esquema Unidad Límite de Detección	Saturación de Bases SA_ICP58FC %	Ca_cambiable SA_ICP58FC me/100g 0.01	CIC SA_ICP58FC me/100g 0.01	K_cambiable SA_ICP58FC me/100g 0.01	% Na Intercambiabl e SA_ICP58FC % 0.01	Mg_cambiable SA_ICP58FC me/100g 0.01	Na_cambiable SA_ICP58FC me/100g 0.01	Ca_disponible SA_ICP58FD me/100g 0.01
SUELO / WB -04 -CO -F	---	---	---	---	---	---	---	---
SUELO / WB -04 -CA -F	100.00	21.25	25.13	1.31	1.98	2.07	0.50	24.20
Elemento Esquema Unidad Límite de Detección	Mg_disponible SA_ICP58FD me/100g 0.01	Na_disponible SA_ICP58FD me/100g 0.01	K_disponible SA_ICP58FD ppm 0.01	Materia Orgánica SA_MOV1D % 0.01	N_total SA_MOV1D % 0.01	P_disponible SA_PD18H mg/kg 1.0	pH (1:1 v/v) SA_PH32H 0.1	Cu SA_SNA2Q ppm 0.1
SUELO / WB -04 -CO -F	---	---	---	---	---	---	---	---
SUELO / WB -04 -CA -F	3.12	6.43	1193.30	11.51	0.58	43.5	7.5	5.6
Elemento Esquema Unidad Límite de Detección	Fe SA_SNA2Q ppm 0.1	Mn SA_SNA2Q ppm 0.1	Zn SA_SNA2Q ppm 0.1	Arena SA_TEX1N % 0.1	Arcilla SA_TEX1N % 0.1	Limo SA_TEX1N % 0.1	Textura SA_TEX1N	Peso Muestra PMI_CHGR g
SUELO / WB -04 -CO -F	---	---	---	---	---	---	---	530.0
SUELO / WB -04 -CA -F	26.6	30.3	5.3	85.0	5.0	10.0	Arena Franca	540.0

Emitido en Callao-Perú el , 29/03/2021



Claudio Lizarbe Yllescas
Jefe de Departamento
C.I.P. 137983

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

INFORME DE ENSAYO SA2100319 Rev. 0

Página 1 de 2

A solicitud de: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Por cuenta de: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Producto descrito como:

Suelos

Cantidad Muestras:

4

Tipo de Análisis:

ANALISIS QUIMICO

Fecha de Recepción:

15/02/2021

Localidad de preparación:

CALLAO

Fecha de Ensayo:

Del 15/02/2021

Descripción del Estado y

En bolsas de plástico con tape

Al 23/02/2021

Condición de la Muestra:

Suelos

Peso aprox. de 520 g. húmedas.

Referencia Cliente:

OL 231686 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Notas:

MUESTRAS RECIBIDAS

Esquema

Método

SA_COND2H	SGS-MN-ME-190 /Abril 2015 Rev.02 / Suelos Agrícolas: Conductividad eléctrica
SA_CS852Y	SGS-MN-ME- 268 /Marzo 2015 Rev. 00/ DETERMINACION DE BORO SOLUBLE POR UV-VIS
SA_DALH	SGS-MN-ME-217 / Agosto 2011 Rev. 00 / Suelos Agrícolas: Determinación de Aluminio e Hidrógeno Intercambiables (Acidez Intercambiable)
SA_ICP12B	SGS-MN-ME-193 / Noviembre.2013 Rev.01 / Suelos Agrícolas: Carbonato de Calcio
SA_ICP58FC	SGS-MN-ME-263 / Diciembre 2014 Rev.00 /Suelos Agrícolas - Determinación de cationes cambiables por saturación de acetato de amonio-ICPOES.
SA_ICP58FD	SGS-MN-ME-262 / Diciembre 2014 Rev.00 /Suelos Agrícolas: Determinación de Cationes Disponibles por Saturación con Acetato de Amonio-ICPOES
SA_MOV1D	SGS-MN-ME-212/ Agosto-2014 Rev 01 / Suelos Agrícolas: Materia Orgánica por Volumetría - Método Walkley y Black
SA_PD18H	SGS-MN-ME-261/ Setiembre 2014 Rev. 00/ Suelos Agrícolas: Determinación Colorimétrica de Fósforo Disponible soluble en Bicarbonato de Sodio
SA_PH32H	SGS-MN-ME-188 / Diciembre 2014 Rev.02 / Suelos Agrícolas: pH en agua
SA_SNA2Q	SGS-MN-ME-219 / Marzo 2013 Rev. 02 / DETERMINACION DE MICROELEMENTOS DISPONIBLES: MANGANESO, COBRE, ZINC Y HIERRO EN SUELOS AGRICOLAS (MÉTODO DE OLSEN MODIFICADO)
SA_TEX1N	SGS-MN-ME-191 / Noviembre.2013 Rev.01 / Suelos Agrícolas: Textura
SA_CSA21V	SGS-MN-ME-207 / Marzo.2011 Rev.02 / Suelos Agrícolas: Materia Orgánica
PMI_CHGR	Peso de Muestra Recibido

Elemento	C.E.	B_soluble	Al_cambiable	H_cambiable	% Acidez Intercambiable	CaCO3	Saturación de Bases	Ca_cambiable
Esquema	SA_COND2H	SA_CS852Y	SA_DALH	SA_DALH	SA_DALH	SA_ICP12B	SA_ICP58FC	SA_ICP58FC
Unidad	dS/m	ppm	me/100g	me/100g	%	%	%	me/100g
Límite de Detección	0.01	0.2	0.01	0.01	0.01	0.01	%	0.01
SUELO / ACB-04-CA / U.N.I.	4.03	11.2	<0.01	<0.01	<0.01	3.60	100.00	14.74
SUELO / RTE-04-CA / U.N.I.	5.17	7.9	<0.01	<0.01	<0.01	4.72	100.00	14.55
SUELO / ACB-04-CO / U.N.I.	--	--	--	--	--	--	--	--
SUELO / RTE-04-CO / U.N.I.	--	--	--	--	--	--	--	--

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. Av. Elmer Faucett 3348 - Callao t (51-1) 517.1900 f (51-1) 517.4089 www.pe.sgs.com

Miembro del Grupo SGS

INFORME DE ENSAYO

SA2100319 Rev. 0

Página 2 de 2

Elemento Esquema Unidad Límite de Detección	CIC SA_ICP58FC me/100g 0.01	K_cambiable SA_ICP58FC me/100g 0.01	% Na Intercambiabl e SA_ICP58FC % 0.01	Mg_cambiable SA_ICP58FC me/100g 0.01	Na_cambiable SA_ICP58FC me/100g 0.01	Ca_disponible SA_ICP58FD me/100g 0.01	Mg_disponible SA_ICP58FD me/100g 0.01	Na_disponible SA_ICP58FD me/100g 0.01
SUELO / ACB-04-CA / U.N.I.	22.09	2.50	3.13	4.15	0.69	17.23	5.80	4.99
SUELO / RTE-04-CA / U.N.I.	21.44	2.31	2.81	3.98	0.60	15.24	4.78	3.74
SUELO / ACB-04-CO / U.N.I.	---	---	---	---	---	---	---	---
SUELO / RTE-04-CO / U.N.I.	---	---	---	---	---	---	---	---

Elemento Esquema Unidad Límite de Detección	K_disponible SA_ICP58FD ppm 0.01	Materia Orgánica SA_MOV1D % 0.01	N_total SA_MOV1D % 0.01	P_disponible SA_PDISH mg/kg 1.0	pH (1:1 v/v) SA_PH32H 0.1	Cu SA_SNA2Q ppm 0.1	Fe SA_SNA2Q ppm 0.1	Mn SA_SNA2Q ppm 0.1
SUELO / ACB-04-CA / U.N.I.	2108.39	15.58	0.78	99.9	7.2	4.0	103.3	38.6
SUELO / RTE-04-CA / U.N.I.	1803.59	15.35	0.77	87.6	7.2	3.9	99.4	34.8
SUELO / ACB-04-CO / U.N.I.	---	---	---	---	---	---	---	---
SUELO / RTE-04-CO / U.N.I.	---	---	---	---	---	---	---	---

Elemento Esquema Unidad Límite de Detección	Zn SA_SNA2Q ppm 0.1	Arena SA_TEX1N % 0.1	Arcilla SA_TEX1N % 0.1	Limo SA_TEX1N % 0.1	Textura SA_TEX1N	C_ORG SA_CSA21V % 0.01	C_Total SA_CSA21V % 0.01	Peso Muestra PMI_CHGR g
SUELO / ACB-04-CA / U.N.I.	20.2	---	---	---	---	---	---	520.0
SUELO / RTE-04-CA / U.N.I.	15.8	---	---	---	---	---	---	520.0
SUELO / ACB-04-CO / U.N.I.	---	---	---	---	---	9.10	10.16	520.0
SUELO / RTE-04-CO / U.N.I.	---	---	---	---	---	8.60	9.39	520.0

Emitido en Callao-Perú el , 23/02/2021



Claudio Lizarbe Yllescas
Jefe de Departamento
C.I.P. 137983

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del Informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Av. Eimer Faucett 3348 - Callao 1 t (51-1) 517.1900 f (51-1) 517.4089 www.pe.sgs.com

Miembro del Grupo SGS

INFORME DE ENSAYO SA2100050 Rev. 0

Página 1 de 1

A solicitud de: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Por cuenta de: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Producto descrito como: Suelos

Tipo de Análisis: ANALISIS QUIMICO

Localidad de preparación: CALLAO

Descripción del Estado y En bolsas de plástico selladas

Condición de la Muestra:

Suelos

Peso aprox. de 450 a 510 g húmedas.

Referencia Cliente: OL231686 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

Notas: MUESTRAS RECIBIDAS

Cantidad Muestras: 2

Fecha de Recepción: 08/01/2021

Fecha de Ensayo: Del 08/01/2021

Al 16/01/2021

Esquema

SA_CSA21V

PMI_CHGR


Método

SGS-MN-ME-207 / Marzo.2011 Rev.02 / Suelos Agrícolas: Materia Orgánica

Peso de Muestra Recibido

Elemento	C_ORG	C_Total	Peso Muestra
Esquema	SA_CSA21V	SA_CSA21V	PMI_CHGR
Unidad	%	%	g
Límite de Detección	0.01	0.01	
SUELO / C-OO - CO / UNI	6.28	6.76	490.0
SUELO / WB-O4 - CO / UNI	5.97	7.28	510.0

Emitido en Callao-Perú el , 16/01/2021



Claudio Lizarbe Yllescas
Jefe de Departamento
C.I.P. 137983

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 - Callao | t (51-1) 517.1900 f (51-1) 517.4089 www.pe.sgs.com

Miembro del Grupo SGS

INFORME DE ENSAYO

SA2100051 Rev. 0

Página 1 de 2

A solicitud de:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		
Por cuenta de:	UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		
Producto descrito como:	Suelos	Cantidad Muestras:	2
Tipo de Análisis:	ANALISIS QUIMICO	Fecha de Recepción:	08/01/2021
Localidad de preparación:	CALLAO	Fecha de Ensayo:	Del 08/01/2021
Descripción del Estado y Condición de la Muestra:	En bolsas de plástico selladas		
	Suelos		Al 16/01/2021
	Peso aprox. de 500 a 510 g húmedas.		
Referencia Cliente:	OL231686 UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA		
Notas:	MUESTRAS RECIBIDAS		
	Algunas muestras se analizaron con relación 1:2 y 1:4, además no se hizo el esquema de textura debido a las características de la muestra		

Esquema	Método
SCR32	Secado y tamizado de muestras < 2 Kg en variedad de mallas (Granulometría)
SA_COND2H	SGS-MN-ME-190 /Abril 2015 Rev.02 / Suelos Agrícolas: Conductividad eléctrica
SA_CSBS2Y	SGS-MN-ME- 268 /Marzo 2015 Rev. 00/ DETERMINACION DE BORO SOLUBLE POR UV-VIS
SA_DALH	SGS-MN-ME-217 / Agosto 2011 Rev. 00 / Suelos Agrícolas: Determinación de Aluminio e Hidrógeno Intercambiables (Acidez Intercambiable)
SA_ICP12B	SGS-MN-ME-193 / Noviembre.2013 Rev.01 / Suelos Agrícolas: Carbonato de Calcio
SA_ICP58FC	SGS-MN-ME-263 / Diciembre 2014 Rev.00 /Suelos Agrícolas - Determinación de cationes cambiables por saturación de acetato de amonio-ICP/OES.
SA_ICP58FD	SGS-MN-ME-262 / Diciembre 2014 Rev.00 /Suelos Agrícolas: Determinación de Cationes Disponibles por Saturación con Acetato de Amonio-ICP/OES
SA_MOV1D	SGS-MN-ME-212/ Agosto-2014 Rev 01 / Suelos Agrícolas: Materia Orgánica por Volumetría - Método Walkley y Black
SA_PD18H	SGS-MN-ME-261/ Setiembre 2014 Rev. 00/ Suelos Agrícolas: Determinación Colorimétrica de Fósforo Disponible soluble en Bicarbonato de Sodio
SA_PH32H	SGS-MN-ME-188 / Diciembre 2014 Rev.02 / Suelos Agrícolas: pH en agua
SA_SNA2Q	SGS-MN-ME-219 / Marzo 2013 Rev. 02 / DETERMINACION DE MICROELEMENTOS DISPONIBLES: MANGANESO, COBRE, ZINC Y HIERRO EN SUELOS AGRICOLAS (MÉTODO DE OLSEN MODIFICADO)
SA_TEX1N	SGS-MN-ME-191 / Noviembre.2013 Rev.01 / Suelos Agrícolas: Textura
PMI_CHGR	Peso de Muestra Recibido

Elemento Esquema Unidad Límite de Detección	C.E. SA_COND2H dS/m 0.01	B_soluble SA_CSBS2Y ppm 0.2	Al_cambiable SA_DALH me/100g 0.01	H_cambiable SA_DALH me/100g 0.01	% Acidez Intercambiabl e SA_DALH % 0.01	CaCO3 SA_ICP12B % 0.01	Saturación de Bases SA_ICP58FC % 0.01	Ca_cambiable SA_ICP58FC me/100g 0.01
SUELO / WB -04 -CA / UNI	6.92	3.2	--	--	--	4.91	100.00	33.91
SUELO / C-00 -CA / UNI	3.41	11.7	--	--	--	4.90	100.00	63.27

Elemento Esquema Unidad Límite de Detección	CIC SA_ICP58FC me/100g 0.01	K_cambiable SA_ICP58FC me/100g 0.01	% Na Intercambiabl e SA_ICP58FC % 0.01	Mg_cambiable SA_ICP58FC me/100g 0.01	Na_cambiable SA_ICP58FC me/100g 0.01	Mg_disponible SA_ICP58FD me/100g 0.01	Na_disponible SA_ICP58FD me/100g 0.01	Ca_disponible SA_ICP58FD me/100g 0.01
--	--------------------------------------	--	---	---	---	--	--	--

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 - Callao | t (51-1) 517.1900 f (51-1) 517.4089 | www.pe.sgs.com

Miembro del Grupo SGS



INFORME DE ENSAYO

SA2100051 Rev. 0

Página 2 de 2

Elemento Esquema Unidad Límite de Detección	CIC SA_ICP58FC me/100g 0.01	K_cambiable SA_ICP58FC me/100g 0.01	% Na Intercambiabl e SA_ICP58FC % 0.01	Mg_cambiable SA_ICP58FC me/100g 0.01	Na_cambiable SA_ICP58FC me/100g 0.01	Mg_disponible SA_ICP58FD me/100g 0.01	Na_disponible SA_ICP58FD me/100g 0.01	Ca_disponible SA_ICP58FD me/100g 0.01
SUELO / WB -04 -CA / UNE	37.85	1.37	0.91	2.23	0.34	3.54	5.08	46.53
SUELO / C-00 -CA / UNE	85.12	5.12	1.42	15.52	1.21	19.61	11.08	72.66
Elemento Esquema Unidad Límite de Detección	K_disponible SA_ICP58FD ppm 0.01	Materia Orgánica SA_MOV1D % 0.01	N_total SA_MOV1D % 0.01	P_disponible SA_PD18H mg/kg 1.0	pH (1:1 v/v) SA_PH32H 0.1	Cu SA_SNA2Q ppm 0.1	Fe SA_SNA2Q ppm 0.1	Mn SA_SNA2Q ppm 0.1
SUELO / WB -04 -CA / UNE	1376.78	7.70	0.38	43.5	6.8	2.6	70.5	18.8
SUELO / C-00 -CA / UNE	5722.92	20.58	1.03	396.1	7.1	6.0	97.9	25.1
Elemento Esquema Unidad Límite de Detección	Zn SA_SNA2Q ppm 0.1	Arena SA_TEX1N % 0.1	Arcilla SA_TEX1N % 0.1	Limo SA_TEX1N % 0.1	Textura SA_TEX1N	Peso Muestra PMI_CHGR g		
SUELO / WB -04 -CA / UNE	5.4	—	—	—	—	510.0		
SUELO / C-00 -CA / UNE	28.6	—	—	—	—	500.0		

Emitido en Callao-Perú el , 16/01/2021

Claudio Lizarbe Yllescas
Jefe de Departamento
C.I.P. 137983

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definida en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia, queda prohibida la reproducción parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas.

Última Revisión Julio 2015

SGS del Perú S.A.C. | Av. Elmer Faucett 3348 - Callao 1 | t (51-1) 517.1900 | f (51-1) 517.4089 | www.pe.sgs.com

Miembro del Grupo SGS

INFORME DE ENSAYOS DE SUELOS

CLIENTE: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

CULTIVO: HORTALIZAS

ESTADO FENOLÓGICO:

LOTE: RTE-04-CA (SUELO / RTE-04-CA / U.N.I.)

CÓDIGO: SA2100319

FECHA DE MUESTREO: 05/02/2021

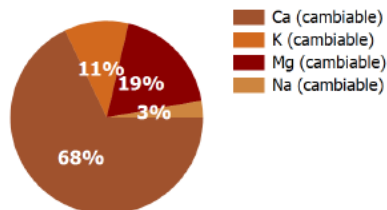
FECHA DE RECEPCIÓN: 13/02/2021

FECHA DE EMISIÓN: 23/02/2021

Al (cambiable)	0.01	meq/100 g
H (cambiable)	0.01	meq/100 g

Cationes Cambiables

Ca (cambiable)	14.55	me/100g
Mg (cambiable)	3.98	meq/100g
K (cambiable)	2.31	meq/100g
Na (cambiable)	0.60	meq/100g
Capacidad de intercambio catiónico	21.44	meq/100g



Distribución de Cationes

%Ca	68	%
%Mg	19	%
%K	11	%
%Na	3	%

Valores de Referencia

Calcio	65.0	75.0
Magnesio	10.0	15.0
Potasio	4.0	7.0
Sodio	0.0	8.0

Bajo Medio Alto

pH (1:1) 7.2

C.E. (1:1) 5.17

Materia organica 15.35

CaCO3 4.72

P (disponible) 87.6

Ca/Mg 3.66

Mg/K 1.72

Ca/K 6.3

PSI 2.81

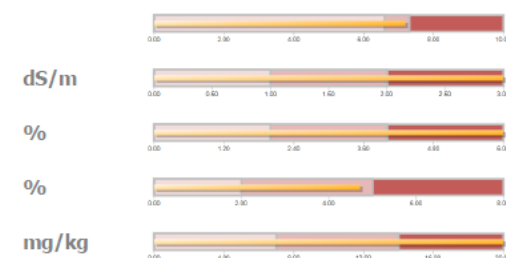
B (disponible) 7.9

Fe (disponible) 99.4

Cu (disponible) 3.9

Mn (disponible) 34.8

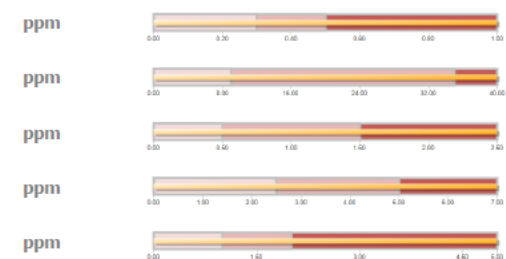
Zn (disponible) 15.8



Relaciones Catiónicas



Microelementos





INFORME DE ENSAYOS DE SUELOS

CLIENTE: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

CULTIVO: HORTALIZAS

ESTADO FENOLÓGICO:

LOTE: RTE-04-CA (SUELO / RTE-04-CO / U.N.I.)

CÓDIGO: SA2100319

FECHA DE MUESTREO: 05/02/2021

FECHA DE RECEPCIÓN: 13/02/2021

FECHA DE EMISIÓN: 23/02/2021

Cationes Cambiables

Distribución de Cationes

%Ca	%
%Mg	%
%K	%
%Na	%
 Bajo	 Medio  Alto

No Data Available

Valores de Referencia

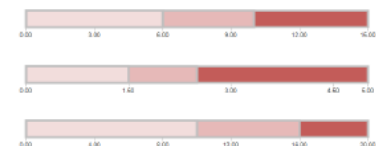
Calcio	65.0	75.0
Magnesio	10.0	15.0
Potasio	4.0	7.0
Sodio	0.0	8.0

Ca/Mg

Mg/K

Ca/K

Relaciones Catiónicas



Microelementos

Se informa al tenedor de este documento que la información que contiene se limita únicamente a resultados de informes de ensayo.

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio.

SGS del Peru S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348 - Callao 1 Telef: (511)517 1900 / 484 0855 Fax (511)575 4089 Perú

P.O Box 27-0125 www.sgs.pe

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)



INFORME DE ENSAYOS DE SUELOS

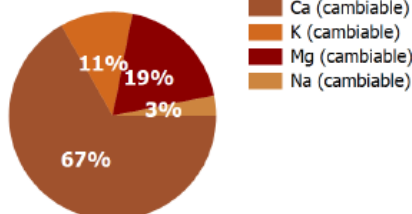
CLIENTE: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
CULTIVO: HORTALIZAS
ESTADO FENOLÓGICO:
LOTE: ACB-04-CA (SUELO / ACB-04-CA / U.N.I.)
CÓDIGO: SA2100319

FECHA DE MUESTREO: 05/02/2021
FECHA DE RECEPCIÓN: 13/02/2021
FECHA DE EMISIÓN: 23/02/2021

Al (cambiable) 0.01 meq/100 g
H (cambiable) 0.01 meq/100 g

Cationes Cambiables

Ca (cambiable) 14.74 me/100g
Mg (cambiable) 4.15 meq/100g
K (cambiable) 2.50 meq/100g
Na (cambiable) 0.69 meq/100g
Capacidad de intercambio catiónico 22.09 meq/100g



Distribución de Cationes

%Ca 67 %
%Mg 19 %
%K 11 %
%Na 3 %

Valores de Referencia

Calcio	65.0	75.0
Magnesio	10.0	15.0
Potasio	4.0	7.0
Sodio	0.0	8.0

pH (1:1) 7.2

C.E. (1:1) 4.03

Materia organica 15.58

CaCO₃ 3.60

P (disponible) 99.9

Ca/Mg 3.55

Mg/K 1.66

Ca/K 5.9

PSI 3.13

B (disponible) 11.2

Cu (disponible) 4.0

Mn (disponible) 38.6

dS/m

%

%

mg/kg

Relaciones Catiónicas

%

Microelementos

ppm

ppm

ppm

Bajo Medio Alto



INFORME DE ENSAYOS DE SUELOS

CLIENTE: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

CULTIVO: HORTALIZAS

ESTADO FENOLÓGICO:

LOTE: ACB-04-CA (SUELO / ACB-04-CO / U.N.I.)

CÓDIGO: SA2100319

FECHA DE MUESTREO: 05/02/2021

FECHA DE RECEPCIÓN: 13/02/2021

FECHA DE EMISIÓN: 23/02/2021

Cationes Cambiables

Distribución de Cationes

%Ca	%	
%Mg	%	
%K	%	
%Na	%	
<div><div></div>Bajo</div>	<div><div></div>Medio</div>	<div><div></div>Alto</div>

No Data Available

Valores de Referencia

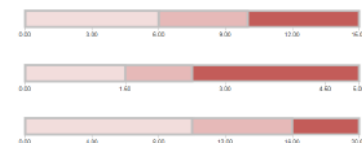
Calcio	65.0	75.0
Magnesio	10.0	15.0
Potasio	4.0	7.0
Sodio	0.0	8.0

Ca/Mg

Mg/K

Ca/K

Relaciones Catiónicas



Microelementos

Se informa al tenedor de este documento que la información que contiene se limita únicamente a resultados de informes de ensayo.

Este documento es emitido por la Compañía bajo sus Condiciones Generales de Servicio, que pueden encontrarse en la página <http://www.sgs.pe/es-ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio.

SGS del Peru S.A.C.

Av. Elmer Faucett 3348 - Callao 1 Telef: (511)517 1900 / 484 0855 Fax (511)575 4089 Perú

P.O Box 27-0125 www.sgs.pe

Miembro del Grupo SGS (Société Générale de Surveillance)

ANEXO 3

⌘ Cálculos del análisis probit

Se presentan los códigos realizados en Rstudio, de los resultados de Wet blue (Bioensayo 2) y Acabado (Bioensayo 4.1), para el cálculo del CL5, CL10 y CL50 y las gráficas de dosis respuesta:

A. WET BLUE

A.1. CL50

SEMANA 2

```
> pu2<-drm(MOR~CON,data = S2NW, fct = LL.4())  
> cl50<-ED(pu2,50,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:50	0.0206061	0.0126917	-0.0058684	0.0470805

SEMANA 3

```
> wu33<-drm(MOR~CON,data = S3NW, fct = LL.4())  
> cl50<-ED(wu33,50,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:50	0.0207029	0.0126467	-0.0056777	0.0470836

SEMANA 4

```
> wu4<-drm(MOR~CON,data = S4, fct = LL.4())  
> cl50<-ED(wu4,50,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:50	0.023146	NaN	NaN	NaN

SEMANA 5

```
> wu5<-drm(MOR~CON,data = S5, fct = LL.4())  
> c150<-ED(wu5,50,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:50	0.0481354	0.0188702	0.0087728	0.0874980

SEMANA 6

```
> wu6<-drm(MOR~CON,data = SE6, fct = LL.4())  
> c150<-ED(wu6,50,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:50	0.088156	0.102864	-0.354430	0.530743

>

SEMANA 7

```
> wu7<-drm(MOR~CON,data = S7, fct = LL.4())  
> c150<-ED(wu7,50,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:50	0.060605	0.011556	0.036500	0.084710

SEMANA 8

```
> wu8<-drm(MOR~CON,data = S8, fct = LL.4())  
> c150<-ED(wu8,50,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:50	0.063606	0.016497	0.029194	0.098018

SEMANA 9

```
> m9<-drm(MOR~CON, data=S9, fct=LL.4(fixed = c(NA,0,
100,NA), names = c("Pendientes", "L Inferior", "L Su
perior", "CL50")))
> summary(m9)
```

Model fitted: Log-logistic (ED50 as parameter) (2 pa
rms)

Parameter estimates:

	Estimate	Std. Error		
Pendientes:(Intercept)	-4.185473	0.816986		
CL50:(Intercept)	0.068646	0.002063		
	t-value	p-value		
Pendientes:(Intercept)	-5.1231	3.913e-05	***	
CL50:(Intercept)	33.2755	< 2.2e-16	***	

SEMANA 10

```
> m10<-drm(MOR~CON, data=S10, fct=LL.4(fixed = c(NA,
0,100,NA), names = c("Pendientes", "L Inferior", "L
superior", "CL50")))
> summary(m10)
```

Model fitted: Log-logistic (ED50 as parameter) (2 pa
rms)

Parameter estimates:

	Estimate	Std. Error
Pendientes:(Intercept)	-4.8801826	0.9819505
CL50:(Intercept)	0.0579947	0.0022393

SEMANA 11

```
> wu11<-drm(MOR~CON,data = S11, fct = LL.4())  
> c150<-ED(wu11,50,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:50	0.0486707	0.0018906	0.0447270	0.0526143

SEMANA 12

```
> wu12<-drm(MOR~CON,data = S12, fct = LL.4())  
> c150<-ED(wu12,50,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:50	0.0486707	0.0018906	0.0447270	0.0526143

A.2. CL10

SEMANA 2

```
> c150<-ED(m2,10,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower
e:1:10	0.019642	0.013707	-0.039335
	Upper		
e:1:10	0.078619		

SEMANA 3

```
> c150<-ED(wu33,10,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:10	0.0192828	0.0126375	-0.0070785	0.0456442

SEMANA 4

```
> c150<-ED(wu4,10,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:10	0.0190739	0.0050440	0.0085523	0.0295955

SEMANA 5

```
> c150<-ED(wu5,10,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:10	0.0279055	0.0143483	-0.0020244	0.0578355

SEMANA 6

```
> c150<-ED(wu6,10,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:10	0.044782	0.026413	-0.068863	0.158427

SEMANA 7

```
> c150<-ED(wu7,10,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:10	0.043183	0.010700	0.020863	0.065503

SEMANA 8

```
> c150<-ED(wu8,10,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:10	0.0443673	0.0085351	0.0265633	0.0621713

SEMANA 9

```
> ED(m9, 10)
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:1:10	0.0406093	0.0042601

SEMANA 10

```
> ED(m10, 10)
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:1:10	0.0369704	0.0040908

SEMANA 11

```
> c150<-ED(wu11,10,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:10	0.0349467	0.0017748	0.0312445	0.0386489

SEMANA 12

```
> c150<-ED(wu12,10,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:10	0.0349467	0.0017748	0.0312445	0.0386489

A.3. CL5

SEMANA 2

```
> c150<-ED(m2,5,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:5	0.019455	0.020771	-0.069916	0.108825

SEMANA 3

```
> c150<-ED(wu33,5,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:5	0.018822	0.020356	-0.023639	0.061284

SEMANA 4

```
> c150<-ED(wu4,5,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:5	0.017859	NaN	NaN	NaN

SEMANA 5

```
> c150<-ED(wu5,5,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:5	0.023183	0.017086	-0.012458	0.058824

SEMANA 6

```
> c150<-ED(wu6,5,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:5	0.035569	0.014371	-0.026266	0.097404

SEMANA 7

```
> c150<-ED(wu7,5,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:5	0.0384822	0.0138191	0.0096561	0.0673083

SEMANA 8

```
> c150<-ED(wu8,5,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:5	0.039252	0.011986	0.014250	0.064254

SEMANA 9

```
> ED(m9, 5)
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:1:5	0.0339698	0.0047101

SEMANA 10

```
> ED(m10, 5)
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:1:5	0.0317219	0.0044456

SEMANA 11

```
> c150<-ED(wu11,5,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:5	0.0312236	0.0020713	0.0269029	0.0355443

SEMANA 12

```
> c150<-ED(wu12,5,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:5	0.0312236	0.0020713	0.0269029	0.0355443

B. ACABADO

B.1. CL50

Semana 12

```
> n12<-drm(MOR~CON,data = S12F, fct = LL.4())  
> cl50<-ED(n12,50,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:50	0.0548425	0.0079143	0.0383335	0.0713515

Semana 11

```
> f11<-drm(MOR~CON, data=S11F, fct=LL.4(fixed = c  
(NA,0,100,NA), names = c("Pendientes", "L Inferio  
r", "L Superior", "CL50")))  
> summary(f11)
```

Model fitted: Log-logistic (ED50 as parameter) (2
parms)

Parameter estimates:

	Estimate	Std. Error		
Pendientes:(Intercept)	-1.6250198	0.7997340		
CL50:(Intercept)	0.0559890	0.0078787		
	t-value	p-value		
Pendientes:(Intercept)	-2.0320	0.05441	.	
CL50:(Intercept)	7.1064	3.978e-07	***	

Semana 10

```
> f10<-drm(MOR~CON, data=S10F, fct=LL.4(fixed = c(
  (NA,0,100,NA), names = c("Pendientes", "L Inferio
  r", "L Superior", "CL50")))
> summary(f10)
```

Model fitted: Log-logistic (ED50 as parameter) (2
parms)

Parameter estimates:

	Estimate	Std. Error		
Pendientes:(Intercept)	-1.8252414	0.8696615		
CL50:(Intercept)	0.0661505	0.0078996		
	t-value	p-value		
Pendientes:(Intercept)	-2.0988	0.04753	*	
CL50:(Intercept)	8.3739	2.743e-08	***	

SEMANA 09

```
> f9<-drm(MOR~CON, data=S9F, fct=LL.4(fixed = c(N
  A,0,100,NA), names = c("Pendientes", "L Inferio
  r", "L Superior", "CL50")))
> summary(f9)
```

Model fitted: Log-logistic (ED50 as parameter) (2
parms)

Parameter estimates:

	Estimate	Std. Error		
Pendientes:(Intercept)	-1.8642254	0.7640250		
CL50:(Intercept)	0.0717854	0.0085079		
	t-value	p-value		
Pendientes:(Intercept)	-2.4400	0.0232	*	
CL50:(Intercept)	8.4375	2.412e-08	***	

SEMANA 08

```
> f8<-drm(MOR~CON, data=S8F, fct=LL.4(fixed = c(N
A,0,100,NA), names = c("Pendientes", "L Inferio
r", "L Superior", "CL50")))
> summary(f8)
```

Model fitted: Log-logistic (ED50 as parameter) (2
parms)

Parameter estimates:

	Estimate	Std. Error	
Pendientes:(Intercept)	-1.399641	0.479084	
CL50:(Intercept)	0.090101	0.016681	
	t-value	p-value	
Pendientes:(Intercept)	-2.9215	0.007905	**
CL50:(Intercept)	5.4015	2.004e-05	***

SEMANA 07

```
> f7<-drm(MOR~CON, data=S7F, fct=LL.4(fixed = c(N
A,0,100,NA), names = c("Pendientes", "L Inferio
r", "L Superior", "CL50")))
> summary(f7)
```

Model fitted: Log-logistic (ED50 as parameter) (2
parms)

Parameter estimates:

	Estimate	Std. Error	
Pendientes:(Intercept)	-1.59424	0.60961	
CL50:(Intercept)	0.09113	0.01709	
	t-value	p-value	
Pendientes:(Intercept)	-2.6152	0.01581	*
CL50:(Intercept)	5.3324	2.365e-05	***

SEMANA 06

```
> f6<-drm(MOR~CON, data=S6F, fct=LL.4(fixed = c(NA,0,100,
NA), names = c("Pendientes", "L Inferior", "L Superior",
"CL50")))
> summary(f6)
```

Model fitted: Log-logistic (ED50 as parameter) (2 parms)

Parameter estimates:

	Estimate	Std. Error	t-value
Pendientes:(Intercept)	-1.791659	0.657787	-2.7238
CL50:(Intercept)	0.087833	0.013843	6.3449
	p-value		
Pendientes:(Intercept)	0.0124	*	
CL50:(Intercept)	2.195e-06	***	

SEMANA 05

```
> f5.1<-drm(MOR~CON, data=S5F, fct=LL.4(fixed = c
(NA,0,100,NA), names = c("Pendientes", "L Inferio
r", "L Superior", "CL50")))
> summary(f5.1)
```

Model fitted: Log-logistic (ED50 as parameter) (2 parms)

Parameter estimates:

	Estimate	Std. Error	t-value	p-value
Pendientes:(Intercept)	-2.001403	0.711970		
CL50:(Intercept)	0.085521	0.011595		
	t-value	p-value		
Pendientes:(Intercept)	-2.8111	0.01018	*	
CL50:(Intercept)	7.3755	2.214e-07	***	

SEMANA 04

```
> f4<-drm(MOR~CON, data=S4F, fct=LL.4(fixed = c(NA,
0,100,NA), names = c("Pendientes", "L Inferior", "L
Superior", "CL50")))
> summary(f4)
```

Model fitted: Log-logistic (ED50 as parameter) (2 p
arms)

Parameter estimates:

	Estimate	Std. Error		
Pendientes:(Intercept)	-2.1923592	0.6284484		
CL50:(Intercept)	0.0847348	0.0091035		
	t-value	p-value		
Pendientes:(Intercept)	-3.4885	0.002081	**	
CL50:(Intercept)	9.3079	4.379e-09	***	

SEMANA 03

```
> f3<-drm(MOR~CON, data=S3F, fct=LL.4(fixed = c(NA,
0,100,NA), names = c("Pendientes", "L Inferior", "L
Superior", "CL50")))
> summary(f3)
```

Model fitted: Log-logistic (ED50 as parameter) (2 p
arms)

Parameter estimates:

	Estimate	Std. Error		
Pendientes:(Intercept)	-2.007053	0.554221		
CL50:(Intercept)	0.094543	0.012233		
	t-value	p-value		
Pendientes:(Intercept)	-3.6214	0.001511	**	
CL50:(Intercept)	7.7282	1.043e-07	***	

SEMANA 02

```
> hh2<-drm(MOR~CON, data=S2F, fct=LL.4(fixed = c(NA,0,100,
NA), names = c("Pendientes", "L Inferior", "L Superior",
"CL50")))
> summary(hh2)
```

Model fitted: Log-logistic (ED50 as parameter) (2 parms)

Parameter estimates:

	Estimate	Std. Error	t-value
Pendientes:(Intercept)	-2.031961	0.475197	-4.2760
CL50:(Intercept)	0.098044	0.011481	8.5396
	p-value		
Pendientes:(Intercept)	0.0003074	***	
CL50:(Intercept)	1.964e-08	***	

B.2. CL10

SEMANA 12

```
> cl50<-ED(n12,10,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:10	0.0394373	0.0097927	0.0190101	0.0598645

SEMANA 11

```
> ED(f11,10)
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:1:10	0.0144838	0.0097724

SEMANA 10

```
> ED(f10,10)
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:1:10	0.019849	0.010521

SEMANA 09

```
> ED(f9,10)
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:1:10	0.0220885	0.0093034

SEMANA 08

```
> ED(f8,10)
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:1:10	0.0187479	0.0075308

SEMANA 07

```
> ED(f7,10)
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:1:10	0.0229669	0.0088364

SEMANA 06

```
> ED(m6A,10)
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:1:10	0.0446067	0.0093508

SEMANA 05

```
> ED(f5.1,10)
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:1:10	0.0285290	0.0083826

SEMANA 04

```
> ED (f4,10)
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:1:10	0.0311031	0.0067632

SEMANA 03

```
> ED(f3,10)
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:1:10	0.0316363	0.0065599

SEMANA 02

```
> ED(f2,10)
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:1:10	0.0332511	0.0055662

B.3. CL5

SEMANA 12

```
> cl50<-ED(n12,5,interval="delta")
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error	Lower	Upper
e:1:5	0.035254	0.011420	0.011432	0.059075

SEMANA 11

```
> ED(f11,5)
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:1:5	0.0091451	0.0082056

SEMANA 10

```
> ED(f10,5)
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:1:5	0.0131807	0.0095193

SEMANA 09

```
> ED(f9,5)
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:1:5	0.0147942	0.0086174

SEMANA 08

```
> ED(f8,5)
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:1:5	0.0109926	0.0063733

SEMANA 07

```
> ED(f7,5)
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:1:5	0.014373	0.008041

SEMANA 06

```
> ED(f6,5)
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:1:5	0.0169798	0.0082035

SEMANA 05

```
> ED(f5.1,5)
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:1:5	0.0196402	0.0083083

SEMANA 04

```
> ED(f4,5)
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:1:5	0.022120	0.006891

SEMANA 03

```
> ED(f3,5)
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:1:5	0.0218022	0.0066691

SEMANA 02

```
> ED(f2,5)
```

Estimated effective doses

	Estimate	Std. Error
e:1:5	0.0230199	0.0057334

B.2. CÓDIGOS DE LA GRÁFICA DE DOSIS RESPUESTA

B.2.A. WET BLUE

```
> ggplot(Data2, aes(x = CONCENTRACION, y = MORTALIDAD, color = SEMANA)) +  
+   geom_point() +  
+   geom_smooth(se = TRUE, method = "loess") +  
+   labs(x = "Concentración (gviruta/gsustrato)",  
+        y = "Mortalidad (%)",  
+        color = "Semana") +  
+   theme_minimal()  
`geom_smooth()` using formula = 'y ~ x'
```

B.2.B. ACABADO

```
> ggplot(DataW, aes(x = CONCENTRACION, y = MORTALIDAD,  
color = SEMANA)) +  
+   geom_point() +  
+   geom_smooth(se = TRUE, method = "loess") +  
+   labs(x = "Concentración (gviruta/gsustrato)",  
+        y = "Mortalidad (%)",  
+        color = "Semana") +  
+   theme_minimal()  
`geom_smooth()` using formula = 'y ~ x'
```