

REVISIÓN DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE HUMUS CON ALTOS
CONTENIDOS DE MACRONUTRIENTES A PARTIR DE LOMBRICES.

AUTOR: WALTER CAMILO ZIPA GARCÍA

TRABAJO DE GRADO EN MODALIDAD DE TESIS PARA ADQUIRIR EL TITULO
DE INGENIERO AMBIENTAL

ASESORA:

LINA PATRICIA VEGA GARZÓN
PhD INGENIERÍA AMBIENTAL

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: MANEJO Y SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS-TUNJA
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
TUNJA, BOYACÁ

2023

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de grado principalmente a mi familia, a mi señora madre y señor padre quienes fueron un pilar fundamental en mi proceso de formación. De manera especial dedico este logro a mi abuela María Evangelista Pérez de García.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Doctora Lina Patricia Vega Garzón por apoyarme tanto en el proceso de formación como en el desarrollo de este trabajo, su aporte profesional me dotó de herramientas de investigación de gran utilidad que me permiten avanzar en mi interés por ser un Ingeniero ambiental con capacidad para aportar en avances investigativos aplicados a la ingeniería en busca de optimizar sistemas, métodos, equipos y modelos nuevos que impulsen el desarrollo sostenible de la agricultura en Colombia; especialmente en aquellos modelos que involucren avances en la biotecnología ambiental.

RESUMEN

El humus de lombriz es el producto de la transformación de los procesos metabólicos de la lombriz, conteniendo principalmente los macronutrientes (N, P, y K) en conjunto con otros microelementos, además de contener ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y una rica carga microbiana benéfica para el suelo. La demanda de macronutrientes del suelo para la fabricación de abonos depende principalmente de su disponibilidad en el mercado; por ejemplo, el fósforo es el mineral más costoso. Este mineral como insumo agrícola proviene en su mayoría de explotaciones mineras de rocas fosfóricas y se estima que para el año 2050 su oferta disminuya. Por otro lado, el nitrógeno se utiliza en las formulaciones como urea, un derivado de la industria del petróleo. Para la obtención de los insumos agrícolas a base de (N, P y K) se generan impactos negativos en el medio ambiente que van desde el inicio de la explotación del mineral hasta su posconsumo. Por ello, al fabricar humus de lombriz de manera controlada, se da apoyo a la gestión de residuos sólidos orgánicos debido a que se reincorporan en la cadena productiva los restos vegetales cuyo destino final era el relleno sanitario, proponiendo además avances agrotecnológicos para la producción de humus de lombriz. En la actualidad, se utiliza a *Eisenia foetida* como especie comercial principalmente para la producción de humus de lombriz. Esta especie ha demostrado poca selectividad por el sustrato que consume influyendo esto en los contenidos finales de nutrientes importantes como el fósforo o el nitrógeno. Por esta razón, este proyecto se enfoca en investigar los distintos modelos de producción de abonos orgánicos utilizando la lombricultura, identificando las combinaciones del alimento de las lombrices, con la finalidad de destacar su potencial

para producir bioabono o humus de lombriz con características físicas, químicas y microbiológicas que disminuyan la demanda de abonos a base de minerales debido a sus características diferenciadas de contenido de macronutrientes; Para ello se analizaron las investigaciones de forma exhaustiva y se analizan sus resultados por medio de la técnica de Snowballing. Obteniendo como producto de investigación 10 capítulos que involucran los montajes, materias primas, materiales, equipos, técnicas de caracterización del humus de lombriz y bioensayos realizados como pruebas de su potencial de uso, destacando el interés por la obtención de (N, P y K) en las diferentes formulaciones utilizadas. Se recomienda dirigirse al **Anexo A** donde se plantea un resumen puntual de algunos sistemas de producción de humus de lombriz.

Palabras claves

Lombriz, Humus, Vermicompost, Bioabono, Macronutrientes del suelo

ABSTRAB

The earthworm humus is the product of the transformation of the metabolic processes of the earthworm, mainly containing macronutrients (N, P, and K) together with other microelements, besides containing humic acids, fulvic acids, and a rich beneficial microbial load. for the ground. The demand for soil macronutrients for the manufacture of fertilizers depends mainly on its availability in the market; for example, phosphorus is the most expensive mineral. This mineral as an agricultural input comes mostly from phosphate rock mining operations and it is estimated that by the year 2050 its offer will decrease. On the other hand nitrogen is used in formulations such as urea, a derivative of the oil industry. Obtaining agricultural inputs based on (N, P and K) negative impacts are

generated on the environment which go from the beginning of the exploitation of the mineral to its post-consumption. For this reason, by manufacturing earthworm humus in a controlled manner, support is given to the management of organic solid waste because the vegetable remains whose final destination was the sanitary landfill are reincorporated into the production chain. Additionally, its proposing agrotechnological advances for the production of earthworm humus. At present, *Eisenia foetida* is used as a commercial species mainly for the production of earthworm humus. This species has shown a few selectivity for the substrate it consumes, influencing this in the final contents of important nutrients such as phosphorus or nitrogen. For this reason, this project focuses on investigating the different models of production of organic fertilizers using vermiculture, identifying the combinations of earthworm food, in order to highlight their potential to produce biofertilizer or earthworm humus with physical, chemical and microbiological that reduce the demand for fertilizers -based on minerals due to their differentiated characteristics of macronutrient content; For this purpose, 54 investigations were analyzed exhaustively and results were analyzed using the Snowballing technique. Obtaining as a research product 10 chapters that involve the assemblies, raw materials, materials, equipment, characterization techniques of earthworm humus and bioassays carried out as tests of its potential use, highlighting the interest by obtaining (N, P and K) in the different formulations used. It is recommended to address to the **A annex A** where a complete summary about the earthworm humus production systems is found.

Keywords

Earthworm, Humus, Vermicompost, Biofertilizer, Soil macronutrients

TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3.	PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....	4
4.	JUSTIFICACIÓN.....	5
5.	OBJETIVO GENERAL.....	8
5.1.	Objetivos específicos	8
6.	ANTECEDENTES	9
7.	MARCOTEÓRICO.....	15
8.	METODOLOGÍA.....	21
9.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	24
9.1.	Análisis bibliométrico de las investigaciones.....	24
9.2.	Manejo de residuos	25
9.2.1.	Clasificación de los residuos	27
9.2.2.	Fuentes orgánicas	28
9.2.3.	Combinaciones de residuos.....	30
9.3.	Elementos útiles en montajes Experimentales.....	34
9.4.	Control y calidad	35
9.4.1.	Frecuencia de medición de parámetros.....	35
9.4.2.	Control durante la producción	37
9.4.3.	Equipos e instrumentos de control	38
9.4.4.	Recolección del bioabono.....	39
9.4.5.	Métodos de análisis para el abono obtenido	40

9.5.	Medios de cultivo para microorganismos.....	40
9.6.	. Especies de lombrices	45
9.7.	Lombrices en la producción de humus	49
9.7.1.	Claves para la clasificación taxonómica de lombrices.....	49
9.7.2.	Seguimiento poblacional	50
9.8.	Bioensayos con lombricompostaje	53
9.9.	Recomendaciones propuestas por el autor de esta tesis para futuras investigaciones	56
9.10.	Comportamiento general de un sistema de producción de humus de lombriz.....	57
10.	CONCLUSIONES	58
11.	BIBLIOGRAFÍA	60
12.	ANEXOS	71

TABLAS

Tabla 1. Formas de obtener datos sobre generación de residuos sólidos vegetales -----	26
Tabla 2. Formas para realizar la clasificación de los residuos sólidos vegetales. -----	27
Tabla 3 Publicaciones de los estudios reportados a nivel departamental y municipal.-----	88
Tabla 4. Clasificación de Abonos. -----	91
Tabla 5. Lista de artículos consultados de la base de datos de publinde. -----	92
Tabla 6. Lista de palabras claves correspondientes a cada artículo consultado -----	95
Tabla 7. Similitud entre palabras claves -----	100
Tabla 8. Información básica para extraer en los artículos de investigación. -----	103
Tabla 9. Consideración de tareas a desarrollar durante la producción del bioabono humus de lombriz. ----	108
Tabla 10. Materiales usados en los diseños experimentales-----	109
Tabla 11. Equipos e instrumentos requeridos para llevar un control durante la producción. -----	111
Tabla 12. Frecuencia en la medición de parámetros-----	113
Tabla 13. Orden de actividades para realizar la recolección del humus de lombriz. -----	115
Tabla 14. Tipos de análisis microbiológicos exigidos en Chile para bioabonos. -----	116
Tabla 15. Métodos para caracterizar física, química y biológicamente el bioabono humus de lombriz. ----	117
Tabla 16. Medios de cultivo para microorganismo presentes en el bioabono humus de lombriz-----	121
Tabla 17. Listado de residuos sólidos vegetales usados en los diseños experimentales -----	122
Tabla 18. Formulaciones preparadas en los diseños experimentales. -----	126
Tabla 19. Especies de lombrices.-----	130
Tabla 20. Claves taxonómicas para la caracterización morfológica de las lombrices. -----	131
Tabla 21. Fórmulas para analizar el estado de la biomasa de lombrices. -----	132
Tabla 22. Especies vegetales beneficiadas por la actividad de lombrices: caso <i>Pontoscolex corethrurus</i> ----	133
Tabla 23. Especies vegetales cultivadas usando el bioabono humus de lombriz.-----	134

TABLA DE GRÁFICOS

Gráfica 1. Comportamiento del número de investigaciones publicadas desde 1992	79
Gráfica 2. Frecuencia de publicación de los artículos de investigación consultados	79
Gráfica 3. Origen nacional de las publicaciones	80
Gráfica 4. Origen departamental de las investigaciones	80
Gráfica 5. Cantidad total de artículos que reportaron el origen de los residuos.	80
Gráfica 6. Contenido de nitrógeno en las formulaciones.	80
Gráfica 7. Variación en la concentración de nutrientes.	81
Gráfica 8. Concentraciones de nutrientes en 6 formulaciones.	82
Gráfica 9. Contenido de macronutrientes en formulaciones 24 y 25	83
Gráfica 10. Contenido de macronutrientes en formulaciones 26,27 y 28.	83
Gráfica 11. Estado de reporte de los microorganismos en los artículos de investigación de pubindex	84
Gráfica 12. Número y porcentaje de publicaciones que reportan la especie de lombriz usada.	84
Gráfica 13. Artículos que reportaron el nombre taxonómico del suelo.	84
Gráfica 14. Condición de degradación del alimento suministrado a las lombrices.	84
Gráfica 15. Relación entre el uso del suelo y las poblaciones de lombrices.	85
Gráfica 16. Germinación de semillas en diferentes sustratos.	86
Gráfica 17. Parámetros químicos considerados en diferentes sustratos.	87

TABLA DE ANEXOS

Anexo A. <i>Resumen de análisis de resultados</i>	71
Anexo B. <i>Recopilación de gráficas y tabulaciones construidas en esta tesis para analizar el contenido de macronutrientes con los procesos de producción de humus de lombriz</i>	79
Anexo C. <i>Estado de investigación en Colombia, a nivel departamental.</i>	88
Anexo D. <i>Clasificación de abonos establecida por la EPA.</i>	91
Anexo E. <i>Base de datos de pubindex.</i>	92
Anexo F. <i>Palabras claves reportadas en cada investigación.</i>	95
Anexo G. <i>Palabras comunes obtenidas de las 145 claves reportadas.</i>	100
Anexo H. <i>Levantamiento de datos esenciales para el análisis de la investigación.</i>	103
Anexo I. <i>Métodos de control durante la producción de bioabono humus de lombriz</i>	108
Anexo J. <i>Materiales útiles para el diseño y montaje de un sistema de producción de humus de lombriz.</i>	109
Anexo K. <i>Equipos requeridos para las etapas de producción de humus de lombriz.</i>	111
Anexo L. <i>Parámetros de medición con su respectiva frecuencia de medición.</i>	113
Anexo M. <i>Pasos para realizar la recolección del humus de lombriz.</i>	115
Anexo N. <i>Análisis de microorganismos en normatividad de Chile</i>	116
Anexo O. <i>Métodos para la caracterización del bioabono humus de lombriz.</i>	117
Anexo P. <i>Diferentes tipos de medios de cultivos para microorganismos del humus de lombriz</i>	121
Anexo Q. <i>Fuentes orgánicas usadas en los experimentos.</i>	122
Anexo R. <i>Contenido de macronutrientes reportados en los 30 artículos consultados.</i>	126
Anexo S. <i>Especies de lombrices reportadas por su uso en las investigaciones.</i>	130
Anexo T. <i>Claves taxonómicas para identificación de lombrices de tierra.</i>	131
Anexo U. <i>Cálculo del comportamiento poblacional de las lombrices en el lombricultivo.</i>	132
Anexo V. <i>Efectos positivos de la relación lombriz <i>Pontoscolex corethrurus</i> con algunas especies vegetales</i>	133
Anexo W. <i>Bioensayos a partir de diferentes especies.</i>	134
Anexo X. <i>Comportamiento general de un sistema de producción de humus de lombriz.</i>	138

1. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial para el año 2020 se calcula que los alimentos más producidos son la caña de azúcar con (1800 millones de Ton) de las cuales entre 30 y 65 millones de Ton se generan como residuos sólidos al pasar por la transformación de la industria azucarera, para el caso del arroz se producen cerca de 509 millones Ton, de las cuales se generan residuos como cascarilla y paja en equivalencia de 1 Ton por cada Ton de arroz ofertada en la canasta familiar; para el caso de Colombia se generan 71 millones Ton de residuos sólidos vegetales derivados de las actividades del cultivo de arroz, plátano, caña de panela y azúcar, maíz, café, banano y palma de aceite principalmente; residuos de los cuales solo el 17% logran ser reaprovechado (Romero Sáez, 2022).

Dentro de los impactos ambientales negativos que se dan por la generación y disposición de los residuos orgánicos se resalta la degradación del paisaje por presencia de residuos dispersos, pérdida de la calidad del aire por emisión de malos olores, gases de efecto de invernadero y, nicho de vectores de enfermedades como insectos, roedores y caninos; los cuales transmiten microorganismos patógenos que pueden causar enfermedades como por ejemplo el parasitismo intestinal (Sanclemente Reyes, Ararat Orozco, & Balanta Tenorio, 2018).

Principalmente los residuos sólidos orgánicos no son separados en la fuente de generación, perdiendo así su potencial de reaprovechamiento ya que estos residuos van a parar en rellenos sanitarios sin lograr obtener el beneficio de su potencial económico al reincorporarlo en las cadenas de valor por medio de su reciclaje y, transformación en insumos agrícolas como bioabonos; además, la disposición final de estos residuos reduce la vida útil de los rellenos sanitarios y estos se ven afectados con el aumento de la producción de estos residuos de manera proporcional con el crecimiento de la población de las ciudades; En Colombia, según el (DANE, 2020); (DANE, 2018)) el país tendrá para el año 2022 una población de habitantes en cabecera municipal a nivel nacional de

39.388.690, para el departamento de Boyacá 500.742 y para el municipio de Tunja, capitán Boyacense 173.991; Aumentando cada vez más la presión en los rellenos sanitarios por el aumento en la demanda y consumo de alimentos a medida que crece el número de habitantes de las ciudades y con ello la posterior generación de residuos. Se trae a colación las cifras de población de la ciudad de Tunja como ejemplo del reto que tiene en cuanto a la gestión de residuos sólidos a medida la que población va en crecimiento.

Conocer a detalles el contenido físico, químico y biológico del abono orgánico humus de lombriz permite ampliar la demanda de su aplicabilidad en diferentes trabajos como los relacionados con la fertilización y biorremediación de suelos contaminados, según (Mosquera Córdoba, 2016) en diseños experimentales de laboratorio se ha logrado la remoción de un 65% de mercurio vertido en humus de lombriz y, además, se detalla el poco impacto que tuvo la contaminación del metal pesado sobre el desarrollo y crecimiento de la biomasa poblacional de la especie *Eisenia foetida*. Con lo cual se incursiona en actividades que se involucren en la etapa de cierre de minas de oro y su posterior restauración ecosistémica por medio de la aplicación del bioabono humus de lombriz.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente en lo relacionado con la producción de insumos agrológicos existen distintas formas de obtenerlos ya sea como fertilizantes, abonos o enmiendas; los fertilizantes de origen inorgánico o mineral y de derivados del petróleo se ofrecen en el mercado en diferentes presentaciones como en polvo, cristales, gránulos, perlados y líquidos, que entre las características químicas de su fabricación se encuentran contenidos dosificables para cada etapa del cultivo de las plantas, en diferentes concentraciones para los elementos de nitrógeno (N), potasio (K) y fósforo (P); una de las presentaciones comerciales en fertilizantes más famosas es el triple 15, (15% (N) - 15% (K) - 15% (P)), que en su relación / función sobre el suelo actúan según las condiciones fisicoquímicas en las que se encuentre este recurso natural, es decir puede variar sus

propiedades según el pH del suelo a cultivar, régimen de humedad, biota, entre otros (Arévalo & Castellano, 2009).

Los procesos de producción de biosólidos pueden generar impactos negativos en el medio ambiente por la emisión de olores y gases de efecto de invernadero, estos gases han sido detectados y mencionados por la EPA y los más conocidos son el amoníaco, las aminas y compuestos reducidos que contienen azufre (EPA, 2023). Estos Gases de Efecto de Invernadero (GEI) se generan en las plantas de tratamiento de agua residual y en conjunto con los residuos sólidos orgánicos generados en las ciudades (principalmente), se convierten en un problema ambiental.

Actualmente los diseños experimentales realizados en las investigaciones sobre producción de humus de lombriz en Colombia se basan en el cumplimiento de la norma NTC 5167, la cual no incluye el análisis de microorganismos como enterovirus y *Rotavirus* (Gutiérrez, *et. al.*, 2009), el *Rotavirus* se ha encontrado en el estiércol del ganado y, el estiércol es utilizado como fuente orgánica en distintas formulaciones para la preparación de compostaje (Gutiérrez, *et. al.*, 2009). Adicionalmente no se ha definido de manera clara un protocolo o guía que informe sobre los alimentos que pueden ser usados para alimentar directamente a las lombrices sin pasar por procesos de precompostaje, en especial aquellos que tiene características de fermentación como el caso del tomate y el estiércol (Caro Lara, Romero Otálora, & Lora Silva, 2009).

El potencial que tiene una especie de lombriz para producir humus a partir de residuos sólidos orgánicos presenta inconvenientes en la caracterización taxonómica de las lombrices investigadas, ya que se suelen confundir las especies de lombrices generando así reportes de especies distintas como una sola, obteniendo así inconsistencias en los resultados de las investigaciones para la producción de humus de lombriz, como en el caso de las especies *Eisenia foetida* y *Eisenia fétida*, las cuales se relacionan con lombriz roja californiana; Morfológicamente es difícil lograr diferenciar algunas especies de lombrices las cuales comparten características morfológicas similares, por ello, es importante vincular estudios genéticos y relacionados con el ADN como los reportados por (Domínguez & Pérez, 2010) “Aplicando el procedimiento de

delimitación filogenética de especies poblaciones de E. fetida y E. andrei" (Wiens & Penkrot, 2002). Otro problema en los modelos de producción en las investigaciones es que se podrían estar utilizando varias especies de lombriz dentro de las mismas camas de cultivo, razón por la cual se presentarían problemas en el crecimiento de su población, a razón de que en especies que comparta afinidad, se podría dar cruces y el surgimiento de colonias mixtas, de las cuales no se tendría claro sus características propias. Según (Domínguez & Pérez, 2010) Cuando se tiene dos especies diferentes y se intentan entrecruzar, lo que puede suceder es que no se genere descendencia, por lo cual se puede inferir que corresponden a dos especies diferentes; aunque se pueden copular capullos que no eclosionarán.

3. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Con la utilización de lombrices para el proceso de transformación de residuos, se puede generar y ser eficiente en la producción de humus con contenidos de macronutrientes asimilable para las plantas en concentraciones superiores a los del humus común?
- ¿Cuáles son las variables fijas e independientes que afectan el contenido final de la producción de humus de lombriz?
- ¿Cuáles son las claves taxonómicas que se reportan en los estudios de investigación para identificar las especies de lombrices usadas?
- ¿Es posible obtener humus de lombriz que cumpla la NTC 5167 a partir de la alimentación de las lombrices con residuos sólidos orgánicos frescos y precompostados?
- ¿Cómo se realizan la caracterización del humus de lombriz obtenido al final del proceso de producción?

- ¿Qué materiales, equipos e insumos se requieren para realizar un montaje experimental para la producción de humus de lombriz?
- ¿Se han realizado pruebas de bioensayos en cultivos con los biofertilizantes obtenidos del humus de lombriz?

4. JUSTIFICACIÓN

El uso excesivo de fertilizantes aplicados sin una guía profesional, puede causar problemas en el suelo por bloqueo de nutrientes y cambios del pH, además de que su composición principalmente en nitrógeno y fósforo pueden causar impactos ambientales negativos (Cantero R, *et. al.*, 2015). Los impactos se pueden presentar por aspectos como volatilización del nitrógeno o lixiviación del fósforo y el potasio.

El compostaje es un abono orgánico obtenido a partir de la degradación y transformación de los residuos sólidos orgánicos que son usados como materia prima; según la funcionalidad que se le quiera dar, el abono orgánico puede usarse como acondicionador de suelos o fertilizante, mejorando los procesos de aireación, drenaje, retención de humedad y almacenamiento de nutrientes; también puede ser un potencial biorremediador al usarse en recuperación de suelos degradados por actividades como la agricultura (INN, 2005). Adicionalmente el compostaje puede mejorarse a través de procesos biotecnológicos con el uso de las lombrices, obteniendo como producto el humus de lombriz, el cual puede ser usado como fertilizante orgánico; El uso de lombrices en procesos de producción de humus, genera un alivio a la necesidad de incorporar métodos para alcanzar sistemas cada vez más eficientes en el tratamiento de residuos orgánicos, en este caso mejorando el tiempo de producción del abono (humus) en bioabono (humus de lombriz) y las concentraciones de macronutrientes disponibles y asimilables en el suelo para las plantas.

Otro residuo que puede ser aprovechado y reincorporado a la cadena de valor por medio de las lombrices es el producido en las plantas de tratamiento de agua residual, estas generan como desecho el lodo producto del tratamiento del agua residual y, su disposición final puede generar vectores si no se controlan adecuadamente, por eso, al utilizar materias primas como los biosólidos en la alimentación de las lombrices, se obtienen beneficios como: económicos, conservación de suelos, y, la disminución de la cantidad de residuos sólidos dispuestos finalmente en rellenos sanitarios, alargando así la vida útil de estos rellenos y disminuyendo la demanda de recursos no renovables como los minerales de los que se obtienen los macronutriente P, N y K; adicionalmente, se disponen de una buena fuente de reserva de nutrientes y propiedades físicas que mejoran la estructura del suelo (EPA, 2023). Por ejemplo la PTAR Salitre de Bogotá genera cerca de 3.61 Ton de biosólidos al mes con una importante carga de nitrógeno y fósforo principalmente (Chávez & Rodríguez, 2011); estos lodos requieren de un tratamiento tanto para darle una disposición final como para aprovecharlo como fertilizante o enmienda orgánica.

Por ello, se hace necesario entonces obtener y proponer un levantamiento de datos sobre los distintos tipos de residuos sólidos orgánicos que se han estudiado, sus distintas concentraciones en las formulaciones de preparación y el valor de los nutrientes disponibles para las distinta especies vegetales, a partir de datos obtenidos al final de la etapa de producción, con la finalidad de avanzar en la preparación y obtención de humus de lombriz según las características deseadas como pueden ser: un alto contenido de nitrógeno, fósforo o potasio, los cuales pueden ser aplicados en cualquier tipo de suelo debido a sus condiciones de neutralidad que no alteran el pH y no son selectivo a especies vegetales en específico durante una o todas las etapas del cultivo.

Se brindan alternativas ambientalmente sostenibles al reincorporar a la cadena de valor los residuos sólidos orgánicos para la producción de insumos agrícolas como bioabonos, de los cuales además se pueden extraer adicionalmente las cepas de microorganismos eficientes, benéficos o biorremediadores, entre otros. Por otro lado, también se da apoyo a los planes de saneamiento básico municipales entre los que se

encuentra el tratamiento de residuos sólidos y los provenientes del agua residual; con ello, se da una gestión también a los residuos sólidos aprovechables que provienen como residuo-desecho de las plantas de tratamiento de aguas residuales y que se conoce como biosólido en forma de torta de lodo residual.

Por otra parte, debido al problema que se presenta a la hora de reportar como se identificaron las especies de lombrices utilizadas en el proceso de lombricompostaje se hace necesario incorporar criterios como el alcanzar el estatus de Buena especie a los taxones analizados, los cuales pueden aportar rigor de seriedad en las investigaciones (Domínguez & Pérez, 2010). Conocer los nombres comunes con los que se conocen las especies en conjunto con sus nombres científicos es un trabajo importante que permite establecer el medio de identificación de una especie en específico sobre una base de datos para obtener un levantamiento geoespacial de la presencia y uso de estas especies de lombrices en procesos de transformación de sólidos orgánicos; con esto se puede dar apertura a un espacio de estudio para la antropología ambiental y ecológica que permitan entender la relación entre hombre-hábitat-especies.

Con intenciones de obtener la mayor información posible sobre las lombrices de tierra y su uso en producción de bioabono humus de lombriz, con este estudio se propone cubrir ese vacío de conocimiento, ya que el conocimiento cultural nos permite datar la importancia socio-cultural, socio-económica y socio-ambiental, entre otras cosas, de una especie; El estudio de las distintas especies de lombrices de tierra, permite comprender los procesos de pedobiocenosis que ocurren en distintos lugares del país y por ello es importante registrar la clasificación del suelo donde se encontraron las especies llegando a ser lo más puntuales posible, pues con esta información se definen los rangos ecológicos para su desarrollo y crecimiento, los cuales se proyectan a replicar en sistemas semi-abiertos y controlados para la producción del bioabono humus de lombriz.

Apoiando a la postura anterior por medio de la investigación de (Durán, Rodríguez, & Suárez, 2018) indican que las propiedades del suelo de tipo arcilloso con contenidos dominantes de sodio no promueven la presencia de especies de lombrices, en contraste con los suelos con propiedades arenosas con dominancia de carbono orgánico, el cual

por la acción metabólica de las lombrices deposita el carbono en forma de microagregados entre el rango de 250 y 253 micrómetros, contenidos en el horizonte orgánico del suelo, que en conjunto con los tipos de arreglos forestales como el abarco *Cariniana pyriformis*, en asociación con *Flemingia macrophylla* y *Eugenia stipitata* favorecen el desarrollo de lombrices en contraste con el arreglo forestal de caucho *Hevea brasiliensis* y *Theobroma grandiflorum*, las cuales no favorecen el desarrollo de las lombrices.

Los resultados que se presenten servirán como insumo intelectual de carácter académico e investigativo, obtenidos de fuentes confiables, con utilidad en estudios relacionados con los sistemas de producción de humus de lombriz, de los cuales mediante la identificación de los materiales, especies vegetales y de lombrices, equipos, métodos de producción, métodos de análisis y bioensayos, busca contribuir con el avance en los diseños que buscan ser más eficientes, sostenibles y viables, en carácter técnico-económico, dirigidos con aplicabilidad que contribuya al desarrollo agrícola sostenible a la par con la gestión de los residuos sólidos vegetales municipales, sub urbanos y rurales.

5. OBJETIVO GENERAL

Revisar los sistemas de producción de humus con altos contenidos de macronutrientes a partir de lombrices

5.1. Objetivos específicos

- Generar un estado del arte de las investigaciones más relevantes sobre el lombricompostaje orientada a conocer el fundamento teórico y práctico que lleva a la producción de compost con características especiales en contenidos de (N, P y K), sus métodos de producción y métodos de análisis.
- Analizar las características de materias primas, especies y montajes experimentales aplicados y su influencia en los contenidos de nutrientes obtenidos y eficiencias de producción a partir de una revisión exhaustiva de la literatura.

- Proponer mejoras en los diseños técnico-investigativos de los modelos de producción en los sistemas de lombricompostaje actuales para futuras investigaciones a escala piloto.

6. ANTECEDENTES

La gestión de los residuos sólidos, entre estos los residuos orgánicos, son un tema de interés general, ya que con esto se involucra a la salud pública y, su implementación indica el compromiso que existe para mejorar las condiciones de vida de las poblaciones; Las lombrices tiene la capacidad de transformar la materia orgánica, aprovechando su descomposición para satisfacer sus necesidades metabólicas, obteniendo como resultado la generación de humus de lombriz como producto de sus deyecciones; Según (Salinas, Sepúlveda, & Sepúlveda, 2014) El lombricompostaje como insumo agrícola tiene como finalidad contribuir con la demanda nutricional de distintas especies vegetales por medio del humus obtenido a partir de especies de lombrices que se han domesticado, siendo la más común la especie *Eisenia foetida*, la cual genera como producto de su metabolismo deyecciones que al caracterizarlas se observa que hay un aumento de: La materia orgánica, biomasa microbiana y de nitrógeno (N); aunque el fósforo puede estar en bajas concentraciones debido a procesos de lixiviación. Entre los 3 macronutrientes esenciales del suelo el K es el elemento más estable, aunque este también se puede perder por lixiviación bajo condiciones físico-químicas especiales del sustrato o suelo.

Aprovechando el potencial que tienen algunas especies de lombrices terrestres para alimentarse de materia orgánica y biosólidos, estas son utilizadas cada vez con mayor frecuencia. Como ejemplo, se menciona la transformación de residuos obtenidos de la actividad operativa de una planta de tratamiento de agua residual, de la cual se obtiene biosólidos disueltos, suspendidos y precipitados, los cuales pueden ser utilizados para fabricar bioinsumos como el humus de lombriz; el pH cercano a 7 favorecen el desarrollo de la especie *Eisenia foetida* y cuando la humedad desciende a valores

inferiores al 35% se torna como un sistema inestable, adicionalmente en relación a los macronutrientes del suelo estos aumentan (Porrás, Castiblanco, & Ortega, 2017).

Durante los procesos de producción de humus de lombriz, se han realizado análisis de variables como el estado de degradación de la materia orgánica, tipo de alimentos y proporción de las distintas combinaciones, por ejemplo: se encuentra que se puede utilizar residuos de tomate y pimentón en proporción 1:1 para 2 pruebas, la 1ra en base a mezcla fresca y 2da en mezcla precompostada para un contenedor de 40 cm de largo * 30 cm ancho * 5 cm de profundidad, a estos contenedores se les adicionan 4 kg de alimento para una cantidad de 100 individuos y en cuanto a los parámetros de oscuridad y humedad se mantienen cerca al 80% y, la recolección de humus se da a los 90 días (Salinas, Sepúlveda, & Sepúlveda, 2014).

Reforzando la postura anterior se destaca que las características finales del humus dependen del tipo de residuo o materia orgánica que se ha utilizado, por ejemplo, para el caso de los residuos de banano, follaje de ornamentales, broza de café y estiércol vacuno, el estiércol es el que mayor contenido de (P) obtuvo al analizar el humus de lombriz (Durán & Henríquez, 2007). Para determinar si hay influencia en la cantidad de individuos que se utilizan para realizar el proceso de humificación se establecen diferentes unidades dependiendo de parámetros como el área o Volumen; para un volumen de 0.03 m³ correspondientes a las medidas de 0.5 m de largo, 0.3 metros de ancho y 0.30 m de profundidad, de los cuales 0.15 m³ se utilizan para material filtrante y el restante para la vermicompostera, se utiliza una densidad de 600 adultos ya que estos cuentan con la presencia de clitelo ya desarrollado; adicionalmente ya como se había mencionado antes la humedad debe permanecer entre rango de [70 - 80] % (Durán and Henríquez, 2007).

“Las especies de lombriz más usadas para la elaboración de humus son la lombriz roja californiana, Eisenia foetida, Eisenia andrei y la lombriz africana (Eudrilus eugeniae), siendo Eisenia Foetida la más conocida y la que es utilizada en más del 80% de los criaderos del mundo” (Guache, 2015). Uno de los retos principales es la caracterización de la composición química del humus como bioinsumo agrícola, para ello, se establece en Colombia como guía la norma NTC-5167, la cual hace relación a los productos para la

industria agrícola y en ella se establece en el apartado 5 todo lo correspondiente a tomas de muestras, apartado 6 métodos de ensayo y, finalmente incluye información sobre los ensayos microbiológicos que deben hacerse.

El contenido de fósforo utilizando a *Eisenia foetida* bajo las combinaciones de rastros de tomate y pimentón (proporción 1:1) cuenta con un valor inicial de 0.36 % y al final se obtiene una concentración de P de 0.13 % (Salinas, Sepúlveda, & Sepúlveda, 2014) entre el uso de las materias primas de: Residuos domésticos, estiércol, banano, residuos de vegetación ornamental y broza de café, el que mejor rendimiento final dio para concentración de (P) fue el estiércol vacuno, siendo las variables que se mantienen fijas la temperatura y el % de humedad; las variables que se modifican son los alimentos y su estado de degradación, es decir si es fresco o precompostado, destacando que el fósforo inorgánico se transforma en asimilable para las plantas por medio de la acción de microorganismos solubilizadores de fósforo (Durán & Henríquez, 2007).

Para caracterizar el humus de lombriz es importante pasar por algunos procesos que dependen del macronutriente del suelo que se esté evaluando, para ello se toma una muestra de 500 g, luego pasa por un tamiz de 2 mm y ahí si se procede a evaluar parámetros como : 1) el pH con ayuda de un potenciómetro y en concentraciones de suelo-agua de 1: 2.5; 2) la salinidad que se mide por medio del conductímetro; 3) la materia orgánica se mide bajo procesos de oxidación con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$); 4) el nitrato (NO_3^-) es obtenido por la extracción con sulfato de plata (Ag_2SO_4) al (0.01%); y 5) el nitrógeno orgánico analizado con el método Kjeldahl (Salinas, Sepúlveda, & Sepúlveda, 2014).

Como parte fundamental dentro de los macronutrientes primordiales para caracterizar está el fósforo, este se puede analizar por método de colorimetría (Porras, Castiblanco, & Ortega, 2017) El pH se puede analizar por medio del uso de un potenciómetro para el cual se toman 50 g de muestra saturada y reposada por 1 hora, luego se filtra y se hace análisis de pH y de conductividad eléctrica, para el análisis de materia orgánica (M.O) se aplica la técnica de dicromato de potasio y, los elementos de Ca, Mg y K se obtuvieron por medio de espectrofotometría; para el caso del fósforo por

medio de colorimetría y el N por medio del método micro Kjeldahl; para los análisis microbiológicos se utiliza el método fumigación-extracción en el caso de análisis de biomasa microbial y también se realiza conteo de colonias cultivadas en medios Martin y albuminato de sodio (usando Log 10 UFC) (Durán & Henríquez, 2007).

A partir de tres especies de lombrices para realizar pruebas en la disponibilidad de fósforo, las especies que se utilizan son *Lumbricus rubellus*, *Aporrectodea caliginosa savigny* y *Lumbricus terrestris*, el estudio se analiza en base al bioensayo con el uso de la especie de pasto *Lolium perenne* y, para ello se utilizan como contenedores unas macetas (48 en total) dispuestas en un invernadero; el tiempo de estudio fue de 75 días, para cada especie de lombriz se realizan dos réplicas para cada dosificación formulada; las lombrices se conservan en oscuridad y antes de comenzar con el proceso de evaluación se someten al método de servilleta húmeda durante 48 horas donde la finalidad es vaciar sus intestinos y obtener una medida de peso de individuos lo más exacta posible. Como resultados se obtiene que en las tres macetas la disponibilidad de fósforo tanto orgánico como inorgánico aumenta, pero los mayores rendimientos se obtuvieron con *Lumbricus rubellus* (Hannah, et al, 2014).

Adicionalmente se informa que las plantas aprovechan el P como el compuesto ortofosfato el cual también puede ser obtenido de forma inorgánica gracias a procesos simbióticos entre raíces y micorrizas, aunque los ácidos orgánicos y fosfatasas son otras fuentes biológicas de P, se informa que el aumento del pH en el sustrato de las lombrices contribuye a que se mineralice el N orgánico a NH_4 ; para determinar el P se utiliza extracción con ácido acético y lactato de amonio y en conjunto de otros procesos determinan el grado de saturación de P. *Lumbricus terrestris* fue quien tuvo un mayor efecto en el crecimiento del pasto y la absorción de P por parte de este pasto, aunque aún se desconoce la razón, esta puede ser por la diferencia de biomasa entre especies aunque sólo siguen siendo suposiciones (Hannah, et al, 2014).

Finalmente los autores recomiendan que futuras investigaciones deben basarse en “(1) desentrañar los mecanismos a través de los cuales las lombrices de tierra influyen en la disponibilidad de P, y (2) evaluar la dinámica espacio-temporal de estos efectos a nivel

de suelo a granel, y las implicaciones que los acompañan para la absorción de las plantas" (Hannah, et al, 2014).

Con el tratamiento de la fase sólida de un digestor de heces de oveja, se evalúan las características del abono producido a partir de las especies *Eisenia fétida* y *Eisenia andrei*; para ello, se realizan procesos de control de % humedad y control de contenido de materia orgánica con un periodo de frecuencia semanal, la medición de pH y conductividad eléctrica se realizan cada 10 días, en cuanto a la caracterización química del abono se utiliza el equipo fotométrico (HANNAarHI83225) y finalmente se realiza análisis estadísticos de biomasa con las variables de peso y cantidad de individuos (Sosa & Laines, 2020); Como resultado se distingue que el contenido de materia orgánica fue mejor para *E. andrei* y se le atribuye a la voracidad que tiene la especie, en cuanto al pH para *E. andrei* tuvo un rango más ácido que *E. fétida*; adicionalmente, el mayor rango para la conductividad eléctrica fue para *E. fetida*; por otro lado, en cuanto a la tasa de reproducción y crecimiento *E. fetida* se postula como la mejor y tuvo mayores concentraciones de (K); como recomendación se propone expandir esta investigación en el campo de la microbiología, como estudiar patógenos, capacidad digestiva, presencia de metales pesados y tóxicos, y la factibilidad de aplicar el producto final en cultivos a escala piloto (Sosa & Laines, 2020).

A partir del potencial de fertilización que tiene el lixiviado de humus de lombriz en el cultivo de rosas (cultivo exigente de nitrógeno), se plantea que con el uso de abonos orgánicos gran parte de este N, se obtiene por la actividad del protoplasma de los microorganismos, además, dentro de los elementos más encontrados en deyecciones de lombrices están el N, K, C, Mg, Fe y Br; y uno de los parámetros que se utilizan para evaluar la calidad del abono son el contenido de materia orgánica soluble, CIC y CE (Ramírez Castañeda, Gómez Piedras, & Flórez Roncancio, 2011). *Eisenia fétida* es resistente a condiciones de estrés y logra trabajar hasta en densidades de 50 mil individuos por m², en cuanto a las formas disponibles de nutrientes para las plantas se obtiene como N amoniacal o nítrico, P intercambiable, K soluble, Ca y Mg, además otro tipo de compuestos son los ácidos húmicos entre los cuales se encuentra los complejos

fosfo-húmicos, fúlvicos y huminas cuya acción quelante favorece a generar disponibilidad de micronutrientes como Fe, Cu y Zn (Ramírez, Gómez, & Flórez, 2011).

Ya se han realizado pruebas en cultivos de maíz donde se evaluó el potencial del abono orgánico de lombriz y se obtuvieron rendimientos cercanos a los de dosificación inorgánica en concentraciones de 20 a 30 toneladas/ha. Para probar el efecto del fertilizante orgánico líquido en el cultivo de rosas se realizaron tres tratamientos en un total de 45 camas de cultivos, las variables evaluadas fueron productividad, calidad y concentración de nutrientes en análisis de tejido vegetal obteniendo como resultados un aumento en la producción, una disminución de flores pérdidas por descabece y no se presentan diferencias en la calidad de flores por nutrientes (Ramírez, Gómez, & Flórez, 2011).

La materia orgánica es un indicador de fertilidad por su contenido en relación de C:N y reservas de S y P; el humus está compuesto por: 1) sustancias húmicas como turbas, carbones, estiércoles y compost, 2) sustancias no húmicas como aminoácidos, carbohidratos, grasas y ceras; los ácidos húmicos son soluble en pH alcalino y los ácidos fúlvicos son soluble en medios tanto ácidos como alcalinos y finalmente están 3) las huminas que son el residuo de las disoluciones anteriormente mencionadas; los mejores parámetros que se obtuvieron para analizar la humificación del lombricompost son: la razón de polimerización, el índice de humificación y la relación entre carbono extraído y no extraído (Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1998).

Al probar 4 tipos de humus de lombriz de diferentes sustratos donde lo que varía son las formulaciones de residuos orgánicos utilizados, el proceso a realizar fue: 1) centrifugación y separación de sobrenadante, 2) del sobrenadante se toman alícuotas para cuantificar el % de C extraído; la otra parte se lleva a un pH de 2 con H₂SO₄ concentrado y se deja en nevera por 24 horas para asegurar precipitación de ácidos fúlvicos, 3) el sobrenadante ácidos fúlvicos se separan de los ácidos húmicos que se precipitaron por medio de centrifugación, este último se disuelve en NaOH al 0,1 N, 4) el % de C extraído y no extraído de cada fracción se determinó por método Walkley Black luego de secar las alícuotas en baño maría al 60 °C, 5) el N se analizó por el método de micro-

Kjeldahl, 6) la extracción de M.O humificada se hace por agitación mecánica con solución extractora NaOH 0,1 M/ Na₄P₂O₇ 0,1 M en relación 1:10 durante 24 horas, 7) Los ácidos húmicos disueltos en NaOH fueron sometidos a diálisis con agua destilada por 48 horas y al final se liofilizan y a estos se realiza análisis de C y N con el equipo Leco CHN-600 (Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1998).

Como resultados se obtiene que el contenido de C fue menor en el lombricompost que en el compost a razón del tiempo que tardó más en el lombricompost, empero al hacer el análisis de libre cenizas el lombricompost demuestra el beneficio de las lombrices para los procesos de humificación, también los microorganismos contribuyen a este proceso de humificación ya que toman el C como fuente directa de energía para sus actividades metabólicas (Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1998).

Finalmente, Los biosólidos como el humus de lombriz se pueden clasificar básicamente en 2 categorías las cuales determinan su potencial riesgo para la salud humana. En el **Anexo D** Clasificación de abonos establecida por la EPA. Se detalla cada una de estas.

7. MARCOTEÓRICO

El suelo contiene una gran diversidad de compuestos químicos orgánicos y minerales que son el sustento alimenticio para distintas especies biológicas como plantas, animales y microorganismos que por medio de su actividad metabólica, principalmente en la rizósfera del suelo, asimilan, transforman y fijan una gran cantidad de compuestos químicos que se pueden clasificar como macronutrientes del suelo, microelementos y bases. La materia orgánica aporta estos macro y microelementos del suelo al transformarse por agentes ambientales químicos, físicos, biológicos y microbiológicos que luego serán disponibles para las plantas o se concentraran en las reservas del suelo.

Los agentes biológicos como las lombrices en conjunto con una rica carga microbiana que se encuentran en su tracto digestivo, se encargan de humificar y

transformar los residuos sólidos orgánicos, favoreciendo así con el reciclaje de los nutrientes del suelo.

Los residuos sólidos son todo tipo de material sólido de posconsumo generado durante las actividades cotidianas de las personas naturales o jurídicas, el cual puede ser aprovechado o dispuesto en un relleno sanitario según sus características como aprovechables y no aprovechables (Colombia Leyes Y Decretos, 2002, Agosto, 06). Y estos se pueden clasificar como aprovechables y no aprovechables según sus características físicas, químicas o biológicas que les permiten ser reincorporados a una cadena productiva como en el caso de los plásticos, el vidrio, los metales y los residuos sólidos orgánicos.

Un residuo sólido orgánico es un desperdicio vegetal derivado de alimentos generados durante las etapas de producción y transformación durante actividades industriales o domiciliarias, en actividades de poscosecha tanto en fincas como en centros residenciales e industriales, o que se han deteriorado durante su transporte (CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL, 2016, Noviembre, 21). Los residuos orgánicos también incluyen los desechos metabólicos como el estiércol o la degradación de cuerpos que tuvieron vida, concentrando un contenido nutricional propio de cada especie u origen del residuo.

El contenido nutricional es el aporte nutritivo de un alimento, que posee vitaminas, proteínas, grasas e hidratos de carbono, que por sus características son propios de cada especie (Tesauro, 2013). Estos contenidos se transforman y reincorporan al suelo.

El Suelo es un recurso natural cuya formación requiere de mucho tiempo, por lo cual se considera como un recurso no renovable al ser considerado como finito; cumple con servicios ambientales como la regulación hídrica, almacenamiento de compuestos químicos mediante el ciclo biogeoquímico, reservas genéticas entre otros (Córdoba, 2012). En el suelo se desarrolla actividades antropogénicas como la agricultura encontrando una relación entre hombre-plantas-animales-microorganismos-hongos (SIAC, 2023). Los

cuales crecen, se desarrollan y reproducen según la disponibilidad de macro y microelementos del suelo, entre otras condiciones fisiológicas.

Los Microelementos del suelo son identificados como elementos esenciales para la nutrición de las plantas, en los que se encuentran el Zn, Mo, B, Fe, Mn y Cu; su disponibilidad depende de características como pH, material parental, % humedad, entre otros, de los cuales se resalta que el pH ácido favorece su disponibilidad (Vistoso & Martínez, 2019). Estos micronutrientes también incluyen el Ni y Cl; todo el conjunto de estos microelementos también pueden ser llamados como elementos menores o elementos trazas, los cuales están involucrados directamente con el metabolismo de las plantas al igual que los nutrientes secundarios como el Ca, Mg y S; los microelementos y los secundarios se necesitan en menores cantidades para intervenir en el metabolismo de las plantas y primordialmente en la conformación de enzimas (Salamanca & Baquero, 2018) cumpliendo funciones como la de los macronutrientes del suelo.

Un macronutrientes del suelo es requerido en mayor cantidad que los elemento secundarios y microelementos, con ellos se asegura que las plantas se desarrollaran y crecerán dándole una supervivencia a las especies vegetales; en este grupo de macroelementos se resalta la presencia del P, K y N y, su contenido se reporta generalmente en unidades de mg * Kg o en ppm (Mengel & Kirkby, 2000) aunque también se puede expresar en %. Por ejemplo el N se encuentra principal mente en los tejidos de las hojas de las plantas e interviene en el proceso de la fotosíntesis por medio de los cloroplastos (Alonso, et al, 2008). El nitrógeno se relaciona principalmente con el amoniaco, del cual se derivan otras formas químicas de este.

El Amoniaco es un gas compuesto, formado por un átomo de nitrógeno con 3 de hidrógeno (NH₃), es incoloro, presenta un olor característico que irrita los ojos y vías respiratoria, debido a su volatilidad, su densidad es menor que la del aire; NH₃ es la forma por la cual el N se vuelve activo al transformarse en otros compuestos, este puede obtenerse mediante producción industrial o puede estar disponible por si solo en la naturaleza gracias a la descomposición y transformación de la materia orgánica conformada por plantas, animales y microorganismos (Barrera, 2016). Al interactuar el

amoniaco con condiciones de humedad este se puede transformar en amoniaco anhídrido, el cual se forma por la interacción entre NH_3 con el agua por medio de la disolución; la disolución del NH_3 es del 100 % (Barrera, 2016). Aunque este generalmente se encuentra como amonio.

El Amonio es el resultado de la interacción entre NH_3 y el agua, el cual dependiendo del pH reacciona de diferentes maneras; Cuando el pH es ácido reacciona así: $\text{NH}_3 + \text{H}^+ \rightleftharpoons \text{NH}_4^+$ y cuando el pH es básico reacciona así: $\text{NH}_3 + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{NH}_2$ (Barrera, 2016). El amonio también lo podemos encontrar como parte de la materia fecal y orina de los animales (Barrera, 2016); El siguiente proceso de transformación del amonio se da en forma de nitrato.

El Nitrato se produce por medio de la acción de bacterias nitrificantes que toman el NH_4^+ y lo transforman en NO_3^- . Cuando la temperatura no pasa los 40°C y se mantiene una buena oxigenación (Barrera, 2016). El nitrato posteriormente se transformara en nitrito y a todo este proceso se le conoce como proceso de nitrificación. El nitrógeno presenta un proceso de transformación al igual que el fósforo, el cual por ejemplo puede ser obtenido a partir de su forma mineral derivada de la roca fosfórica.

La roca fosfórica es el un producto natural de la concentración consecutiva de los restos de seres vivos que se depositaron en el lecho marino hace millones de años principalmente y, por ello se puede usar en agricultura orgánica o ecológica; el fósforo dependiendo de la fuente de roca fosfórica puede aplicarse de forma directa o necesita de un proceso de transformación; cuando la reactividad es de media a baja son fuentes que requieren caracterización previa al aprovechamiento y, algunas de estas fuentes de roca pueden ser utilizados directamente, aprovechando mejor los recursos al evitar procesos de transformación industrial, además algunas de las rocas fosfóricas contienen trazas de otros elementos (INTAGRI, 2017). Los impactos ambientales se producen también por los procesos de separación de sustancias presentes en la roca matriz del ya conocido método para extracción minera del fósforo.

El Fósforo es bioacumulable en los organismos desde los microorganismos, las plantas y en adelante en la cadena trófica, al morir los organismos ya sean acuáticos o terrestres esta biomasa conserva los contenidos de fósforo que tendrán que transformaren para volverse disponibles para las plantas (Siniscalchi, 2012). El fósforo se encuentra principalmente en los huesos y en los dientes y también se pueden encontrar de forma mineral principalmente en rocas como la apatita de la cual se pueden obtener distintos tipos de fosfatos.

Los fosfatos pueden derivarse de dos fuentes principalmente que son; 1) una sal química derivada de la interacción entre una base que aporta una carga eléctrica (+) y un ácido que aporta una carga (-) y 2) por medio de los esteres provenientes del ácido fosfórico; comúnmente se puede encontrar al fósforo como ortofosfatos y en la materia orgánica se puede encontrar como un ion de fosfato soluble PO_4^{3-} (Martínez, 2023). Estos fosfatos se pueden encontrar de forma mineral como Fluorapatita ($Ca_5(PO_4)_3F$), Cloroapatita ($Ca_5(PO_4)_3Cl$) e Hidroxiapatita ($Ca_5(PO_4)_3OH$); Resaltado la característica que las plantas toman el fosforo cuando se encuentra disponible en el suelo.

El fosforo disponible hace relación a la cantidad de fósforo que debido a su solubilidad puede ser tomado por las plantas en el suelo, este se puede cuantificar por distintos métodos de los cuales depende de las características propias de este como en el caso de la acides o presencia de carbonato, entre otras (Cáceres, 2013). Este macronutriente se encuentra en cantidades superiores en el suelo en comparación con el potasio.

El potasio presenta una gran reactivada tanto en el agua (libera hidrógeno) como en el aire (cuando se oxida), el K se encuentra en el suelo en una mayor cantidad de forma inorgánica; este presenta riesgos de pérdida por lixiviación en sustratos con textura arenosa dominante y en el caso de las arcillas dependiendo del tipo de estas se puede lograr su fijación y este se puede encontrar como potasio soluble, intercambiable, fijado o estructural (Osorio, 2017). Este se puede encontrar de forma mineral o en la materia orgánica que se ha transformado en humus.

El humus es el producto de la transformación metabólica de organismos y microorganismos cuya actividad vuelve disponible una gran variedad de compuestos químicos que son asimilables para las plantas; el humus se caracteriza por estar en la capa superficial del suelo y presenta un color negro debido a la presencia de carbono (UNAM, 2019). Cuando la materia orgánica se transforma mediante procesos controlados por el hombre, haciendo uso de organismos y microorganismos vivos, el humus se conoce como un bioabono.

El bioabono es conocido por sus características para la fertilización del suelo, este contiene macro, meso y micronutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas y proporciona además una gran carga microbiana benéfica para el suelo (Corpoica, 1997). Los bioabonos se pueden obtener mediante la transformación de la materia por parte de los microorganismos o por la acción de la macro y mesofauna del suelo, por ejemplo por acción de las lombrices, que es el proceso conocido como lombricompostaje.

El lombricompostaje posibilita el reaprovechamiento de la materia orgánica mediante la transformación de residuos orgánicos en humus de lombriz, el cual presenta una gran cantidad de beneficios tanto para el suelo como para las plantas ya que contiene nutrientes esenciales para estas y la carga microbiana que posee el humus de lombriz es capaz de metabolizar los nutrientes que se han inmovilizado en el suelo; entonces el lombricompostaje es la transformación de estos residuos mediante la desfragmentación por parte de las lombrices y su metabolización en su tracto digestivo, obteniendo como resultado las deyecciones que son conocidas como el humus de lombriz (Corpoica, 1997). Dependiendo de la actividad de la lombriz sobre el perfil vertical del suelo estas se pueden clasificar como epigeas, endógenas y anécicas. Siendo la lombriz epigea la que ha despertado mayor interés para la producción de bioabono.

Una lombriz epigea es aquella que se alimenta de los restos vegetales depositados sobre la capa superficial del suelo y estas no forman galerías en el perfil vertical del suelo de igual forma como las especies endógenas y anécicas ((Guache García, 2015). El uso de estas especies de lombrices en los procesos de transformación

de la materia en bioabono humus de lombriz, permite generar avances e investigaciones benéficas para la Agrotecnología.

La agrotecnología es el conjunto de métodos, investigaciones y desarrollos aplicados a la actividad agropecuaria de un país o región, en esta se implementas mejoras por medio de la tecnificación, sistematización y optimización de los recursos demandados por la industria de producción agrícola o por las personas naturales que tienen como oficio el trabajo del campo; la agrotecnología surge dada la necesidad de mejorar los sistemas de producción (Loukos & Arathoon, 2020).

La agrotecnología es el pilar de transformación en el que los países deben ir avanzando para lograr alcanzar el desarrollo sostenible de su civilización, ya que la gran mayoría de países del mundo, incluyendo a Colombia, se han comprometido con lograr los objetivos de desarrollo sostenibles; con los cuales se busca disminuir el impacto negativo del hombre sobre el medio ambiente debido a sus actividades socio-económicas, por ello, avanzar en procesos de reincorporación de residuos sólidos como los orgánicos permite un desarrollo más eficiente de la sociedad Colombiana, contribuyendo además con el desarrollo socio-cultural de las regiones al dotar a su población (principalmente al campesino) de herramientas, métodos, estrategias y modelos de fabricación de sus propios insumos agrícolas, los cuales impactan positivamente al medio ambiente como en el caso del bioabono humus de lombriz, del cual se resalta el uso de las especies del genero *Eisenia*, siendo las más famosas las especies *Eisenia fetida*, *foetida* y *andrei*.

8. METODOLOGÍA

En primer lugar se seleccionaron 54 artículos de investigación aplicados al uso de lombrices para la fabricación de humus, de los cuales se seleccionaron 30 para una revisión de forma exhaustiva, buscando extraer la mayor información que permitieron responder las preguntas de investigación; por lo cual, su análisis va más allá de una revisión al incluir adicionalmente información de otras fuentes que permitieron entender mejor el reporte de los resultados obtenidos; de las fuentes fuera de la revisión exhaustiva

hay un total de 24 cuya identificación en los resultados se da por el hipervínculo presente en el año subrayado que lleva a la referencia citada tal como se muestra al autor (Mosquera, 2016).como ejemplo.

Las 24 referencias fueron necesarias para analizar los datos reportados en las 30 investigaciones, datos que además se tabularon y graficaron en la presente tesis con la finalidad de entender la relación entre contenidos de macronutrientes en los residuos de forma independiente antes de iniciar su degradación, con el contenido de macronutrientes obtenido en el humus de lombriz.

Organizando para ello la información en tablas y gráficos que permitieron realizar el análisis exhaustivo; estos artículos fueron obtenidos de la base de datos de Pubindex; se elige a Pubindex a razón de que la intención principal de esta tesis era conocer el estado de investigación de la lombricultura en Colombia; se seleccionan las revistas clasificadas como categoría B y C ya que en las categorías A1 y A2 están relacionadas con temas de historia, sociales, política, psicología, literatura, música, antropología, lenguaje y derecho, por lo cual no se encontró información sobre investigaciones en lombricultura.

La información que se cita de los 24 artículos que brindaban datos importantes para analizar y discutir los resultados que habían sido reportados en los 30 artículos seleccionados previamente, se obtiene por medio de la técnica de snowballing y, para el análisis de los 30 artículos se siguen los siguientes pasos:

1. Se revisaron los artículos indexados por pubindex hasta el año 2023, realizando una búsqueda con las palabras claves lombriz, humus, vermicompost y bioabono.

2. De los artículos escogidos relacionados con el tema, se analizaron todos los aspectos que ayudan a contestar las preguntas de investigación formuladas, y se clasificó la información relevante en una base de datos de Excel donde se identifica.

3. Se realizó un análisis de datos obtenidos utilizando la base de datos, por medio de tablas dinámicas en donde se recopilaron las palabras claves propuestas por en los 30 artículos, idioma de publicación, año de publicación, nombre de las revistas donde se publicaron y la categoría de la revista de indexación; estas se agrupan por su similitud y se seleccionan las 5 más mencionadas, de las cuales se hace una recomendación para su uso como palabras claves de búsqueda en futuras revisiones, aumentado así la probabilidad de encontrar artículos relacionados con el tema de producción de abono con el uso de lombrices.

4. A partir de las tablas dinámicas se generaron gráficas de análisis bibliométrico que contienen información de la tendencia de las publicaciones en el tiempo, años en que más se publicaron artículos, palabras claves mencionadas en los artículos de investigación.

5. Posteriormente en los artículos seleccionados se identificaron los siguientes aspectos

- Características de los residuos sólidos orgánicos usados como insumos
- Estado de degradación de estos residuos con los que se alimentan las lombrices
- Concentraciones que se prepararon para las distintas formulaciones de alimentación de las lombrices
- Nombre científico de las especies vegetales seleccionadas
- Variables fijas y modificadas reportadas en los experimentos llevados a cabo en las investigaciones, incluyendo el valor de sus rangos y su posible relación entre sí, es decir, variables que comparten alguna característica en común, reconociendo cuales de estas variables se mantienen o cambian.

6. Finalmente se realizó un resumen de las características más importantes que se deben considerar al momento de diseñar los modelos experimentales para la fabricación de humus de lombriz con la finalidad de obtener la mayor cantidad de información necesaria para mejorar los modelos de producción de bioabono humus de lombriz en futuras investigaciones.

9. RESULTADOS Y ANÁLISIS

9.1. Análisis bibliométrico de las investigaciones

Al realizar un análisis documental sobre cualquier forma en la que se utilicen especies de lombrices para la fabricación de bioabono y bioensayos para tratar residuos de fuentes orgánicas; exceptuando los tratamientos con lombrices en otros tipos de residuos como por ejemplo el plástico, se obtienen un total de 30 documentos analizados; de estos, se recopila información sobre métodos de caracterización, montajes, materiales, y especies, entre otros aspectos, que se reportan como resultados de esta tesis en la **Tabla 5** del **Anexo E. Base de datos de pubindex**.

Con el paso de los años se ha incrementado el interés por investigar distintos modelos de producción de bioabono humus de lombriz a partir de diferentes tipos de residuos sólidos orgánicos, residuos provenientes de PTARs y digeridos de sistemas relacionados como los de producción de biogás; en paralelo, se ha despertado una necesidad de ir probando su eficacia y eficiencia por medio de bioensayos para demostrar su aplicabilidad. En la **Gráfica 1** del **Anexo B** se muestra cómo ha ido aumentando este interés por investigar en temas de relacionados con la producción de humus de lombriz bajo condiciones controladas desde el año de 1992 hasta el 2020. Adicionalmente entre un conjunto de datos de 14 años, los años que más publicaciones reportaron corresponden a 1996 y 2011 con 4 publicaciones cada uno (ver **Gráfica 2** del **Anexo B**).

En total se obtuvo un listado de 145 palabras claves contenidas en los 30 artículos (ver **Tabla 6**), del **Anexo F** de las cuales se recomienda que se utilicen las siguientes 5 palabras claves en futuras investigaciones con intereses en la producción de humus de lombriz: 1) Lombri, 2)

vermic, 3) compos, 4) humus de lombriz y 5) *Eisenia*; estas 5 palabras se propone a razón de que se repitieron varias veces de la siguiente manera: Lombri = 16, Vermic = 5, Compos = 5, Humus de lombriz = 4 y *Eisenia* = 4. **Ver Anexo G.**

En cuanto al reporte del país de origen de la investigación, el 67% de los artículos son realizados en Colombia y el 5% no hace reporte; el restante pertenece a publicaciones realizadas en Brasil, Chile y México, tal como se observa en la **Gráfica 3 del Anexo B**; En cuanto a los estudios realizados en Colombia el departamento que más reporte presentó fue Cundinamarca con 7 publicaciones seguido del Valle del Cauca con 6 publicaciones (ver **Gráfica 4 del Anexo B**); Para más información consultar el **Anexo C**. Estado de investigación en Colombia, a nivel departamental.

9.2. Manejo de residuos

Un sistema de recolección de residuos sólidos vegetales, debe contar con un centro de acopio, en el cual se reúna los residuos orgánicos producidos por los generadores en calidad de persona natural o jurídica; al haber uno o varios generadores de residuos lo que se espera es la presencia de un gestor para estos. En la actualidad hay empresas que brindan el servicio de recolección de residuos sólidos por medio del servicio de aseo domiciliario. Si una persona natural desea realizar recolecciones independientemente de la cantidad, es considerado como un gestor de residuos sólidos, por ello, se deben conocer las condiciones aplicables para ser un gestor como persona natural considerando aspectos como ¿Bajo qué condiciones y observaciones le está permitido volverse un gestor a una persona natural?

Para dar respuesta, se cita a la (COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO, 2023) quienes indican que los gestores como persona natural deben cumplir con las mismas normas aplicables para los gestores privados del servicio público domiciliario de recolección de residuos y, deberá registrarse como prestador de servicios públicos domiciliarios. Para más información al respecto se recomienda dirigirse al documento citado en el cual se aclaran más requisitos y condiciones de interés para las personas naturales o jurídicas que sean gestores de residuos sólidos aprovechables.

De los 30 artículos consultados el 47% correspondiente 14 artículos de estos reportaron la fuente del origen de los residuos orgánicos con las cuales se formularon las distintas combinaciones de alimentación para las lombrices, tal como se observa en la **Gráfica 5** del **Anexo B**. Para información más detallada ver **Anexo H. Levantamiento de datos esenciales para el análisis de la investigación.**

Cuantificar y cualificar los residuos sólidos orgánicos requiere de un levantamiento de datos proporcionados por las personas naturales o jurídicas que se encuentran en calidad de generadores, a continuación se presenta en la **Tabla 1** Los métodos usados para obtener esta información.

Tabla 1.

Formas de obtener datos sobre generación de residuos sólidos vegetales

Método	Objetivo	Autor
Encuestas	Recopilar información sobre residuos los residuos sólidos orgánicos acerca de su cantidad generada y, los conocimientos que el generador tiene sobre su uso y aprovechamiento potencial.	(Rivera & Yate, 2018)

Fuente. Autor

Recopilar información por medio de las encuestas suele ser una forma de obtener datos de interés en lo relacionado con la generación del residuo. En los 30 artículos solo se menciona esta forma aunque también se puede obtener información en campo de manera visual en conjunto con charlas con la comunidad o el generador. Esta información es base para hacer un análisis de prefactibilidad de proyectos a pequeña y gran escala en la producción de humus de lombriz, a razón de conocer la disposición que tiene el generador para separar en la fuente los residuos proveniente de zonas urbanas o de industrias alimenticias, cuyo interés sea dar una gestión a sus residuos sólidos orgánicos, dando apoyo así a los planes de gestión de residuos sólidos nacionales, departamentales y locales, además de contribuir con la planeación de metas ambientales que ayuden a la obtención de certificaciones en las empresas que se adaptan a su desarrollo sostenible.

Autores como (Arias & Agudelo, 2013) indican que cuando los residuos provienen de un sistema de recolección urbano deben ser caracterizados con el método de cuarteo, para ello, se deben homogenizar y tomar una muestra representativa de la cuarta parte del total estos residuos para su clasificación, considerando que hay una mezcla de residuos aprovechables como no aprovechables; Aunque este sistema funcionará bien sólo para obtener datos de la probabilidad de encontrar una cierta cantidad de residuos orgánicos aprovechables; para el caso de la lombricultura se desea recoger la mayor cantidad posible de residuos orgánicos sin procesos de cocción.

9.2.1. Clasificación de los residuos

Clasificar los residuos sólidos orgánicos brinda información sobre el orden jerárquico con el cual se produce en mayor cantidad, para así posteriormente preparar las formulaciones de alimentación para las lombrices, tal como se presenta en la **Tabla 2**

Tabla 2.

Formas para realizar la clasificación de los residuos sólidos vegetales.

Método	Objetivo	Autor
Cuarteo	Identificar los tipos de residuos presentes en las muestras de recolección y su concentración en la misma.	(Rivera & Yate, 2018)
Vermicompostaje	Clasificar en una de sus etapas de producción los residuos orgánicos que se pueden descomponer según sus condiciones como las ácidas que requieren de un pretratamiento identificado como precompostaje.	Rivera & Yate, 2018)

Fuente. Autor

Es importante determinar con precisión las especies vegetales de los residuos usados como fuente orgánica para la alimentación de las lombrices. Con ello, se da inicio al primer proceso para la producción de humus de lombriz, que es la obtención de insumos alimentarios para la lombriz, con su correspondiente cantidad de generación promedio; para establecer así los centros de acopio y la elaboración de mezclas en la preparación

de distintas formulaciones de estudio para la producción de lombricompostaje. Otra forma para caracterizar podría ser por su acidez o tiempo de degradación.

9.2.2. Fuentes orgánicas

Para comprender los procesos de transformación de los residuos sólidos orgánicos y su relación con los compuestos químicos obtenidos en el humus de lombriz, es indispensable tener información sobre su composición inicial de (N, P y K). Por ello, en el **Anexo Q** se presentan las especies vegetales y tipos de residuos consultados en los artículos de investigación. Con ello, se analiza entonces si existe una relación entre la concentración inicial de N, P y K, con la obtenida al final del proceso de transformación, tal como se tratará en el apartado **9.2.3**.

Ya conociendo la concentración de macronutrientes que probablemente se encuentran inicialmente en el residuo orgánico, se diseñan las formulaciones para transformarlos en el bioabono humus de lombriz, considerando adicionalmente la relación carbono-nitrógeno y, el valor del pH, con las cuales, se decide si alimentar a las lombrices con residuos frescos o precompostado, aunque también se debe considerar el medio de eliminación de microorganismo a partir de un análisis de biocustodia adaptada a procesos de producción de humus de lombriz, considerando riesgos por microorganismos como por ejemplo los presentes en residuos como el estiércol vacuno (Caso *Rotavirus*), residuos de floricultura (Caso *Fusarium oxysporum*) y lodos de PTAR (Caso *E. coli*) temas tratados en el apartado **9.5**. Adicionalmente los microorganismos obtenidos en el bioabono humus de lombriz a partir de residuos también poseen características de biocontroladores para nematodos como *Meloidogyne incognita* y, también controla a *Verticillium*, *Phytophthora*, *Rhizoctonia*, *Fusarium*, *Pythium* y *Plasmodiophora* (Castro, Flores, & Uribe, 2011).

Cabe aclarar que el contenido nutricional de un residuo orgánico vegetal también depende del desarrollo de la planta en el cultivo, ya que dependiendo de las condiciones de fertilización y riegos, los contenidos de N, P y K pueden variar en individuos de la misma especie, tal como lo reportado por (Tamayo, Rodríguez & Escobar, 2010) en cultivos de lechuga con el uso de humus de lombriz, en el cual, el contenido nutricional aumentó en

su concentración en las plantas de lechugas cosechadas, a medida que se aumentaba la cantidad de humus de lombriz aplicado durante el proceso de cultivo.

Los residuos vegetales provenientes de los cítricos no se deben aplicar en fresco a las camas de lombricompostaje debido a que su pH ácido genera mortalidad en las lombrices como consecuencia de la producción de amoníaco, entre otras sustancias; requiriendo por ello de un proceso de precompostaje, el cual permita hacerlo disponible para la alimentación de los lombrices; el proceso de precompostaje tarda generalmente de 2 a 3 semanas (Rivera & Yate, 2018).

Es importante indicar que el contenido de algunos nutrientes en el suelo puede repercutir en la biomasa poblacional de lombrices. Por ejemplo, el P favorece al desarrollo de especies como *Eudvoscolex sp*, *Octochaetona philloti* y *Barongaster annandalei*. Además, el Mg en bajas cantidades influye negativamente en la biomasa poblacional de lombrices, encontrándose un aumento del Mg cuando hay aporte de estiércol y con ello un aumento en la población de lombrices; adicionalmente, el Mg en conjunto con el Ca, favorecen la descomposición de los residuos vegetales (Fuentes, Chamorro, & León, 1998). Por ello, es fundamental la precisión en la dosificación y diseño de las formulaciones de alimentación considerando la especie de lombriz seleccionada para el proceso de producción de humus; en especial para los procesos de precompostaje donde se busca mantener una relación adecuada de Carbono-Nitrógeno y, alcanzar un estado de degradación de la materia determinado por el descenso de la temperatura en las unidades para producción de precompostaje. Un menor tiempo de duración en la maduración del precompostaje se refleja en eficiencia y dinero, aprovechando así la influencia del Ca y el Mg para alcanzar la eficiencia del proceso de precompostaje.

Razón por la cual es importante profundizar en los estudios de transformación de los compuestos químicos de N, P, y K durante las etapas de precompostaje, entendiendo con ello cual será la especie de lombriz más apta para transformar esos residuos precompostados. Cuando se utiliza estiércol en procesos de lombricompostaje, al analizar el bioabono obtenido se identifica la presencia de auxinas intercambiables contenidas en los ácidos húmicos; estas auxinas promueven la elongación y emergencia lateral de las

raíces de las plantas, las auxinas son promotores de crecimiento (Ramírez, Gómez, & Flórez, 2011).

9.2.3. Combinaciones de residuos

Según las características físico-químicas y biológicas proyectadas a obtener en el producto final bioabono humus de lombriz, en la **Tabla 18** se observa las preparaciones reportadas en los artículos de investigación, con el fin de presentar una base de datos que sirva para replicar los procesos o para continuar investigando con otras formulaciones distintas (ver **Anexo R**)

En la **Gráfica 7** del **Anexo B** relacionado con las **formulaciones 1,2,3,4,5 y 6**, se observa el macronutriente que más se perdió en relación al N, P y K, contenidos en los residuos orgánicos de *Egenia densa* y la gallinaza; este nutriente corresponde al N-total; el N se puede perder por agentes como:

1) Lixiviación de los nitratos que se lavan; además, según los autores (Rivera & Yate, 2018) el pH ácido de los residuos cítricos como la naranja contribuyen a este proceso por motivos de descomposición de los ácidos orgánicos, liberando bases y contenidos de amoníaco, **2) Desnitrificación** cuando se generan condiciones de inundación, perdiéndose en forma de óxido nitroso, **3) Volatilización amoniacal** como producto de la actividad microbiana y las interacciones con la atmosfera (Muñoz, et al, 2011), **4) Inmovilización** por acción de los microorganismos y **5) Fijación de amonio** en algunos tipos de arcillas. Por ello, es importante incorporar entre los diseños de los sistemas de lombricultura, equipos e instrumentos que sirvan para llevar un control de la producción del bioabono humus de lombriz, por ejemplo el control de gases como el óxido nitroso funcionaría como parámetro de control que indica la presencia de inundación en los módulos de precompostaje y lombricompostaje. Por último en las **formulaciones 2 y 3** se presenta el mejor aumento en el contenido de P y K.

Adicionalmente los autores (Caro, Romeroa, & Lora, 2009). Reportan que en las **formulación 3 y 6** (ver **Anexo R**) se presentan contenidos de carbono orgánico (CO) que no cumplen con la NTC-5167 que es de un 15 % como mínimo. Al analizar las

formulaciones se deduce que se debió a que el contenido de gallinaza, melaza y levadura es menor que en las **formulaciones 1,2,4 y 5** (ver **Anexo R**), destacando que la gallinaza es la fuente de carbono, la melaza es la fuente de energía que requieren los microorganismos para aprovechar las fuentes de carbono y la levadura es el microorganismo encargado de la mineralización del carbono, en conjunto con los microorganismos presentes en la gallinaza; por ende, considerando que el crecimiento poblacional de los microorganismos se ve limitado por la fuente de alimento entre otras variables, lo que más pudo haber influenciado en el reporte de bajo contenido de carbono orgánico oxidable es la diferencia en dosificación de la gallinaza y melaza.

También se analiza la concentración de las distintas composiciones químicas, observando que estas van disminuyendo al pasar de una unidad de precompostaje a la de lombricompostaje, autores como (Salinas, Sepúlveda & Sepúlveda. 2014; Rivera & Yate, 2018) indican que el P y el N presenta pérdidas de concentración por medio de la lixiviación. Por ello, al analizar las gráficas se deduce que durante todo el proceso de lombricompostaje la lixiviación también es responsable de la pérdida de estos nutrientes ya que en la etapa de precompostaje se requiere de una humedad del 80% y en las camas de lombricompostaje del 60%. Por esta razón, para futuras investigaciones se propone realizar evaluaciones del humus líquido de lombriz obtenido en cada módulo de producción para realizar balances de materia y comprobar su posible relación con la pérdida de nutrientes en el humus sólido, tal como se evidencia en la **Gráfica 8 del Anexo B**.

La frecuencia en la alimentación de la lombriz se da cada 8 días (Rivera & Yate, 2018). Y, esto depende de: 1) bioma de lombriz a alimentar, 2) el estado de degradación del alimento (fresco o precompostado) y 3) disponibilidad en el tiempo que tarda el residuo orgánico en estar asequible para la alimentación de la lombriz, ya que por ejemplo, la papaya es un alimento de rápido consumo por sus características físico-químicas naturales y se puede suministrar de forma directa, en fresco, sin tener problemas de acidez por disminución del pH. Destacando entonces que el alimentar en fresco es una forma de minimizar las pérdidas de nutrientes por la lixiviación, aprovechando así la humedad

propia del residuo para su descomposición y transformación en alimento para las lombrices debido a su rápida disponibilidad.

Para las **formulaciones 7, 8 y 9** (ver **Anexo R**), en la **Gráfica 6**. del **Anexo B** se analiza el contenido de N-Total reportado en cada uno de los bioabonos de humus de lombriz obtenidos, donde el autor reporta que *“El N-total aumenta cuando se tiene presencia de fluorescencia en la clorofila como resultado de la interacción ozono-nitrógeno”* (Rivera & Yate, 2008). La clorofila presente en las hojas, es responsable de intervenir en el intercambio gaseoso de la planta con el aire y de obtener energía, su color es verde debido a que los aparatos llamados cloroplastos contiene pigmentos de diferentes colores, los cuales a su vez son responsables de transformar la energía lumínica en química por medio de la fotosíntesis; además, la clorofila tiene Mg, C e H y, está compuesta por una parte hidrofílica y otra hidrocarbonada; la parte hidrofílica posee un átomo de Mg unido a 4 átomos de N (Alonso, et al, 2008).

En base a lo anterior el color de los residuos puede dar una idea de la concentración de macronutrientes dominantes, aunque cabe destacar que está presente la diferencia entre los pigmentos de las hojas y los pigmentos en frutos. Según (Alonso, et al, 2008). El N está relacionado con la capacidad fotosintética foliar, la concentración de N varía según la especie y puede analizarse en campo a partir de la clorofila con equipos como **SPAD**. Equipos que pueden ser útiles para la etapa de caracterización de los residuos orgánicos y que no es nombrado en ninguno de los 30 artículos tal como se evidencia en la **Tabla 11** del **Anexo K**. Equipos requeridos para las etapas de producción de humus de lombriz.

Determinar si es la lombriz o la acción de los microorganismos la fuente de la concentración de N, P y K en el bioabono humus de lombriz obtenido, define si es mejor usar a la lombriz o aislar y cultivar los microorganismos, a razón de querer aumentar la eficiencia del sistema de producción del bioabono (Pérez, Vertel, & Pérez, 2015). Aunque existe la posibilidad de que sea producto de la interacción de estos dos debido a que una deyección contiene nutrientes que no son aprovechados por el organismo que la excreta y esta deyección entonces puede ser la fuente de alimento para algunos microorganismos.

Para los autores (Blandón, Dávila, & Rodríguez, 1999), los cambios en el contenido y composición química de los sustratos varía de las etapas de fresco a precompostado y finalmente a humus de lombriz, dado que a la disminución en la concentración de nutrientes como N principalmente, aumenta la concentración de K y P, puesto que en las primeras etapas aparecen las bacterias y levaduras que después de alimentarse de los azúcares simples dan paso a la colonización de microorganismos solubilizadores de fósforo.

En la **Gráfica 9** del **Anexo B** se observa la variación entre los 3 macronutrientes para las **formulaciones 24 y 25** (ver **Anexo R**), en las cuales se observa que el K fue el nutriente que más varió. Una de las razones es que la concentración de K es mayor en la pulpa de café que en el mucílago, tal como se mencionó en la **Tabla 18**.

Formulaciones preparadas en los diseños experimentales., destacando entonces la importancia de cuantificar la composición química de los residuos inicialmente con el objetivo de obtener una mayor concentración de uno o varios nutrientes en la elaboración final del bioabono humus de lombriz.

Según los autores (Bohórquez, et al, 2020) el P total incluye tanto al P orgánico como P inorgánico y su concentración se debe a las *Pseudomonas*, las cuales debido a su metabolismo por medio de sus enzimas favorece su disponibilidad; en cuanto al N que se encuentra en el contenido vegetal este se mineraliza pero, en este caso la relación carbono-nitrógeno favoreció este proceso y debido a la alta tasa de mineralización este califica como enmienda orgánica mas no como bioabono; tal como se observa en la **Gráfica 10** del **Anexo B** y, los estándares para clasificar si el bioabono humus de lombriz es enmienda o fertilizante se basa en criterios establecidos por la EPA tal como se menciona en el **Anexo D**. *Clasificación de abonos establecida por la EPA*.

Autores como (Ramírez, Gómez, & Flórez, 2011) indican que el N disponible puede proceder de la actividad intracelular de los microorganismos; el P según las condiciones físicas, químicas o biológicas del suelo puede perderse por arrastre de partículas que adsorbieron el P (como en el caso de las arcillas) y, también se puede perder por medio de escorrentía al encontrarse en su forma soluble, además, existen métodos distintos para

cuantificar el P dependiendo de parámetros como la acidez del suelo, presencia de carbonatos, materia orgánica, entre otras variables, por lo cual, el rango de su cuantificación depende de las metodologías que se han usado como lo son Bray I, Bray II, Olsen o Menhlinck. Tema tratado en el apartado **9.4.5. Métodos de análisis para el abono obtenido.**

9.3. Elementos útiles en montajes Experimentales

Definir las materias primas necesarias para diseñar los prototipos de producción de lombricompostaje en cualquiera de sus módulos de producción, debe hacerse considerando el tiempo de vida útil, el costo de su mantenimiento, la facilidad de adquirir repuestos, entre otras. Por ello, en la **Tabla 10 del Anexo J**, se presentan los materiales aplicados en diseños experimentales de las 30 investigaciones.

La calidad de los materiales es primordial para proyectar el tiempo de vida útil de los prototipos, su resistencia a fuerza mecánicas y químicas, la frecuencia de su mantenimiento y repuestos reducirán la cantidad de desechos generados, prolongando así la vida útil de los rellenos sanitarios, ya que desde la ingeniería ambiental se busca en lo mayor posible evitar que un prototipo o algunas de sus parte termine en el relleno sanitario; motivo por el cual, se recomienda realizar un diseño de los prototipos a partir de un análisis del ciclo de vida de los materiales a usar en la fabricación de unidades de producción. De las 30 investigaciones no se indica puntualmente el material y estilo del contenedor que se requiere para recolectar los lixiviados producidos durante las etapas de precompostaje y lombricompostaje, siendo esto una desventaja ya que se puede tomar provecho de estos al transformarlos en humus líquido y se pierde la oportunidad de analizarlo en conjunto con el humus sólido, logrando detectar procesos de pérdida de lixiviación de N, P o K por medio de modelos de balance de masa.

Adicionalmente los diseños de los prototipos y unidades de producción del bioabono humus de lombriz deben considerar los impactos ambientales negativos generados en los módulos de producción, ya que por ejemplo se emiten olores molestos y gases de efecto de invernadero producto de la volatización del amoniaco y compuestos

químicos de azufre, (EPA, 2023) Los cuales, se deberían de considerar a la hora de ser vertidos analizando también variables como la humedad del ambiente, velocidad del viento, temperatura, entre otros, lo que vendría siendo lo mismo que un **estudio de impacto ambiental**.

También se deben hacer diseños específicos para la medición de la cantidad y concentración de estos gases para posteriormente darles un tratamiento o un aprovechamiento adicional en sistemas de caja cerrada. Por ejemplo, el amoniaco se puede capturar por medio de mecanismos como “Ammonia trapping” la cual es una membrana capaz de capturar este gas de efecto de invernadero; esto es muy importante para cuando se quieren impulsar sistemas que encaminen a una producción con carbono neutral. Para entender de una mejor manera las posturas anteriores en el **Anexo X** se propone el funcionamiento de un sistema de producción de humus de lombriz en 3 etapas, en las cuales se indican que hay entradas de energía y materia, las cuales producen salidas de energía y materia que pueden impactar negativamente en el medio ambiente, aparte de generar las materias primas que se desean producir.

9.4. Control y calidad

9.4.1. Frecuencia de medición de parámetros

Por medio del control se puede recolectar la información necesaria para entender el estado de funcionamiento de una de las 3 etapas de producción (ver **Anexo X**), el control se lleva a cabo por medio de mediciones que permitirán una pronta intervención cuando algún parámetro se salga de los rangos óptimos deseados. Por ello, para asegurar el éxito de la producción del humus de lombriz en el **Anexo L**, se presenta la **Tabla 12**.

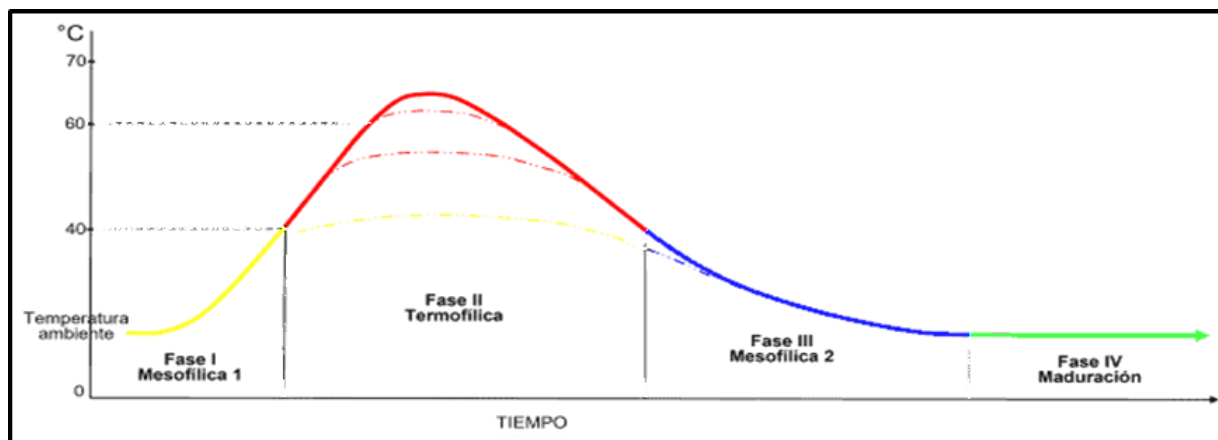
Frecuencia en la medición de parámetros, en la cual hay 12 parámetros importantes de monitorear con el control y la frecuencia que son procesos que se trabajan juntos

Controlar frecuentemente la temperatura es indispensable para identificar la etapa de transformación en que se encuentran los residuos durante la preparación de un precompostaje, ya que estas son: **1) mesófila I**: Se produce un aumento gradual de la temperatura, **2) termófila**: La temperatura alcanzan un promedio de 70°C y con ello se

eliminan microorganismos patógenos, insectos, larvas de insectos y huevos de insectos considerados como vectores, **3) mesófila II**; La temperatura comienza a descender gradualmente como respuesta a la disminución de la actividad metabólica de los microorganismos y **4) maduración**: la cual es la fase final del precompostaje, allí se estabiliza la temperatura (UAESP & SIPAF, 2014) tal como se muestra en la **Ilustración 1**. En el caso de *Fusarium oxysporum sp* que durante la etapa termófila se somete a temperaturas de 55°C a 65°C es destruido; la temperatura también puede eliminar otros microorganismo como los responsables de la botrytis (Pardo, Fandiño, & Arbeláez, 1998). Demostrando así la importancia del control de este parámetro.

Ilustración 1.

Fases de un modelo de precompostaje.



Fuente. Tomado de (Oswaldo, 2021)

Adicionalmente el pH es otro indicador de la fase de maduración, ya que al principio de la producción del precompostaje el pH es ácido, debido a la descomposición química de sustancias como lo son los ácidos orgánicos y al final el pH se eleva indicando alcalinidad y, con esto se indica que se ha alcanzado un estado de maduración del precompostaje, aunque existen límites a partir de los cuales se puede afectar la concentración de compuestos químicos en el humus; un pH superior a 8 permite la pérdida de K y Ca por precipitación (Instituto Nacional de Normalización, 2003).

Para el parámetro de volteo, se indica que este contribuye con la aireación, descomposición y desinfección homogénea de los residuos, su frecuencia debe considerarse ya que según (Caro, Romero, & Lora, 2009) la temperatura de la pila de compostaje disminuye después de cada volteo. Por ello, los volteos se podrían utilizar también para controlar temperaturas muy altas en las pilas de precompostaje, las cuales eliminan la gran mayoría de microorganismos, incluyendo los benéficos, quedando el precompostaje vulnerable a ser colonizado por un agente patógeno.

Según el diseño de la pila de compostaje, las pilas pueden requerir de un volteo mecánico para lograr una pasteurización homogénea del precompostaje o también puede ser por medio de la aireación forzada, la cual utiliza una bomba con la cual se inyecta aire a la pila por medio de unos tubos de distribución dentro de la misma, llamada método de pila estática aireada; la temperatura es clave en este proceso y debe de superar los 50°C, además el tiempo de preparación también varía, para el caso de pila estática con aireación forzada el tiempo consecutivo de la temperatura a 50 °C es de 3 días y para la pila por aireación con volteos, el tiempo de temperatura es de 12 días consecutivos (Instituto Nacional de Normalización, 2003). En Producciones a gran escala se realizan volteos mecánicos con equipos como tornillos sin fin y tractores.

9.4.2. Control durante la producción

Durante las etapas de producción del humus de lombriz, se proponen formas de realizar un control a las distintas actividades y etapas de producción, que permiten llevar un registro de la calidad de la producción, de las cuales en la **Tabla 9** del **Anexo I** se presentan algunas.

En la etapa termófila, identificada mediante el control de la temperatura, es la etapa en la que más nitrógeno se puede perder, proceso que se inicia por las temperaturas superiores a los 40° C; el N se pierde por medio del NH_3 y si las condiciones de aireación y descenso de temperatura se dan, el NH_3 es transformado en NO_3 (Barrera, 2016) siendo entonces transformado de amoníaco a amonio en la etapa mesófila II.

Llevar un registro de procesos y de información es importante para realizar futuros análisis y procesamientos de datos, para esto es necesario elaborar documentos como lo son las planillas de registros, entre otros; documento, entre el cual se incluirá como ítems los tipos de procesos realizados en el área de producción específica a la etapa de producción del lombricompuesto. Con el fin de realizar réplicas de los procesos más eficientes y eficaces y analizar los resultados obtenidos.

Las capacitaciones al personal son importantes ya que a partir de ellas se garantiza una producción del bioabono humus de lombriz en las condiciones óptimas esperadas, por ejemplo capacitar a los operarios para que reconozcan y se familiaricen con el olor del amoniaco sirve como una forma de llevar un control de las distintas etapas de producción.

9.4.3. Equipos e instrumentos de control

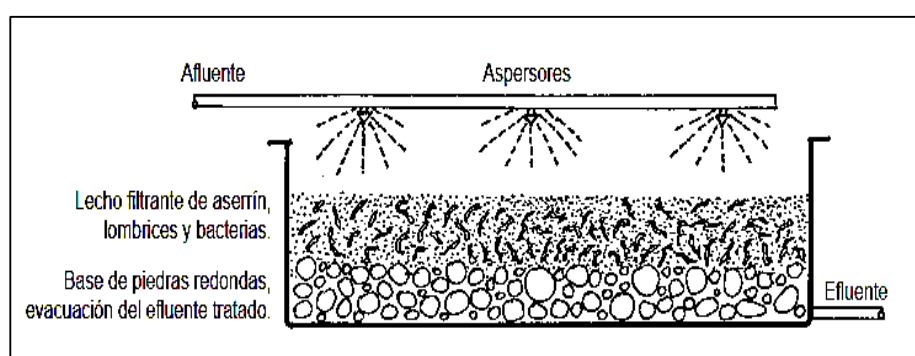
Los equipos de medición permite disminuir los errores humanos al tomar lecturas con instrumentos análogos, los cuales necesitarían de un procesamiento adicional para obtener el nivel de incertidumbre de estos datos; también permiten disminuir el tiempo de obtención de los resultados y, llevar un control y monitoreo en tiempo real cuando se utilizan los equipos en modelos de sistemas semi-automatizados o automatizado, por ello, en la **Tabla 11** del **Anexo K** se presentan los equipos más indispensables para realizar tareas de control de producción y caracterización del bioabono. En total se obtienen 17 parámetros que requieren equipos de medición y, para el caso de las mediciones análogas se utilizan instrumentos que permiten realizar lecturas que aunque su precisión y exactitud disminuyan, estas no dejan de ser indispensables para aportar datos como el caso de las tiras indicadoras de pH.

Una clase de equipo que se deben de tener en cuenta y que no fue reportado en las investigaciones corresponden a equipos para la trituración que son muy importantes, ya que autores como (Marmolejo, et al, 2013) indican que estos se deben considerar a partir del tamaño, forma y dureza de los residuos, con la finalidad de no presentar daños mecánicos en los equipos; ni en los módulos de producción.

Como carácter de innovación se menciona el sistema Toha, diseñado por Chilenos y mencionado por (Parra & Chiang, 2013), que se dispusieron a tratar las aguas servidas a través del uso de filtros similares a los bioreactores con lechos en los cuales se utilizan lombrices y microorganismos, encargados de tratar el agua servida. El sistema de diseño es fácil de construir, económico y eficiente. Tal como se muestra en la **Ilustración 2**

Ilustración 2.

Lombrifiltro Toha.



Fuente. Tomado de (Parra & Chiang, 2013)

9.4.4. Recolección del bioabono

La tarea de recolección requiere de unos tratamientos en los cuales se extraen 3 productos principalmente: **1) biomasa de lombrices**, **2) humus sólido** y **3) humus líquido**. El orden de las actividades es realizar una inspección visual del estado de maduración, luego se instala un trapeo para retirar las lombrices, el cual generalmente se hace con lonas o costales, posteriormente se reduce la humedad entre un 20% - 35% según la NTC 51676 de 201, lo cual es necesario para mantener la actividad microbiológica del humus, seguidamente se hace un tamizado para retirar tamaños de partículas no deseadas y que por lo general corresponde a materia orgánica que no se ha transformado totalmente y finalmente se hace un embalaje para muestras de laboratorio y comercialización. Tal como se muestra en la **Tabla 13 del Anexo M. Pasos para realizar la recolección del humus de lombriz.**

9.4.5. Métodos de análisis para el abono obtenido

La normatividad varía según el país donde se aplique, por ejemplo el instituto de investigaciones agropecuarias de Chile, publicó los métodos de análisis para compost, en donde se indica la toma de muestras, preparaciones y análisis físico-químicos y microbiológicos, ente los cuales se exigen el análisis de algunos microorganismos (ver **Tabla 14** del **Anexo N.**) En general las normativas aplicables para cada país tienen algunas relaciones con otras normas internacionales que mediante alguna adaptación se incorporan a la política de cada país. Para el caso de Colombia es el ICA la institución encargada de hacer cumplir esas normas. Como sugerencia para futuras investigaciones sería importante realizar un estudio de comparación entre normas de distintos países para la caracterización del humus de lombriz, con la cual, se puede llegar a detectar métodos que aún no se han establecido en la normatividad Colombiana pero que su inclusión promueve la obtención de bioabonos de alta calidad. En el **Anexo O. Métodos para la caracterización del bioabono humus de lombriz.** Se presentan los métodos reportados en las 30 investigaciones que fueron consultadas.

La ausencia de levaduras en el bioabono humus de lombriz indica que no se están generando condiciones anaerobias, por lo cual, si se presentaran indicaría que se pueden estar generando alcoholes por vía de la fermentación (Bohórquez, et al, 2020); esto en conjunto con el análisis de la tasa de respiración, se convierten en un indicador de que el bioabono ha pasado a un estado de maduración (Bohórquez, et al, 2020).

9.5. MEDIOS DE CULTIVO PARA MICROORGANISMOS

En el recurso natural suelo, se encuentra una incalculable con precisión carga de microorganismos encargados de descomponer la materia orgánica de origen animal o vegetal; en el suelo, también se encuentran minerales productos de la meteorización de la roca madre, por lo cual, existen microorganismos en cuyo metabolismo se incluyen la alimentación con minerales, que por acción enzimática cambian su composición química, encontrado el caso de los microorganismos eficientes, entre los cuales están los solubilizadores de fósforo y nitrógeno, por ejemplo, su identificación en el suelo se da

principalmente en agregados de distinta composición, como aquellos que contiene materia orgánica, en los cuales se encuentra un micro nicho de microorganismos afines a la composición química del agregado del suelo. Por ello, el humus de lombriz destaca también por contener una rica carga microbiana benéfica tanto para el suelo como para las plantas al contener microorganismos como los eficientes, biorremediadores y biocontroladores.

La postura anterior es apoyada por autores como (Fuentes, Chamorro, & León, 1998), indicando que los microorganismos se ven beneficiados por la presencia de nutrientes como el Ca y el Mg durante sus actividades metabólicas, mejorando la calidad el bioabono humus de lombriz y favoreciendo a los procesos de mineralización de nutrientes. Al momento de replicar los diseños de las investigaciones, en aquellas etapas de caracterización del bioabono humus de lombriz, es importante realizar una caracterización microbiológica para determinar el impacto fitosanitario y de restauración de suelos por presencia de microorganismos eficientes; por ello, en la **Tabla 16** del **Anexo P** presentan 10 medios de cultivos usados en las investigaciones para caracterizaciones de poblaciones microbiológicas presentes en el producto final humus de lombriz.

Los microorganismos benéficos para el suelo y las plantas, deben de ser sinérgicos, por ejemplo, los fijadores de nitrógeno como los *rizobios*, *Azospirillum* (Ariza, Gonzáles & López, 2020), y *anabaena*, que gracias a la enzima de nitrogenada puede asimilar y aprovechar este macronutriente del suelo, dejando disponibles estos macro, meso y micronutrientes en la zona *rizosférica* (Zambrano, et al, 2019).

También, es importante distinguir a los microorganismos promotores del crecimiento como por ejemplo: Las bacterias, rizobacterias, hongos, y los agentes de control biológico que interactúan también en la rizósfera del suelo. De los 30 artículos consultados sólo 12 realizan algún reporte de microorganismo (ver **Gráfica 11**) del **Anexo B** este reporte se menciona en cuanto a la forma en que se pueden caracterizar y para conocer las distintas especies se puede consultar la **Tabla 16**.

Medios de cultivo para microorganismo presentes en el bioabono humus de lombriz Y la **Tabla 15**. Métodos para caracterizar física, química y biológicamente el bioabono humus de lombriz donde se mencionan la caracterización de microorganismos tanto benéficos como patógenos o fitopatógeno.

Se considera que en el humus de lombriz producto de la transformación de residuo con presencia de *Fusarium oxysporum*, logra una remoción de UFC en más del 99%, además, se hace un reporte con el cual se informa que del 100% de microorganismos analizados el 84% corresponden a no patógenos (Pardo, Fandiño, & Arbeláez, 1998). Con ello se pueden realizar cultivos de estos microorganismos presentes en ese 84%, e investigar antagonismos que permitan entender si existe alguna relación de biocontrol microbiológico. El objetivo de realizar estas investigaciones es eliminar los microorganismos no deseados, que están presentes en el suelo o en cualquier etapa de producción del bioabono humus de lombriz, añadiéndolos de forma selectiva en distintas disoluciones.

Por otro lado, en el proceso de fabricación de humus de lombriz usando lodos residuales, se ha identificado que después de 20 días se da la eliminación completa del agente patógeno *coliformes fecales*, incluyendo información sobre la relación proporcional entre densidad de biomasa de lombrices usadas por kg de lodo residual tratado, con respecto al tiempo total para la obtención del bioabono humus de lombriz, siendo entonces este tiempo menor a medida que se aumenta la biomasa de lombrices sobre la cantidad de lodo residual a tratar.

Razón por la cual es importante determinar cuál es la función de los microorganismos que intervienen en el proceso de digestión de la materia orgánica en el sistema digestivo de la lombriz, ya que por ejemplo, las proteínas no son aprovechadas en su totalidad, siendo entonces excretadas en las deyecciones de la lombriz, en donde posteriormente entrarían en juego la participación de los microorganismos presentes en el ambiente. Con ello se abre la oportunidad de establecer nuevos modelos de investigación que incorpore estrategias de formulación alimenticia a partir del uso de enzimas exógenas en la alimentación de la lombriz, favoreciendo así su flora digestiva. La finalidad sería analizar los compuestos químicos de N, P y K que se obtiene en las deyecciones de la lombriz tanto con uso de enzimas exógenas como sin estas y, con ello, establecer entonces si la relación entre microorganismos y lombrices es mutualista o simbiótica.

Si se logra obtener una cepa de un microorganismo eficiente, benéfico o biocontrolador se estaría generando una oportunidad para una propuesta de valor adicional durante la producción del bioabono humus de lombriz.

Cabe aclarar que la población de los microorganismos tiene un límite dependiendo principalmente del espacio y el alimento, por lo cual, los microorganismos como coliformes fecales tienden a desaparecer después de un tiempo, en cuanto a sus reservas alimenticias se agoten y con ello aumente la competencia con otros organismos por el alimento (Droppelmann, Gaete, & Miranda, 2009). Con ello se establece que algunos microorganismos patógenos tienden a desaparecer sin necesidad de aplicar un control químico, físico o biológico. En consideración con lo anterior, se pueden aplicar otros tipos de análisis microbiológicos como por ejemplo el método de **análisis de correspondencias simples** para conocer la densidad de población de los hongos y también se puede aplicar un método para identificar la relación directa existente entre los hongos con los parámetros químicos del suelo, este método es conocido como **análisis canónico de correspondencia**.

Para el uso de lombricompost en el suelo, se ha identificado el potencial que tiene este bioabono para propiciar el desarrollo de hongos, que varía según la temporada climática de la zona; que en conjunto con las propiedades químicas del suelo son los agentes responsables del desarrollo poblacional de estos hongos, por ejemplo, se traer a colación las especies *Penicillinus sp* y *aspergillus niger*, reconocidos como los hongos solubilizadores de fosforo más abundantes. (Pérez, Vertel & Pérez, 2015). Algunas especies de hongos son favorecidas por el cultivo de especies vegetales con bioabono humus de lombriz, por ejemplo “*el lombricompostaje en cultivos de pasto Bothriochloa pertusa favorece el desarrollo de los grupos hongos Dematiaceae, Asprgillius sp, Penicillium sp y levaduras en temporada seca y, para la temporada de lluvia favorece a los grupos de hongos Humicola sp, Aspergillus sp y Moniliaceae*” (Pérez, Vertel & Pérez, 2015).

Finalmente, En la materia fecal del ganado, conformada por el contenido ruminal, se encuentra presente el rotavirus, este microorganismo presenta resistencia a las

condiciones ambientales y su permanencia se mantiene sobre los recursos de agua y suelo con el tiempo y, por ende, presenta un riesgo de translocación desde el suelo hasta los alimentos cultivados; para su detección, existen diferentes pruebas cuyo rango de detección varía en su límite, por ejemplo las pruebas PCR dan un buen acercamiento pero son costosas, con lo cual dificulta su aplicación en la producción de abonos orgánicos a escala piloto-investigativa, en comparación con las pruebas ELISA que son más asequibles en su costo y las cuales aumentan la exigencia en la concentración presente en las muestras aumentando así los límites de detección (Gutiérrez, et al, 2009).

Según la revista CONtextogadero el *rotavirus* se encuentra presente en el ganado y este presenta una sintomatología la cual es importante detectar para tratar el ganado, entre ella se observa la presencia de diarrea (Alarcón, 2015). Por ello, es importante capacitar al personal que realiza la recolección de heces del ganado para recopilar información que permita evitar o dar un seguimiento más riguroso a las fuentes de origen con sospecha de presencia de rotavirus. Es importante realizar análisis de rotavirus ya que se establece que por procesos de manipulación y origen de los residuos, estos pueden ser vectores para el transporte de microorganismos perjudiciales para la salud humana y para el medio ambiente, al existir la posibilidad de presentar su translocación, además, las heces del ganado presenta una carga microbiana importante para activar las pilas de precompostaje e iniciar con la degradación y transformación de la materia orgánica. Por lo cual, se resalta la importancia de realizar la caracterización microbiológica del humus de lombriz y más cuando no se tiene claro la ruta de origen de los residuos orgánicos que son materia prima para la elaboración del lombricompost, en el cual además el virus puede sobrevivir y permanecer en las sustancias húmicas (Gutiérrez, et al, 2009).

Aunque se considera que el cambio de pH y la liberación de calor en las pilas de precompostaje contribuyen a la eliminación de los patógenos, cabe la posibilidad de la supervivencia de algunos de ellos o su translocación durante los procesos de recolección y preparación de humus de lombriz para su embalaje y posterior distribución.

Según (Gutiérrez, et al, 2009) se debe determinar utensilios específicos para cada etapa de producción del abono orgánico para disminuir la probabilidad de contaminación del producto elaborado, destacando la necesidad de implementar las buenas prácticas de manejo del cultivo y producción; Para este caso, durante el embalaje y elaboración del lombricompostaje. Por ejemplo el utilizar la pala de recolección de estiércol, para empacar el abono, puede generar una ruta de translocación del *Rotavirus* y genera la contaminación del producto terminado.

Actualmente la norma NTC 5167 solo incluye bacterias patógenas por lo cual se hace necesario incluir nuevas normas nacionales como la inclusión de análisis de *Enterovirus* en los abonos orgánicos (Gutiérrez, et al, 2009).

9.6. . ESPECIES DE LOMBRICES

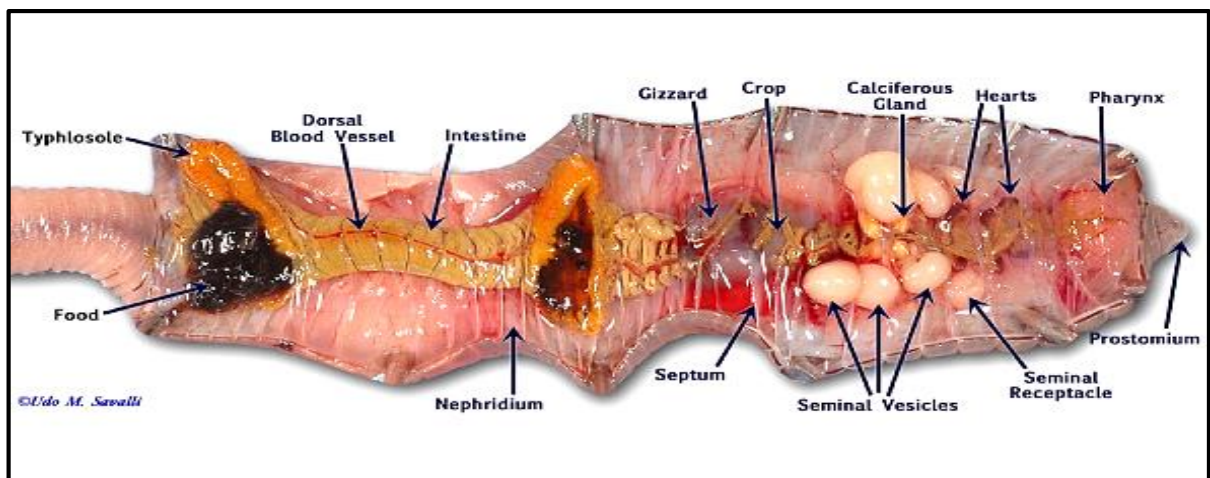
La cadena trófica es un conjunto de interacciones entre organismos, los cuales para satisfacer sus necesidades metabólicas, consumen alimentos o son parte del alimento de otro organismo; la cadena trófica, esta jerarquizada y dentro de esta cadena se encuentran los detritívoros, presentes en el grupo de los descomponedores; los detritívoros son organismos que fragmentan y descomponen la materia orgánica, transformando los residuos de todo lo que alguna vez tuvo vida como restos vegetales, cuerpos, y, también se incluyen los desechos metabólicos como lo son el estiércol y la orina (Galante & García, 1997). Se entiende el proceso de descomponer como la acción de transformar la materia orgánica en compuestos físicos y químicos más simples.

Según (Putman, 1993) la degradación se define como *“Proceso mediante el cual un organismo o derivado del organismo, es fragmentado en las partes o elementos que la componen, encontrando que, al final del mismo, el resto vegetal o animal se habrá desintegrado de manera gradual hasta que sus estructuras ya no son reconocibles y sus complejas moléculas se habrán fragmentado”*. Las lombrices son un ejemplo de detritívoros del cual se obtiene como resultado de su metabolismo las deyecciones que se conocen como humus de lombriz.

Para realizar la identificación de las lombrices es importante guiarse de claves taxonómicas como las reportadas por autores como (Giovanni. lafrancesco & Enith, 1987) quienes “describe el ejemplar morfológica y anatómicamente teniendo en cuenta: metámeros, pared del cuerpo, quetas, poros, cutícula, clitelo y capas musculares como aspectos de su morfología externa; y sistemas digestivo, circulatorio, nervioso, excretor y reproductor a nivel de anatomía interna”. Ver **Ilustración 3**

Ilustración 3.

Disección de la lombriz.



Fuente: Tomado de (Lorraine, 2023)

En la **Gráfica 12** del **Anexo B**, se indica que de los 30 artículos consultados sólo 13 autores reportaron las especies de lombrices que han sido utilizadas (ver **Tabla 19**) más sin embargo de estos 13 sólo 1 reportó las claves taxonómicas que usaron para la clasificación de la especie de lombriz, siendo este autor (Chamorro, 1996) (ver **Tabla 20**); los demás autores de la **Tabla 20** fueron extraídos de la información adicional que presentan las investigaciones; esta información generalmente está contenida en apartados como Introducción o discusión. Encontrando entonces como uno de los resultados de esta tesis un vacío en el conocimiento en cuanto a los métodos para la identificación taxonómica de las lombrices que son utilizadas para procesos de producción de humus de lombriz.

El no presentar con claridad la especie utilizada puede llegar a generar problemas mediante la confusión de especies diferentes con un mismo nombre. Autores como (Domínguez & Pérez, 2010) indican que generalmente se confunde a la especie comercial Lombriz roja californiana con las especies *Eisenia fétida* y *Eisenia foetida*; esto sucede ya que el género *Eisenia* comparten características como color de tejidos externos rojo y su tamaño llega a ser muy similar en diferentes especies. La postura anterior es apoyada por (Domínguez & Pérez, 2010) quien además indica que *Eisenia andrei* es otra especie que se suele relacionar con la lombriz Roja californiana, siendo además un problema ya que cada especie presenta características de reproducción, voracidad, y resistencia a la ecotoxicidad en rangos diferentes. En la **Tabla 8** Se observa que de las 30 publicaciones, sólo en 12 de estas investigaciones consultadas se reportaron la especie de lombriz usadas de forma clara (**Anexo H**). En la **Tabla 19** se presenta las especies que se utilizaron para producir humus de lombriz a partir de distintas formulaciones para su alimentación. (Ver **Anexo S**. *Especies de lombrices reportadas por su uso en las investigaciones*.)

Considerando la elevación del suelo con respecto a la altura del nivel del mar y, también la profundidad del perfil vertical del suelo, se pueden encontrar las diferentes especies de lombriz; lo anterior en conjunto con la profundidad en los horizontes superficiales en los cuales estos habitan así: **1) el 80%** (cercano a los 20cm de profundidad) y **2) el 20%** restante habita en los horizontes subsuperficiales del suelo (Chamorro, 1996).

Las lombrices intervienen en la cadena trófica cumpliendo con su papel de detritívora. Cuando la lombriz dispone de glucosa en concentraciones altas presentes en los residuos que son la fuente de su alimentación; como el caso banano y el plátano, se produce un aumento el rendimiento de su actividad (Rivera & Yate, 2018), además de brindar condiciones para favorecer el incremento poblacional de las lombrices, como en el caso de la **Formulación 7** (ver **Anexo R**) que fue investigada, y en la cual se presentó un aumento de 26 veces la población de lombrices, con respecto a la población inicial, en un tiempo de 40 días, a razón de las concentraciones de glucosa aportadas por la papa y la yuca (Rivera & Yate, 2018).

“Las lombrices mineralizan enzimáticamente la materia orgánica en el primer tercio de su aparato digestivo y luego la humifican en la parte posterior del intestino por acción de los microorganismos presentes en esta sección intestinal (ver **Ilustración 3**); El humus contiene N mineralizado y además posee una gran cantidad de bacterias fijadoras de N (*azobacter*) aumentando aún más la concentración de este mineral necesario para los procesos de síntesis proteica” (Sales, 2023). Por lo cual, se abre la opción de extraer muestras en distintas partes del tracto digestivo y con eso poder determinar las concentraciones y especies químicas de macronutrientes antes y después de la intervención de la flora intestinal de la lombriz; no sin antes olvidar que es necesario ofrecer un respeto hacia las diferentes formas de vida, procurando aplicar criterios de bioética.

Es importante distinguir claramente los tipos de especies de lombrices ya que de ello depende comprender la tarea específica que van a cumplir, en un proceso productivo de bioabono humus de lombriz, por ejemplo, autores como (Domínguez & Pérez, 2010) Indican que al diferenciar taxonómicamente las especies de *Eisenia andrei* y *Eisenia fétida*, es *E. andrei* quien se postula como una mejor opción para implementar sistemas de lombricompostaje debido a su mayor tasa de reproducción en comparación con las de *E. fétida*. También, cuando se trata del tipo de alimentación a consumir se debe seleccionar adecuadamente a la especie de lombriz a usar, puesto que por ejemplo se ha reportado que especies como *Periscollex sp*, tienen afinidad por el alimento presentado en la **Formulaciones 17, 18 y 21** (ver **Anexo R**) su ausencia en suelos con intervención antrópica limita la disponibilidad del alimento de las anteriores formulaciones mencionadas, presentando así una disminución en el número de individuos (Fuentes, Chamorro & León, 1998) . La presencia de las lombrices en los suelos de forma natural brinda beneficios para la salud del suelo, encontrando que Especies como *Glossocollex* logra transformar la textura del suelo al disminuir las concentraciones de arcillas de hasta un 44% y en cuanto a los limos reduce su concentración hasta en un 33% (Rodríguez, et al, 1992).

Cuando se dan actividades de ganadería en sistemas silvopastoriles controlados, en diferentes temporadas de la actividad agropecuaria, se ha observado que las lombrices

se desarrollan mejor a razón de: **1)** los arboles brindan condiciones de sombra y humedad que favorecen el desarrollo de las comunidades de lombrices, **2)** el suelo presenta una menor compactación, **3)** las heces y orina del ganado, que son una fuente de alimentación importante para las lombrices ya que en contraste con otros sustratos orgánicos como los del cacao los cuales se demoran en descomponer dificultan la disponibilidad del alimento necesario para la actividad metabólica de las lombrices y **4)** los pastizales son un buen nicho de hábitat de las lombrices (Fuentes, Chamorro & León, 1998).

Finalmente se destaca la capacidad que presentan el bioabono humus de lombriz y las lombrices para brindar otro tipo de servicio como lo es cumplir con tareas de biorremediación del suelo, al contribuir con la remoción de metales pesados en el suelo como el mercurio, el cual por medio de la bioacumulación en el cuerpo de la lombriz es extraído (Mosquera, 2016). Aunque para ello se tendría que ejecutar un tratamiento adicional a las lombrices antes de darle una disposición final ya que por ejemplo, la lombriz *Eisenia foetida*, tiene el potencial para acumular cobre en su cuerpo (Blandón, Dávila & Rodríguez, 1999). Adicionalmente autores como (Zapata, et al, 2017) reportan que *Eisenia foetida* logra favorecer la inmovilización del mercurio en suelos contaminados, como en el caso de las minerías

9.7. LOMBRICES EN LA PRODUCCIÓN DE HUMUS

9.7.1. Claves para la clasificación taxonómica de lombrices

Autores como (Chamorro, 1996) indican que existe una relación entre la altura sobre el nivel del mar y la profundidad del perfil del suelo en cuanto al número de población de individuos de lombrices, reportando que cuando estas aumentan las poblaciones disminuyen. Adicionalmente en la investigación realizada en el presente trabajo de tesis se considera como un factor muy importante en las investigaciones el conocer las especies de lombrices que se han utilizado en los estudios, por ello se da solución a la pregunta ¿cómo se identificaron las especies de lombrices? De lo cual se informa en la **Tabla 20**.

Claves taxonómicas para la caracterización morfológica de las lombrices. (Ver **Anexo T**).

Adicionalmente es necesario conocer tanto el nombre taxonómico de la especie de lombriz como el de tipo de suelo que fue evaluado, ya que a partir de su nombre identificado, se puede recurrir al manual “Soil taxonomy” y de este manual se pueden extraer las características físicas, químicas y ambientales que dominan en el tipo de suelo reportado en las investigaciones a partir del nombre del suelo; estas características se pueden relacionar en conjunto con la especie de lombriz que allí habita.

En base a los datos reportados como la densidad poblacional (ver **Tabla 21**), se busca lograr replicar el rango de los parámetros más convenientes para el desarrollo de la lombriz durante los procesos de fabricación del bioabono humus de lombriz, esto se logra relacionando cómo se comporta la biomasa de lombrices cuando cambian los rangos de los parámetros como por ejemplo el pH, la temperatura, el (%) de humedad, entre otros, garantizando así el éxito del sistema de producción al replicar **LAS MEJORES CONDICIONES ECOLÓGICAS PARA LA PRODUCCIÓN DE HUMUS CON ALTOS CONTENIDOS DE MACRONUTRIENTES A PARTIR DE LOMBRICES;** de los artículos de investigación revisados solo en 6 de ellos se informa sobre el tipo de suelo tal como se evidencia en la

Gráfica 13. del **Anexo B** Los tipos de suelos reportados se pueden consultar en el **Anexo H**

9.7.2. Seguimiento poblacional

Conocer el comportamiento de la biomasa en relación a su formulación para la alimentación de las lombrices, puede ser usado como indicador de la afinidad que posee alguna especie de lombriz hacia algún compuesto químico en específico presente en los residuos orgánicos. Por ejemplo, autores como (Rivera & Yate, 2018) indican que la especie de lombriz *Eisenia foetida* tiene afinidad por la concentración de glucosa. En la **Tabla 21** del **Anexo U**, se indican los cálculos para obtener información sobre su crecimiento y desarrollo poblacional, ya que autores (Bohórquez, et al, 2020) indican que existen alimentos que favorecen a la producción de huevos, desarrollo y crecimiento de las lombrices.

Adicionalmente, también es importante establecer que por ejemplo en cuanto mayor sea la biomasa de lombrices por unidad de área, menor será el tiempo en que se transformen los residuos sólidos; este caso se ha identificado en procesos de lombricultura a partir de lodo residual de una PTAR en donde posteriormente se presenta una etapa de reducción en la biomasa de lombrices ya la que la población de individuos disminuye a razón de la escasez de su alimento, lo que provoca aumento en la competencia entre los individuos (Droppelmann, Gaete, & Miranda, 2009).

Autores como (Rivera & Yate, 2018) destacan que las fórmulas como la de crecimiento poblacional, pueden usarse para identificar si la composición de los residuos orgánicos utilizados afectan a las lombrices. Por lo cual, con el uso de la fórmula de la **Tabla 21** se puede identificar si existe alguna influencia de las distintas combinaciones de alimentación para las lombrices al suministrarse en estado fresco o precompostado, relación evidenciada en el desarrollo, crecimiento y reproducción de las lombrices, identificando con ello si se genera un impacto positivo o negativo en el incremento de biomasa de lombrices. En la **Gráfica 14** se evidencia que 9 de las investigaciones suministraron el alimento a las lombrices después de una etapa de precompostaje y 5 en fresco; para más información ver **Anexo B**

Una correcta alimentación de las lombrices se ve reflejado en el número de individuos presentes en las camas de lombricompostaje; si se desea conocer cuántas lombrices pueden llegar a haber por unidad de área o volumen del sustrato de la cama de lombricompostaje, se puede hacer uso de la fórmula Promedio de lombrices en unidad de producción (ver **Tabla 21**), Este promedio de lombrices se pueden llegar a encontrar por kg, m² o m³ (Rivera & Yate, 2018). Adicionalmente, se debe considerar el comportamiento de las lombrices que se piensan utilizar, ya que según (Hannah, Mart, & Jan, 2014) Estas pueden ser de 3 tipos de comportamiento: **1)** epigeas, **2)** endógenas y **3)** anécicas; A pesar de que su comportamiento en el desplazamiento de estas lombrices sobre el perfil vertical del suelo varía, existen especies que presentan una mezcla de estos comportamientos como el caso de *Lumbricus terrestris*, que tiene comportamiento epigeo y endógeno.

Por ello, al calcular el promedio se debe considerar el perfil vertical a evaluar ya que la concentración del número de individuos depende de si la mayoría del tiempo de su actividad están en la superficie, en el medio o en el fondo del perfil vertical de la unidad de producción de lombricompostaje; además, cuando se brindan las condiciones propias para la reproducción de la lombriz, entre las que se incluye los parámetros físicos, químicos y de alimentación, se observa que su abundancia puede variar en el número de individuos por un área o volumen de suelo definido; por ejemplo para la **Formulación 19** (ver **Tabla 18**) investigada en un sistema silvopastoril el autor (Fuentes, Chamorro, & León, 1998) reporta que por las condiciones de sombra y humedad aportada por los árboles, en conjunto con los residuos vegetales y, las heces y orina del ganado, genera un aumento en la población de individuos de lombrices. En la **Gráfica 15** del **Anexo B** se presenta el comportamiento poblacional de las lombrices, con respecto a la evaluación de la **Formulación 14** hasta la **Formulación 21** (ver **Tabla 18**).

El contenido de nutrientes como P y Mg favorecen el crecimiento poblacional de las lombrices, tal como se ha evidenciado en sistemas silvopastoriles que en contraste con suelos en condiciones de denudación carecen de nutrientes y las condiciones de acidez limitan su crecimiento poblacional (Fuentes, Chamorro, León, 1998). Además, el contenido de P al alimentar varias especies con la misma fórmula indican que la disponibilidad y concentración de este elemento en el bioabono varía dependiendo de la especie de lombriz usada (Chamorro, 1996).

Autores como (Chamorro, 1996) indican que al alimentar a la especie *Eisenia* y *Glossoscolex sp* se produjo un aumento en la producción de lombrices y por ende en la biomasa de las estas, además el número de capsulas puestas durante su reproducción al ser alimentadas con cereza de café aumenta, esto debido a que el café como fuente de alimento aporta un 25% de proteína en comparación con el 11.4% contenido en el estiércol que también se aplicó y produjo una disminución de la biomasa; entonces en este caso con el estiércol se obtiene un menor rendimiento.

9.8. Bioensayos con lombricompostaje

El ICA establece que un ensayo de eficiencia es el “*Trabajo realizado a nivel de campo, llevado a cabo a escala experimental, tendiente a comprobar o demostrar la eficacia biológica o agronómica de un Bioinsumo o Extracto Vegetal de uso agrícola a las dosis indicadas y siguiendo las recomendaciones sugeridas por el fabricante bajo las condiciones colombianas*” (ICA, 2004).

Una de las características más visibles de los beneficios de utilizar el bioabono humus de lombriz es obtener y notar mejoras en el rendimiento de producción de las plantas y una mejora en su crecimiento y desarrollo, destacando que el avance de tecnologías relacionadas con la producción y aplicación del bioabono favorece el desarrollo sostenible de los campos; por el momento, los pequeños productores y la agricultura familiar son quienes más implementan el uso de este bioabono. Autores como (Cantero, et al, 2015) indican que en cultivos como la berenjena, sin el uso de humus de lombriz, generalmente se presentan rendimientos de 16 Ton / ha considerándose como producción baja y, además, alrededor del 30% de los frutos no cumplen con los requerimientos del mercado en aspectos como el tamaño y la forma. Por ello, en la (**Tabla 23**) del **Anexo W** se presentan los ensayos realizados y los beneficios notados en distintas investigaciones de cultivos.

Una de las etapas para analizar en un bioensayo de crecimiento vegetal con el uso de humus de lombriz es la etapa de germinación. Autores como (Tamayo, Rodríguez & Escobar, 2010) indican el gran potencial que tiene la turba y el humus para retener la humedad y nutrir la pos-germinación de la planta, reportando en sus estudios el valor de los parámetros físicos calculados, tal cual como se observa en la **Gráfica 16** del **Anexo B**

Tal como se observa en la Gráfica 16, es la retención de humedad el valor que más resalta. La humedad y la germinación de las semillas tiene estrecha relación debido a que es la fase de absorción de agua quien activa el desarrollo embrionario de la semilla (Vargas, 1991) por ello, es la turba un sustrato ideal para la etapa de germinación de semillas, aunque existen otros parámetros importantes como lo son la temperatura del

suelo, el nivel lumínico y, el contenido de gases como oxígeno, el cual dependiendo de la especie vegetal puede cambiar, por ejemplo en el caso del cultivo de arroz en terrazas inundadas. También se encuentran gases como el CO₂ y el etileno que influyen en la germinación, encontrando que cuando el CO₂ es mayor al 5% el proceso de germinación se inhibe (Vargas, 1991).

En cuanto a la etapa de pos-germinación, las plantas comienzan a demandar una mayor concentración de nutrientes, con ello se comienza a aumentar el volumen radicular de las plantas en busca de estos nutrientes importantes para su desarrollo metabólico. Durante los trasplantes, los sustratos que se utilizan con suelo común y suelo mezclado con humus de lombriz en proporción 1:1 fueron los que mejores resultados de desarrollo radicular presentaron; los autores (Tamayo, Rodríguez & Escobar, 2010) concluyen que debido al contenido de carbono y materia orgánica en conjunto con otros nutrientes son los responsables de que el suelo mezclado con humus sea un sustrato ideal para el trasplante y desarrollo de la especie vegetal arboloco *Montanoa quadrangularis*.

Al analizar los valores reportados se identifica que los elementos que superaron su concentración en el sustrato mezclado con humus vs sustrato normal fueron: sodio, cobre, sulfatos con diferencias pequeñas en concentración y finalmente el nitrato en mayor diferencia como se observa en la **Gráfica 17 del Anexo B**.

De la gráfica anterior se deduce que una de las razones por las que las plantas se desarrollaron mejor en el suelo mezclado con el humus de lombriz pudo haber sido el contenido de nitrato, durante las etapas de fotosíntesis el número de hojas influyen en esta actividad y la demanda de nitrógeno es mayor durante las etapas vegetativas de las plantas para la formación de hojas, además, cabe resaltar que los microorganismos eficientes como los solubilizadores de N participan en el proceso de disponibilidad de este macronutriente para la planta, por ello, se destaca que no se tuvo en cuenta un análisis de los microorganismos presentes en los distintos sustratos y su posible relación en la transformación nitratos a nitritos, ya que estos podrían haber estado de forma natural en el suelo o venir dentro de la carga microbiana del humus de lombriz.

El contenido de biomejoradores presente en el lombricompostaje en relación a una mayor cantidad de abono utilizado por (ha) se ve reflejado en un mayor rendimiento en la producción de biomasa vegetal y en el contenido de N, P y K en las plantas (Caro, Romero, & Lora, 2009) ; por ello, el contenido de macronutrientes de los residuos orgánicos como fuente de alimentación para las lombrices, en conjunto con las dosis de combinaciones, influyen en el contenido final de los macronutrientes en la planta de lechuga, usadas como indicador del que se observa un mayor rendimiento del cultivo, además de que el humus de lombriz al tener pH neutro no presenta inconvenientes al aplicarse en grandes cantidades, en comparación con los fertilizantes que tienen como materia prima los minerales. Ya que al presentar condiciones de acidez o basicidad su aplicación en grandes cantidades trae consigo problemas tanto para las plantas por cambio en la disponibilidad de nutrientes como también trae impactos negativos sobre el medio ambiente por efectos de eutrofización o emisión de gases de efecto de invernadero, por ejemplo.

Se ha identificado los efectos positivos que tiene las lombrices de tierra con relación a las etapas de germinación, crecimiento y desarrollo de las plantas, por las cuales se ha investigado en la relación que existe entre las especies de lombrices y las especies vegetales. Por ejemplo, la especie de lombriz *Pontoscolex corethrurus* ha presentado efectos positivos para las plantas, principalmente por la presencia de humus de lombriz en las raíces de la planta de forma directa (Ortíz, Gregorio, & Barois, 2021). En el **Anexo V** se presenta la **Tabla 22** con las especies beneficiadas por la actividad de *Pontoscolex corethrurus*.

Según (Ramírez, Gómez, & Flórez, 2011):

“El humus de lombriz aporta nutrientes y forma sustancias como, ácidos fúlvicos, húmicos y huminas, promoviendo la actividad microbiológica y mejoran la estructura del suelo, favoreciendo la formación de agregados que mejoran la permeabilidad. También aumenta la fuerza de cohesión en suelos arenosos y la disminuye en arcillosos, mejora la retención del agua en conjunto con la regulación en la velocidad de infiltración del agua, mitigando los impactos por la erosión causada durante la escorrentía y eleva la capacidad tampón de los suelos; también, Su acción quelante contribuye a disminuir los riesgos por

carencias de micronutrientes al favorecer su disponibilidad como en el caso del Fe, Cu y Zn, garantizando el desarrollo de las plantas y, es una importante fuente de carbono para los microorganismos del suelo; El humus eleva la capacidad de intercambio catiónico de los suelos al formar complejos arcilla-húmicos; por otra parte, los complejos fosfo-húmicos mantienen el estado de asimilación de la planta; El humus favorece el desarrollo normal de cadenas tróficas en el suelo”.

Finalmente, también se destaca el beneficio de trabajar con humus de lombriz en cultivos, ya que este contiene una carga microbiana benéfica para los cultivos por su función como controladores biológicos, autores como (Castro, Flores & Uribe, 2011) indican que se controla nematodos como *Meloidogyne incognita* y, también controla a *Verticillium*, *Phytophthora*, *Rhizoctonia*, *Fusarium*, *Pythium* y *Plasmodiophora*.

9.9. Recomendaciones propuestas por el autor de esta tesis para futuras investigaciones

1. Identificar la fuente de origen del residuo orgánico.
2. Indicar la cantidad de residuo recolectado, en conjunto con su correspondiente nombre científico para el caso de especies vegetales, según sus características como lo son si es un fruto, hojas, material leñosos, entre otros.
3. Realizar una caracterización nutricional y microbiológica de los residuos antes de preparar las distintas formulaciones de alimentación para las lombrices.
4. Indicar las proporciones preparadas en las formulaciones.
5. Explicar la función de los materiales y materias primas de los diseños experimentales.
6. Denotar la función y utilidad de los equipos necesarios para lograr la clasificación química, biológica, física y microbiológica tanto del bioabono humus de lombriz como aquellos que se requieran para llevar un control de la producción del bioinsumo en cualquiera de sus etapas.

7. Definir cuáles son los controles que se llevaran a cabo durante la etapa de producción del bioinsumo.

8. Indicar la especie de lombriz usada, el método para su caracterización taxonómica y la razón por la que se usa esa especie en específico.

9. En el caso de ser extraídas del suelo de un entorno natural se debe indicar el tipo de suelo del cual fue obtenida y el método de recolección.

10. Indicar los métodos de caracterización para los parámetros físicos, químicos, biológicos y microbiológicos de abono obtenido.

11. Profundizar en los métodos estadísticos que permitan correlacionar la influencia de entre las variables fijas y que se modifican, como por ejemplo el pH con la temperatura, temperatura y tipo de residuo, entre otras.

12. Realizar pruebas de eficiencia y eficacia a partir de bioensayos y análisis del comportamiento productivo general de un lombricultivo.

9.10. Comportamiento general de un sistema de producción de humus de lombriz

Durante las distintas etapas de producción del bioabono humus de lombriz que se quiera diseñar con procesos de semi-automatización, se requerirá de equipos que funcionen con electricidad o combustible para distintas etapas; equipos como medición de pH, temperatura, humedad, entre otros, que irán conectados a computadores cuya función será llevar un registro de la información de los datos en tiempo real, con los cuales además se detectará los momentos en los que el sistema llegue a puntos críticos fuera de los rangos de medición óptimos; también son necesarios para identificar oportunamente el fin de una etapa de producción en específico como para el proceso de precompostaje, donde el aumento y descenso de a temperatura indica el estado de maduración de los residuos.

Otros equipos que se pueden incorporar son aquellos que midan emisiones de gases como amoníaco, lo cual indicaría que en el sistema de producción se puedan estar presentando condiciones de inundación tanto en pilas de precompostaje como en las camas de lombricultivo; también los equipos de medición de gases permiten obtener datos para cuantificar la huella de carbono y con ello buscar alternativas ambientales que permitan reaprovecharlos estos residuos gaseosos, brindando así una oportunidad para proponer diseños de producción de ciclo cerrado que generen una oportunidad de propuesta de valor adicional a la obtención del humus de lombriz al transforman los gases en insumos para la industria de la construcción en la fabricación de cemento o para la misma la agricultura mediante la producción de microalgas.(ver **Anexo X**)

10. CONCLUSIONES

Al analizar los reportes de los artículos de investigación que se han aplicado para la producción de humus de lombriz, se identifica que hay una ausencia en el suministro de datos como los son la fuentes de generación de los residuos y las formas en que se obtuvieron, esto en conjunto con falta de reportes de sus correspondientes nombres científicos de las especies vegetales; además de no contar también con su correspondiente caracterización nutricional de los residuos orgánicos antes de comenzar con el proceso de lombricompostaje, generado así un vacío de conocimiento al momento de relacionar si estos influyeron en el contenido final del bioabono obtenido. Adicionalmente conocer los nombres científicos de las especies de lombrices permite investigar a profundidad los potenciales beneficios que brindan las distintas especies para la obtención de humus con características específicas de los macronutrientes del suelo que se desee obtener en específico. En base a lo anterior si es posible transformar los residuos sólidos orgánicos en bioabono humus de lombriz, destacados por sus contenidos de N, P, y K en sus formas disponibles para las plantas, alcanzando los rangos permitidos por la NTC 5167; demostrando su eficiencia y eficacia por medio del cultivo de distintas especies vegetales a escala piloto de bioensayos.

Las variables que se mantienen fijas en un sistema de producción de humus de lombriz son: (%) de humedad, oscuridad, y, acondicionamiento; las variables que se autocontrolan son: el pH y temperatura y; las variables que se modifican son: Volteos de las pilas de precompostaje, aireación y tipo de alimento suministrado a la lombriz. Luego de tener claro esas variables los pasos para realizar un montaje experimental son: 1) identificar el origen del residuo, 2) cuantificar y clasificar los residuos, 3) diseñar sistema de recolección, acopio y precompostaje que cuente con protección de daños por lluvias, sol, animales o encharcamientos, 4) diseñar sistema de camas de lombricompostaje con materiales resistentes a daños mecánicos, físicos, químicos, biológicos y microbiológicos, 5) diseñar sistemas de recolección de lixiviados, 6) sembrar la especie de lombriz caracterizada e identificada taxonómicamente, 7) monitorear constantemente la producción, 8) retirar pie de cría y recolectar el abono, 9) caracterizar física, química y microbiológicamente el bioabono, 10) empacar y finalmente 11) realizar pruebas de eficiencia y eficacia en cultivos a escala piloto por medio de bioensayos.

Cuando se quiera mejorar los sistemas de producción de humus de lombriz la incorporación de residuos orgánicos ricos en calcio y magnesio favorecen a acelerar la descomposición de residuos ya que ayudan a el desarrollo de la actividad metabólica de los microorganismos que intervienen en los procesos de humificación y mineralización de la materia orgánica, tanto para la etapa de precompostaje como lombricultivo, Por ello, la presencia de residuos orgánicos destacados por su contenido de Ca y Mg en las formulaciones de precompostaje deben considerasen como una potencial fuente de alimentación para los microorganismos activadores del proceso de descomposición de la materia orgánica en las pilas de precompostaje. Esto en conjunto con la incorporación de Algunas especies de lombrices nativas como *Pheretima sp.* la cual brindan la oportunidad de producir el bioabono en un menor tiempo ya que esta especie tiene la facilidad de colonizar los espacios libres en las camas de lombricompostaje y tiende a aumentar en su biomasa poblacional en presencia de residuos como rastrojos y frutales, a diferencia de la especie *Eudovoscolex sp* que ofrece otro tipo de beneficios y es sensible a la carencia de alimentos característicos de su base alimenticia.

Es indispensable intentar replicar los mismos parámetros que tiene las lombrices en su habitud natural, en los sistemas de lombricompostaje, ya que ello favorece el desarrollo, crecimiento y reproducción de las lombrices, las cuales son el pilar fundamental de la producción del bioabono. Finalmente se pueden incorporar técnicas sencillas de control para la producción del bioabono como lo son: 1) identificar el olor característico de gases como el amoníaco y óxido nítrico y 2) visualizar pérdidas de nutrientes por la generación de espuma blanca, lo cual permite conocer estados de inestabilidad en las etapas de producción por problemas de encharcamiento o lixiviados de nutrientes por riego excesivo.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, G. (03 de Febrero de 2015). Formas de detectar y prevenir el rotavirus en terneros. *CONtextoganadero*. Recuperado el 25 de Junio de 2023, de <https://www.contextoganadero.com/internacional/formas-de-detectar-y-prevenir-el-rotavirus-en-terneros>
- Alonso Santos, M., Rozados Lorenzo, M., Ignacio Quintero, M., Rozas Ortiz, V., Lamas Pose, S., Chapela Rodríguez, D., & Fontúrbel Lliteras, M. (2008). NITRÓGENO FOLIAR COMO ESTIMADOR DE CLOROFILA EN UNA POBLACIÓN DE LAURUS NOBILIS DEL PARQUE NACIONAL DE LAS ISLAS ATLÁNTICAS, GALICIA (NO ESPAÑA). *Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 25, 61-66.
- Arévalo, G., & Castellano, M. (2009). *Manual de Fertilizantes y Enmiendas. Programa para la agricultura uraSostenible en Laderas de América Central. Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria*. Hoduras: Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano,. Recuperado el 20 de Octubre de 2021, de https://www.academia.edu/37027659/Manual_Fertilizantes_y_Enmiendas
- Arias, S., & Agudelo, R. (2013). Seguimiento de una celda experimental de residuos sólidos urbanos. *Revista EIA*, 2(4), 33-42. Recuperado el 15 de Agosto de 2023, de <https://revista.eia.edu.co/index.php/reveia/article/view/273>
- Ariza Rodriguez, S., Gonzáles Murillo, O., & López Sánchez, J. (2020). Evaluación de fijadores biológicos de nitrógeno libres sobre el crecimiento de gramíneas en suelo degradado. *Rev. Colomb. Biotecnol*, 13(1), 87-97. doi:DOI: 10.15446/rev.colomb.biote.v22n1.78019
- Barrera Gómez, R. (2016). Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso. *Universidad Autónoma de Barcelona*,

315. Recuperado el 06 de Agosto de 2023, de <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5307/rbg1de1.pdf>
- Blandón-Castaño, G., Dávila-Arias, M., & Rodríguez-Valencia, N. (1999). CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA Y FÍSICO-QUÍMICA DE LA PULPA DE CAFÉ SOLA Y CON MUCÍLAGO EN PROCESO DE LOMBRICOMPOSTAJE. *Cenicafé*, 5-23. Recuperado el 06 de Agosto de 2023, de [https://www.cenicafe.org/es/publications/arc050\(01\)005-023.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/arc050(01)005-023.pdf)
- Bohórquez-Sandova, L., García-Molano, F., Murillo-Arango, W., Cuervo-Bejarano, J., & Pulido-Sole, N. (2020). Vermicompostaje: una alternativa de transformación del contenido ruminal generado en mataderos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 73(2), 9201-9212. doi:doi: 10.15446/rfnam.v73n2.80104
- Bruzon, S., & Gomez, J. (1996). Perfeccionamiento del sustrato en el modelo V.S.P. para la producción de plántulas de tomate *Lycopersicon esculentum* Mill. *Acta Agronómica*, 46(1-4), 54-57. Recuperado el 14 de Agosto de 2023, de https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/15616
- Cab Molina, I. G., & Choto Chávez, J. F. (2022). Obtención y análisis fisicoquímico de mucílago de café (*Coffea arabica*) y su aplicación en la elaboración de galletas dulces. *Escuela Agrícola Panamericana*, 49. Recuperado el 06 de Agosto de 2023, de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/165c6160-71fe-4be2-9522-c8f9597b90c1/content>
- Cáceres Choque, L. (2013). *Determinación de Fósforo Asimilable en Suelos Método de Bray-Kurtz*. UMSA. Recuperado el 14 de Agosto de 2023, de https://www.academia.edu/18085648/Determinaci%C3%B3n_de_F%C3%B3foro_Asimilable_en_Suelos_M%C3%A9todo_de_Bray_Kurtz
- Cantero R, J., Cardona A., C., Vergara C., C., & Araméndiz T., H. (2015). Efectos del compost y lombriabono sobre el crecimiento y rendimiento de berenjena *Solanum melongena* L. *Revista de ciencias Agrícolas*, 32, 56-67. Recuperado el 7 de Agosto de 2023, de <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/2643/3052>
- Caro Lara, I., Romero Otálora, Z., & Lora Silva, R. (2009). PRODUCCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS CON LA UTILIZACIÓN DE ELODEA (*Egeria densa*) PRESENTE EN LA LAGUNA DE FÚQUENE. *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 12(1), 91-100. Recuperado el 28 de Junio de 2023, de <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/645/637>
- Carrillo, M., Gómez, J., & Miranda, J. (1996). CARACTERIZACIÓN DE LOS ÁCIDOS HUMICOS EXTRAÍDOS DE CUATRO LOMBRICOMPUESTOS y SU EFECTO SOBRE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE MAÍZ *Zeamays* L., ALGODÓN *Gossypium hirsutum* y TOMATE *Lycopersicon esculentum* L. *Acta agronómica*, 46(1-4), 30-36. Recuperado el 11 de Agosto de 2023, de https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/search/index?query=lombri*

&dateFromYear=&dateFromMonth=&dateFromDay=&dateToYear=&dateToMonth=&dateToDay=&authors=

Castro , L., Flores, L., & Uribe, L. (2011). . Efecto del vermicompost y quitina sobre el control de *Meloidogyne* sp. en tomate a nivel de invernadero. *Agronomía Costaricense*, 21-32. Recuperado el 8 de Agosto de 2023, de <https://revistas.udenar.edu.co/index.php/rfacia/article/view/2824/3134>

Chamorro, C. (1996). Avances del conocimiento bioedafológico en Colombia. *Acta biológica Colombiana*, 3(1), 43-64. Recuperado el 10 de Agosto de 2023, de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/20698/42630>

Chávez, Á., & Rodríguez, A. (2011). Análisis químico y biológico de biosólidos sometidos a sistema de lombricultura como potencial abono orgánico. *Nova*, 0(15), 1-112. Recuperado el 15 de Agosto de 2023, de <https://revistas.unicolmayor.edu.co/index.php/nova/article/view/172/343>

Colombia Leyes Y Decretos. (2002, Agosto, 06). *Decreto 1713 de 2002*. Recuperado el 13 de Agosto de 2023, de <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=5542>

COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTOS. (2023). CONCEPTO 20230120016901 DE 2023. *Concepto 16901 de 2023 CRA*. Recuperado el 12 de Julio de 2023, de https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/concepto_cra_0016901_2023.htm

CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL. (2016, Noviembre, 21). *POLÍTICA NACIONAL PARA LA GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS*. Bogotá. Recuperado el 13 de Agosto de 2023, de <https://www.cali.gov.co/dagma/loader.php?IServicio=Tools2&ITipo=descargas&IFuncion=descargar&idFile=31836>

ContextoGanadero. (23 de febrero de 2023). *Contextoganadero*. Obtenido de <https://www.contextoganadero.com/economia/de-443-establecimientos-certificados-en-1500-182-son-plantas-de-sacrificio-bovino>

Córdoba, T. M. (2012). EFICIENCIA DEL LOMBRICOMPOST Porex por Colombia. *Sector forestal en Colombia*.

Corpoica. (1997). *Programa regional agrícola*. Región diez: Corpoica. Recuperado el 14 de Agosto de 2023, de https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/20722/77696_63368.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Da Silva, T., Martins, M., Noguera, J., Alves, F., & Andrade, R. (2019). Calidad de plántulas de cajueiro enano como resultado de métodos de rompimiento de dormancia, volumen de materia y aplicación de biofertilizante bovino. *Revista Colombiana de*

ciencias Hortícolas, 13(1), 26-34. doi:Doi:
<http://doi.org/10.17584/rcch.2019v13i1.8238>

- DANE. (09 de Octubre de 2020). *Proyecciones y retroinspecciones de la población departamental para el periodo 1985-2017 y 2018-2050 con base en el CNPV 2018*. Recuperado el 25 de Agosto de 2021, de In serie nacional de población por área, para el periodo 2018-2070: https://www.dane.gov.co/files/censo2018/proyecciones-de-poblacion/Nacional/anexo-proyecciones-poblacion-NacionalArea2018_2070.xlsx
- DANE. (09 de Octubre de 2020). *Proyecciones y retroproyecciones de población departamental para el periodo 1985-2017 y 2018-2050 con base en el CNPV 2018*. In *Serie departamental de población por área, para el periodo 2018 -2050*. Recuperado el 25 de Agosto de 2021, de https://www.dane.gov.co/files/censo2018/proyecciones-de-poblacion/Departamental/anexo-proyecciones-poblacion-departamental_Area2018-2050.xlsx
- DANE. (09 de Octubre de 2021). *Proyecciones y retroproyecciones de población municipal para el periodo 1985-2017 y 2018-2035 con base en el CNPV 2018*. In *Serie municipal de población por área, para el periodo 2018 -2035*. Obtenido de https://www.dane.gov.co/files/censo2018/proyecciones-de-poblacion/Municipal/anexo-proyecciones-poblacion-Municipal_Area_2018-2035.xlsx
- Domínguez, J., & Pérez, M. (2010). EISENIA FETIDA (SAVIGNY, 1826) Y EISENIA ANDREI BOUCHÉ, 1972 SON DOS ESPECIES DIFERENTES DE LOMBRICES DE TIERRA. *Acta zoológica Mexicana*(2), 321-331. Recuperado el 16 de Agosto de 2023, de <https://www.scielo.org.mx/pdf/azm/v26nspe2/v26nspe2a24.pdf>
- Droppelmann, C. V., Gaete, C., & Miranda, P. (2009). *Remoción mediante vermicomposteo de los coliformes fecales presentes en lodos biológicos*. Universidad de Antioquia. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*. Recuperado el 20 de Julio de 2023, de <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/15966/13840>
- Durán, E., Rodríguez, L., & Suárez, J. (2018). Relación entre macroinvertebrados y propiedades del suelo bajo diferentes arreglos agroforestales en la Amazonia-Andina, Caquetá, Colombia. *Acta Agronómica*, 67(3), 395-401. doi:<https://doi.org/10.15446/acag.v67n3.67266>
- Durán, L., & Henríquez, C. (2007). Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía costarricense*, 31(1), 41-51. Recuperado el 12 de febrero de 2021, de <https://www.redalyc.org/pdf/436/43631105.pdf>
- EDWARDS, C. , & J. LOFTY. (1972). *Chpman and hall LTD*, 283.
- EPA. (2023). *Basic Information about Biosolids*. Recuperado el 20 de Julio de 2023, de (United States Environmental Protection Agency): <https://www.epa.gov/biosolids/basic-information-about-biosolids#basics>

- EPA. (2023). *United States Environmental Protection Agency*. Recuperado el 20 de Julio de 2023, de Land Application of Biosolids: <https://www.epa.gov/biosolids/land-application-biosolids#meeting>
- Fuentes Baca, A., Chamorro Bello, C., & León Sicard, T. (1998). CARACTERIZACION ECOLOGICA DE LOMBRICES NATIVAS (*Pheretima* sp., *Eudovoscolex* sp. y *Periscollex* sp.) BAJO DIFERENTES USOS DEL SUELO (Guaviare, Colombia). *Agronomía Colombiana*, XV(2), 194-203. Recuperado el 25 de Junio de 2023, de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/21529/22535>
- Galante, E., & Marcos.García, M. (1997). Detritívoros, Coprófagos y Necrófagos. *Agronomía Colombiana*(20), 57-64. Recuperado el 06 de Julio de 2023, de http://sea-entomologia.org/PDF/BOLETIN_20/B20-003-057.pdf
- Giovanni M. Iafrancesco V, & Enith Portella A. (1987). CONTRIBUCION A LOS ESTUDIOS EN ANELIDOS. *facultad de ciencias universidad javeriana*, I(1), 65-84. Recuperado el 3 de Julio de 2023
- Gómez Zambrano, J., Torrente Trujillo, A., & Miranda V, J. (1995). Rendimientos de sustancias húmicas de ocho lombricompuestos. *Acta Agronómica*, 45-50. Recuperado el 10 de Agosto de 2023, de https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/15590/16350
- González-Pedraza, A. F., Chiquillo Barrios, Y. A., & Escalante, J. C. (2022). Soil salinization in agricultural areas of the Caribbean region and agroecological recovery strategies. Review. *INGE CUC*, 18(1), 14-26. doi:<http://doi.org/10.17981/ingecuc.18.1.2022.02>
- Guache García, A. (2015). *Las lombrices y la agricultura*. Agrocabildo. Recuperado el 14 de Agosto de 2023, de https://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/agec_562_lombrices%20y%20la%20agricultura2.pdf
- Gutierrez, M. F., Bonilla, M., Espinosa, A., Mosquera, M., Solano, S., & Martínez, M. M. (2009). Presencia de rotavirus durante un proceso de compostaje. Abonos como vectores de contaminación viral. *Universitas SCIENTIARUM*, 14(2-3), 206-215. doi:<http://dx.doi.org/10.11144/javeriana.SC14-2-3.pdrd>
- Hannah, M. J., Mart, B. H., Gerwin, F. K., & Jan Williem, V. G. (2014). Do earthworms affect phosphorus availability to grass? A pot experiment, *SoilBiology and Biochemistry*. *Sciencedirect*, 34-42. Recuperado el 4 de mayo de 2021, de <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.08.018>
- Huamán Carranza, M. (2019). Concentración de nitrógeno, fosforo, potasio y calcio en el compost producido a partir de residuos sólidos orgánicos de mercados populares y residencias de Huaraz-Ancash. *Aporte Santiaguino*, 264-277. doi:<https://doi.org/10.32911/as.2019.v12.n2.647>

- ICA. (2004). *RESOLUCIÓN No. 00375 (27 de febrero de 2004)*. Recuperado el 20 de 07 de 2023, de <https://www.ica.gov.co/normatividad/normas-ica/resoluciones-oficinas-nacionales/resoluciones-derogadas/resolucion-375-de-2004.aspx>
- INN, (. N. (2005). *Compost Clasificación y Requisitos*. NCh2880. 2005. INN.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTIN CODAZZI. (2006). *Métodos analíticos de laboratorio de suelos*. Bogotá.
- Instituto Nacional de Normalización. (2003). *Proyecto de Norma en Consulta Publica NCh2880.c2003*. Recuperado el 20 de Julio de 2023, de <http://www.ingeachile.cl/descargas/normativa/agricola/NCH2880.pdf>
- INTAGRI. (2017). *Ventajas del Uso de Roca Fosfórica en la Agricultura*. *Artículos Técnicos de INTAGRI*, 3. Recuperado el 13 de Agosto de 2023, de <https://www.intagri.com/articulos/suelos/ventajas-del-uso-de-roca-fosforica-en-la-agricultura>
- Lorraine, J. (22 de Marzo de 2023). *ProProfs Quizzes*. Recuperado el 11 de Agosto de 2023, de *Eartworm Dissection*: <https://www.proprofs.com/quiz-school/story.php?title=earthworm-dissection-quiz>
- Loukos, P., & Arathoon, L. (2020). *Panorama del ecosistema agrotecnológico para los pequeños agricultores de América Latina y el caribe*. Banco interamericano de desarrollo.
- Marmolejo, L., Torres, P., Ovideo, R., García, M., & Díaz, L. (2013). ANÁLISIS DEL FUNCIONAMIENTO DE PLANTAS DE MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL NORTE DEL VALLE DEL CAUCA, COLOMBIA. *Revista EIA*, 8(16), 163-174. Recuperado el 15 de Agosto de 2023, de <https://revista.eia.edu.co/index.php/reveia/article/view/440>
- Martínez Silva, D., & Gómez Zambrano, J. (01 de 01 de 1995). *Uso de lombricompostos en la producción comercial del Crisantemo Chrysanthemum morifolium Ramat*. *Acta agronómica*, 45(1), 79-84. Recuperado el 11 de Agosto de 2023, de https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/15576/16333
- Martinez, N. (16 de Enero de 2023). *Orenda technologies*. Obtenido de *Diferentes tipos de fosfatos*: <https://blog.orendatech.com/es/diferentes-fostatos#:~:text=Los%20fosfatos%20son%20compuestos%20hechos,o%20sales%20del%20%C3%A1cido%20fosf%C3%B3rico>.
- Melgarejo, M., Ballesteros, M., & Bendeck, M. (1997). *Evaluación de algunos parámetros fisicoquímicos y nutricionales en humus de lombriz y composts derivados de diferentes sustratos*. *Revista Colombiana de Química*, 26(2), 11-19. Recuperado el 15 de Agosto de 2023, de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/16360/17287>

- Melgarejo, R., Ballesteros, I., & Bendeck, M. (1998). Caracterización de la Fracción Orgánica de Humus de Lombriz y Compost Producidos a Partir de Diferentes Sustratos. *Revista Colombiana de química*, 27(2). Recuperado el 11 de Abril de 2021, de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/17001/18009>
- Melo, J., Martins, M., da Silva, T., & Sousa, L. (2018). Fertilización orgánica mitigante de los efectos de la salinidad del agua en plántulas de *Passiflora cincinnata*. *Acta Agronómica*, 63(3), 501-511. Recuperado el 15 de Agosto de 2023, de https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/84508/81827
- Mengel, K., & Kirkby, E. (2000). Principios de nutrición vegetal. *Instituto Internacional de la Potasa Basilea*. Recuperado el 13 de Agosto de 2023, de https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod_resource/content/2/PRIINCIPIOS%20DE%20NUTRICI%C3%93N%20VEGETAL.pdf
- Minambiente. (02 de febrero de 2022). *Minambiente*. Recuperado el 06 de Agosto de 2023, de <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/en-2022-colombia-aspira-a-tratar-el-54-de-las-aguas-residuales-urbanas/>
- Mosquera Córdoba, T. (2016). EFICIENCIA DEL LOMBRICOMPOSTAJE EN LA BIORREMEDIACIÓN DE SUELOS DEGRADADOS POR LA MINERÍA A CIELO ABIERTO EN EL MUNICIPIO DE UNIÓN PANAMERICANA, DEPARTAMENTO DEL CHOCÓ. *Universidad de Manizales*, 72. Recuperado el 06 de Agosto de 2023, de https://ridum.umanizales.edu.co/xmlui/bitstream/handle/20.500.12746/2929/Mosquera%20_%20C%C3%B3rdoba_Tatiana%20_%202016.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Muñoz-Peñuela, M., Ramírez-Merlano, J. A., Otero-Paterninan, A. M., Medina-Robles, V. M., Cruz-Casallas, P. E., & Velasco-Santamaría, Y. M. (2011). Efecto del medio de cultivo sobre el crecimiento y el contenido proteico de *Chlorella vulgaris*. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 25, 438-449. Recuperado el 02 de Agosto de 2023, de <https://revistas.udea.edu.co/index.php/rccp/article/view/324788/20782230>
- Muñoz-Peñuela, M., Ramírez-Merlano, J. A., Otero-Paternina, A. M., Medina-Robles, V. M., Cruz-Casallas, P. E., Velasco-Santamaría, y., . . . Velasco-Santamaría, Y. M. (2012). Efecto del medio de cultivo sobre el crecimiento y el contenido proteico de *Chlorella vulgaris*. *Revista Colombiana De Ciencias Pecuarias*, 25(3), 438-449. doi:<https://doi.org/10.17533/udea.rccp.324788>
- Ortiz-Gamino, D., Gregorio, J., & Barois, I. (2021). ¿Las lombrices de tierra tienen potencial biotecnológico? *Elementos*, 71-77. Recuperado el 19 de julio de 2023, de <https://elementos.buap.mx/directus/storage/uploads/00000006199.pdf>
- Osorio, N. (2017). *Potasio en el suelo*. Universidad Nacional de Colombia, Escuela de Biociencias. Recuperado el Agosto de 14 de 2023, de <https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/8%20POTASIO%20EN%20EL%20SUELO.pdf>

- Oswaldo, P. (Agosto de 2021). *Compost y Compostaje: Conceptos básicos*. Recuperado el 10 de Agosto de 2023, de OPA NATURA: <https://opanatura.com/compost-y-compostaje/>
- Pallaoro, D., Arantes, C., Correa, A., Camili, E., & Coelho, M. (2020). Efectos de niveles de humus y sombreado en la producción de plántulas de *Lactuca canadensis* L. *Acta Agronómica*, 69(1), 32-37. doi:<https://doi.org/10.15446/acag.v69n1.72550>
- Pardo, F. A., Fandiño, C. F., & Arbeláez, G. (1996). EFECTODE LOSPROCESOSDE COMPOSTACIONyLOMBRICULTURADE RESIDUOSDE CLAVELSOBRELAPOBLACIONDE *Fusariumoxysporumf.sp.dianthi*. *Agronomía Colombiana*, XV(2,3), 112-119. Recuperado el 03 de Julio de 2023, de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/21520/22526>
- Pardo, F. A., Fandiño, C. F., & Arbeláez, G. (1998). Efecto de los procesos de compostacion y lombricultura de residuos de clavel sobre la población de *Fusarium oxysporum f.sp. dianthi*. *Agronomía Colombiana*, 15(2 y 3), 112-119. Recuperado el 27 de Mayo de 2023, de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/21520/22526>
- Parra, I., & Chiang, G. (2013). Modelo integrado de un sistema de biodepuración en origen de aguas residuales domiciliarias. Una propuesta para comunidades periurbanas del Centro Sur de Chile. *Gestión y Ambiente*, 16(3), 39-51. Recuperado el 15 de Agosto de 2023, de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/37736/42945>
- Pérez Cardozo, R., Vertel Morinson, M., & Pérez Corde, A. (2015). Efecto de diferentes tipos de abonos sobre hongos edáficos en el agroecosistema de *Bothriochloa pertusa*, (L) A. Camus, en Sabanas sucreñas, Colombia. *Livestock Research for Rural Development*, 27(1). Obtenido de <https://repositorio.unisucre.edu.co/bitstream/handle/001/1007/15%20Art.Livestock2015%3b%2027%281%29%2c%20MLVM%20et%20al..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Porras, A., Castiblanco, Y., & Ortega, N. (2017). Características físico-químicas de humus obtenido de biosólidos provenientes de procesos de tratamiento de aguas residuales. *Informador técnico*, 81(2), 122-130. Recuperado el 10 de Febrero de 2021, de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0123-921X2017000300096&script=sci_arttext
- Puerta-Quintero, G. I., & Ríos-Arias, S. (2011). COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MUCÍLAGO DE CAFÉ, SEGÚN EL TIEMPO DE FERMENTACIÓN Y REFRIGERACIÓN. *Cenicafé*, 62(2), 23-40. Recuperado el 6 de Agosto de 2023, de <https://www.cenicafe.org/es/documents/2.pdf>
- Putman, R. J. (1993). Carrion and Dung. The decomposition of animal wastes. *Edwar Arnold*.
- Quimica.es. (16 de Enero de 2023). *Orenda technologies*. Obtenido de Fosfato: <https://www.quimica.es/enciclopedia/Fosfato.html>

- Ramírez Castañeda, F., Gómez Piedras, J. J., & Flórez Roncancio, V. (2011). Evaluación del Fertilizante Orgánico Líquido de Lombriz San Rafael en el Cultivo de Rosa cv. Classy. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 64(2), 6147-6157. Recuperado el 08 de Agosto de 2023, de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/29403/29619>
- Ramírez, D., Zuluaga, A., & Gómez, E. (2013). EVALUACIÓN DEL RIESGO DE CONTAMINACIÓN POR METAMIDOFOS EN LA MICROCUENCA EL SALTO DEL MUNICIPIO DE EL SANTUARIO, ANTIOQUIA. *Revista EIA*, 4(8), 165-180. Recuperado el 15 de Agosto de 2023, de <https://revista.eia.edu.co/index.php/reveia/article/view/192>
- Ramírez-Builes, & Naidu Duque, N. (2010). Respuesta del lozulo La Selva (*Solanum quitoense* x *Solanum hirtum*) a la aplicación de fermentados aeróbios tipo bocashi y fertilizante químico. *Acta agronómica*, 59(2), 155-161. Recuperado el 11 de Agosto de 2023, de https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/16274/17201
- Reiche González, A. C. (Noviembre de 2011). Determinación de la fijación de fósforo y potasio en un suelo joven y un suelo evolucionado del Valle de Cantarranas, Francisco Morazán, Honduras. *Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano. Honduras*, 22. Recuperado el 25 de Junio de 2023, de <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/c6ba5b54-3168-4f4a-a912-57b3694a6327/content>
- RIGHI, G. (1971). Sobre familia Glossoscolecidae (Oligochaeta) no Brasil. *Arq. Zool. S. Paulo.*, 20(1), 1-96.
- Rivera Gallegos, P., & Yate-Segura, A. (2018). USO DE EISENIA FOETIDA (OLIGOQUETOS: LUMBRICIDAE) PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOABONO, BOGOTÁ – COLOMBIA. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(2), 15-24. doi:DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.2334>
- Rodríguez p, F., Velasquez, G., Chamorro, C., & Martínez, N. (1992). Adaptación Tecnológica de la Lumbricultura Cafetera de Alban Cundinamarca. *Acta biológica Colombiana*(7 & 8), 91-109. Recuperado el 08 de Agosto de 2023, de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/21973/42643>
- Romero Sáez, M. (2022). Los residuos agroindustriales, una oportunidad para la economía circular. *TecnoL*, 25(54). Recuperado el 15 de Agosto de 2023, de <https://revistas.itm.edu.co/index.php/tecnologicas/article/view/2505/2525>
- Rubio U., J., & Pineda M., J. (1973). Composición química y digestibilidad in vitro de pulpa de café. *Cnicafe*, 61-76.
- Salamanca Solís, C. R., & Baquero Peñuela, J. (2018). Nutrición y fertilización con macro y micronutrientes. *CORPOICA*, 151- 161.

- Sales, F. (2023). Manual de lombricultura. *Corpomag*. Recuperado el 2 de Julio de 2023, de <https://corpomag.gov.co/blogs/negociosverdes/wp-content/uploads/2021/02/Manual-de-lombricultura.pdf>
- Salinas Vásquez, F., Sepúlveda Morales, L., & Sepúlveda Chavera, G. (2014). Evaluación de la calidad química del humus de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) elaborado a partir de cuatro sustratos orgánicos en Arica. *Scielo*, 32(2), 95-99. Recuperado el 12 de Mayo de 2021, de <https://www.scielo.cl/pdf/idesia/v32n2/art13.pdf>
- Sanclemente Reyes, O. E., Ararat Orozco, M. C., & Balanta Tenorio, E. (2018). Evaluación preliminar de residuos sólidos en la Plaza de Mercado del municipio de Puerto Tejada (Cauca). *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 9(2), 355–368. doi:<https://doi.org/10.22490/21456453.2349>
- SIAC. (2023). SIAC. Recuperado el 13 de Agosto de 2023, de Suelo: <http://www.siac.gov.co/web/siac/suelo?inheritRedirect=true>
- Siniscalchi, A. (2012). Fitorremediación de un arroyo eutrofizado mediante el cultivo de dos especies autóctonas : *Senecio bonariensis* (Compositae) y *Cladophora surera* (Chlorophyta). *Biblioteca central de la Universidad Nacional del Sur*.
- Sosa, J., & Laines, J. (2020). Refining of the solid fraction of sheep feces digestates from an anaerobic digester. *Ingeniería e investigaciones*, 14-21. doi:<http://dx.doi.org/10.15446/ing.investig.v40n2.8336>
- Sosa, O., & Laines, C. (2020). Refinación de la fracción sólida de digestatos de excretas de ovejas provenientes de un digestor anaerobio. *Ingeniería e Investigación*, 14-21. doi:<https://doi.org/10.15446/ing.investig.v40n2.83364>
- Tamayo-Rincón, M., Rodríguez-Perez, L., & Escobar-Torres, W. (2010). Estudio de la propagación sexual del arboloco *Montanoa quadrangularis* Schultz Bipontianus Asteraceae. *Universitas. SCIENTIARUM*, 15(1), 37-48. doi:<http://dx.doi.org/10.11144/javeriana.SC15-1.spoa>
- Tesauro. (2013). *Valor nutritivo*. Recuperado el 13 de Agosto de 2023, de <https://boletinagrario.com/ap6/valor+nutritivo/4478.html>
- UAESP; SIPAF;. (2014). *Guía Técnica para el Aprovechamiento de Residuos Orgánicos a Través de Metodologías de Compostaje y Lombricultura*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia. Recuperado el 10 de Agosto de 2023, de https://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf
- UNAM. (2019). *Humus*. México. Recuperado el 14 de Agosto de 2023, de <http://www.telematica.ccadet.unam.mx/bionarrativas/libros-electronicos/libros-pdf/Humus.pdf>

- Vargas, M. (1991). Factores que afectan la germinación de semillas. *BOLTEC*, 24(1), 26-31. Recuperado el 11 de Julio de 2023, de <https://www.kerwa.ucr.ac.cr/bitstream/handle/10669/78728/3Vargas-semillas.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Vélez, J., Garzón, J., & Bruzón, S. (1996). El modelo V.S.P. en lechuga Batavia *Lactuca sativa* var. *Capitata* L. y respuesta de dos variedades a las aplicaciones de compuestos orgánicos. *Acta Agronómica*, 46(1-4), 49-53. Recuperado el 14 de Agosto de 2023, de https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/15615
- Vistoso Gacitúa, E., & Martínez-Lagos, J. (2019). Los micronutrientes del suelo. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias INIA REMEHUE*. Recuperado el 13 de Agosto de 2023, de <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/66900/Ficha%20T%C3%A9cnica%20INIA%20N%C2%B0%2018?sequence=1&isAllowed=y>
- Wiens, J. J., & Penkrot, T. A. (2002). Delimiting species using DNA and morphological variation and discordant species limits in spiny lizards (*Sceloporus*). *Systematic Biology*, 51, 69–91. Recuperado el 7 de Julio de 2023, de <https://academic.oup.com/sysbio/article/51/1/69/1631352>
- Zambrano Gavilanes, F., Souza Andrade, D., Zucareli, C., Sarkis Yunes, J., Amaral, H., Matias da Costa, R., . . . Guimarães, M. (2019). Efecto de la inoculación con cianobacterias y coinoculación con *Azospirillum brasilense* sobre características fitométricas en maíz. *Bioagro*, 31(3), 193-202. Recuperado el 11 de Agosto de 2023, de : <https://www.researchgate.net/publication/336445736>
- Zapata, I. C., Martines, L., Posada, E., Gonzáles, M. E., & Saldarriaga, J. (2017). Efectos de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), sobre el crecimiento de microorganismos en suelos contaminados con mercurio de Segovia, Antioquia. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 27(1), 77-90. doi:<https://doi.org/10.18359/rcin.1911>
- Zigsi, A. (1981). Verzeichisder bis 1971Beschribenen und Revisdierten Taxa Familie Lumbricidae (Oligochaeta). *Acta zoologica academinar*, XIII(3, 4), 421-454. Recuperado el 07 de Julio de 202, de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/21529/22535>
- Zigsi, A. (1988). Über eniger Thamnodrilus-Arten und andere Regenwürmen aus Ekuader (Oligochaeta: Glossoscolecidae, Lumbricidae, Megascolecidae) Regenwü aus Südamerika. *Opusc. Zool. Budapest*, XXIII, 209-218. Recuperado el 07 de Julio de 2023, de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/21529/22535>

12. ANEXOS

Anexo A. *Resumen de análisis de resultados*

A annex *Abstrab of results analysis*

- **Análisis bibliométrico de las investigaciones:** 20 de los 30 artículos seleccionados para el análisis exhaustivo pertenecen a investigaciones hechas en Colombia, de las cuales en los años 1996 y 2011 se hacen 4 reportes elaborados en el departamento de Cundinamarca. En base al análisis de datos se recomienda que para futuras búsquedas en temas de producción de humus de lombriz se utilicen las palabras claves 1) Lombri, 2) vermic, 3) compos, 4) humus de lombriz y 5) *Eisenia*. (ver gráficas 1, 2,3 y 4 del **Anexo B**, **Anexo E**, **Anexo F** y **Anexo G**). Finalmente para el análisis de los artículos se considera: año de publicación del artículo, frecuencia de publicación, país de origen, departamento de origen, palabras claves e idioma.
- **Manejo de residuos:** Las personas naturales que quieran ser gestores de los residuos sólidos orgánicos producidos por personas naturales o jurídicas deben cumplir con los mismos requisitos exigidos para gestores privados y; de los 30 artículos solo 14 reportan el origen de donde se obtienen los residuos sólidos orgánicos. El origen de la generación de residuos se puede conocer por medio de un levantamiento de datos a partir de actividades como realización de encuestas y entrevistas con el generador privado o jurídico de los residuos. (ver grafica 5 del **Anexo B** y **Anexo H**). Adicionalmente se hace necesario determinar las zonas de generación de los residuos para poder realizar el plan de recolección; para obtener información de estos lugares se pueden realizar entrevistas, visitas de inspección visual, reconocimiento de grandes generadores como empresas alimentarias y considerar que los residuos no tienen que haber pasado por procesos de cocción.

- **Clasificación de los residuos:** Conocer la cantidad total y particular de los residuos orgánicos, permite obtener datos cuantitativos y cualitativos con los cuales se da inicio al proceso de diseñar los sistemas de producción de humus de lombriz, a partir de una caracterización de cada especie vegetal del residuo y su concentración; para caracterizarlos se utiliza el método de cuarteo y, las características propias como sus condiciones de acidez y el tiempo de degradación que permiten diseñar las formulas en concentración de carbono / nitrógeno para la preparación del precompostaje o diseñar formulaciones específicas para obtener humus de lombriz con altos contenidos de algún macronutriente del suelo como N, P o K.
- **Fuentes orgánicas:** Es necesario conocer la concentración de los macronutrientes (N, P y K), en conjunto con otros elementos contenidos en los residuos presentes en la etapa inicial del proceso de transformación de residuos orgánicos en el humus de lombriz, para luego relacionar si esta concentración inicial de elementos tuvo influencia en el contenido de macronutrientes obtenidos al final de la producción del humus de lombriz; luego, a partir de parámetros como la relación de (carbono-Nitrógeno) y pH, se procede a diseñar las formulaciones con los distintos residuos orgánicos para decidir si alimentar a las lombrices en fresco o precompostado y, cuya composición química repercute en el desarrollo de la biomasa de lombrices y microorganismos, entre los cuales se encuentran los microorganismos biocontroladores. En total se identificaron 65 tipos de residuos sólidos orgánicos (ver **Anexo Q**)
- **Combinaciones de residuos:** Según la calidad del humus de lombriz que se desee obtener, se procede a realizar distintas formulaciones a partir de distintas combinaciones con los residuos orgánicos y en diferentes concentraciones; en total se identificaron 49 tipos de fórmulas (ver **Anexo R**). Se puede cuantificar en campo los macronutrientes como el N a partir de un análisis de clorofila en residuos de hojas; el equipo SPAD el cual no fue nombrado en ningún artículo también ayudó con esta evaluación en campo, adicionalmente se requiere del uso de equipos manuales y

sistemas semi-automatizados o automatizados para una cuantificación más exacta. Adicionalmente se debe considerar que el N se puede perder de 5 formas diferentes.

Por otro lado, el P y el K se pierden principalmente por lixiviación, razón por la cual se propone que para futuros estudios de producción de humus de lombriz se considere la recolección y caracterización del humus líquido para entender mejor los procesos de pérdida por lixiviación a través de un análisis de balase de masa. Una alternativa para evitar la pérdida de concentración de macronutrientes, es buscar la manera de aprovechar el % de humedad contenido en los residuos, permitiendo así mitigar el problema de pérdida por lixiviación al disminuir la adición de agua a los residuos. Finalmente, también se deben considerar las características propias de los residuos como lo son las condiciones de acidez y generación de gases durante su descomposición; con las cuales se definen si se puede proporcionar una alimentación a las lombrices a partir de residuos sólidos orgánicos frescos o precompostados. Otra alternativa es incorporar microorganismo como los solubilizadores que permiten volver el sistema de producción de humus más eficiente al mitigar las pérdidas por lixiviación.

- **Elementos útiles en montajes Experimentales:** Es importante diseñar prototipos que puedan ser usados varias veces sin tener que reemplazarle partes, para ello se debe considerar el ciclo vida (con la [ISO 14040](#)) del prototipo a partir de los materiales a usar en el diseño del montaje experimental; en total se identifican 14 materiales (ver Anexo J) además, se consideran aspectos como mano de obra, mantenimiento, costo económico y valor de los repuestos. También se debe tener en cuenta la presencia de un contenedor para recolectar los lixiviados, tanto en las unidades de producción de precompostaje como en las camas de lombricompostaje, lo cual permite caracterizar física, química y microbiológicamente el humus líquido en las dos principales etapas del proceso de producción de humus de lombriz. Adicionalmente, dependiendo de la magnitud del proyecto, se deben considerar un estudio de impacto ambiental que determine si la actividad genera cambios significativos en el ambiente natural. Caracterizar y cuantificar los residuos generados por el proceso de producción de humus de lombriz, permite diseñar opciones de reciclaje de estos residuos

gaseosos como el CO₂ y líquidos como los macronutrientes del lixiviado., reaprovechándolos en modelos de diseños experimentales de sistemas semi-abiertos; para entender mejor esta idea ver el **Anexo X**, donde se detalla de forma general un sistema de producción de humus de lombriz, con sus entradas y salidas de materia y energía. Por ejemplo el amoníaco se puede capturar por medio de mecanismos como "Ammonia trapping".

- **Frecuencia de medición de parámetros:** Es importante llevar un registro y monitoreo del comportamiento y evolución del procesos de degradación de los residuos orgánicos, cuya frecuencia de medición determina el tiempo necesario para reconocer cuando un parámetro de medición como el pH y la temperatura se salen de los rangos óptimos o cuando se quiere identificar el estado de maduración del precompostaje. Su frecuencia de medición depende de si la toma de datos requiere operarios o si se obtiene los datos en tiempo real por medio de diseños semi-automatizados o automatizados; para el caso del parámetro de volteo, este se puede hacer de forma manual, mecánica o se puede evitar el volteo por medio de pilas estática con aireación forzada. En total se identifican 12 parámetros importantes a monitorear con 19 equipos e instrumentos distintos(ver **Anexo K**)
- **Control durante la producción:** Tener una capacitación relacionada con la forma de identificar el olor del amoníaco, permite tener un control de la etapa en la que se encuentra el precompostaje, etapas que cuando están por encima de los 40 °C favorece a la volatilización del nitrógeno, que en conjunto con el seguimiento de datos y operaciones por medio de documentos como las planillas de registro de actividades, las cuales permiten replicar los procesos luego y, analizar resultados por medio de bases de datos. En total se identifican 5 métodos de control (ver **Anexo I**)
- **Equipos e instrumentos de control:** Permiten realizar procesos como reducción de tamaño del residuo usando para ello una trituradora (equipo que no fue propuesto en ninguna investigación), también, los instrumentos como el termómetro de tierra y de alimentos permiten controlar y analizar la temperatura del precompostaje a diferentes profundidades de las pilas; finalmente, no hay que dejar de lado materiales como las tiras indicadoras de pH, las

cuales permiten cuantificar la acides o alcalinidad de una muestra de precompostaje o humus de lombriz. además, es importante considerar el uso de equipos e instrumentos digitales que permitan reducir los errores en la toma, lectura y procesamiento de datos, aportando eficiencia y eficacia en los procesos; en total se obtuvieron 19 equipos e instrumentos (ver **Anexo K**)

- **Recolección del bioabono:** Principalmente se obtiene humus sólido, humus líquido y biomasa de lombrices, el proceso de recolección requiere de retirar el pie de cría para luego preparar el humus de lombriz para empacar y caracterizarlo física, química y microbiológicamente, conservando un porcentaje de humedad entre el 20 % y el 35 % según la NTC 5167 de 2011. En total se identifican 5 actividades para realizar la recolección del humus de lombriz (ver **Anexo M**).
- **Métodos de análisis para el abono obtenido:** Cada país adapta las normas internacionales a las políticas de su país, definiendo para ello los parámetros físicos, químicos y biológicos que se deben de reportar en la fabricación de humus de lombriz. En Colombia es el ICA la institución encargada de hacer cumplir la norma nacional para la caracterización del humus de lombriz. En total se obtiene 95 métodos para cuantificar y cualificar el humus, considerando diferentes especies químicas para analizar el N, P y K, en conjunto con los microelementos y las bases del suelo y, adicionalmente se presentan los parámetros físicos y microbiológicos para microorganismos benéficos, patógenos y fitopatógeno (ver **Anexo O**). finalmente considerar métodos como el análisis de la tasa de respiración, permiten conocer si el humus de lombriz ya ha madurado y está listo para su uso
- **Medios de cultivo para microorganismos:** Los medios cultivo requieren de una preparación selectiva para los microorganismos que se quieren aislar; en total se identifican 10 medios de cultivos (ver **Anexo P**) y en conjunto en la **Tabla 15** se identifican 14 métodos para su caracterización. Para el caso de la lombricultura, existe un potencial para el

estudio de los microorganismos presentes en el humus de lombriz, ya que estos ofrecen funciones útiles para tareas de biorremediación, control de agentes patógenos o fitosanitarios y, para contribuir con la eficiencia de la disponibilidad de los nutrientes esenciales para las plantas, que gracias a sus procesos metabólicos, que involucran a la aplicación de enzimas, transforman los compuestos químicos para lograr tomar provecho de estos y, mediante de este proceso favorecen la disponibilidad en el suelo de macronutrientes, esenciales para el crecimiento, desarrollo y reproducción de las plantas; tal como se evidencia en los casos de los microorganismos fijadores de nitrógeno. Además existe una relación benéfica entre microorganismos que favorecen la eficiencia en la producción de compuestos químicos asimilables para las plantas, como el caso de *Azospirillum* y *Anabaena*. Adicionalmente, los elementos Ca y Mg favorecen el metabolismo de los microorganismos y se puede conocer la densidad de sus poblaciones en conjunto con la relación que tienen con los parámetros químicos del suelo, mediante los análisis de correspondencia simple y canónicos

- **. *Especies de lombrices***: Las lombrices hacen parte del grupo de los detritívoros en las cadenas tróficas, estas mediante su metabolismo transforman la materia orgánica fragmentándola a compuestos más simples; para caracterizar taxonómica y anatómicamente teniendo en cuenta partes como las descritas en la ***Ilustración 3***.
- **_Diseción de la lombriz**. Adicionalmente cada especie presenta características propias que destacan como lo son voracidad, afinidad por residuos orgánicos selectivos, potencial de reproducción, potencial de colonización de espacios vacíos, resistencia a condiciones de estrés, resistencia a metales pesados, impacto positivo en la salud del suelo, entre otras. En el **Anexo H** se presenta el registro de 12 publicaciones que reportaron el nombre de la especie utilizada, y en el **Anexo S** se presentan las 10 especies reportadas; adicionalmente el 80 % de las especies se encuentran entre los 20 cm de profundidad del suelo desde el horizonte orgánico y el 20 % en profundidades mayores. Por otro lado los residuos con concentraciones altas de glucosa favorecen el aumento de la población de lombrices

como el usado en la 7. Finalmente se resalta la necesidad de determinar claramente cuál es la especie de lombriz a utilizar según la tarea o el tipo de abono humus de lombriz que se quiera obtener.

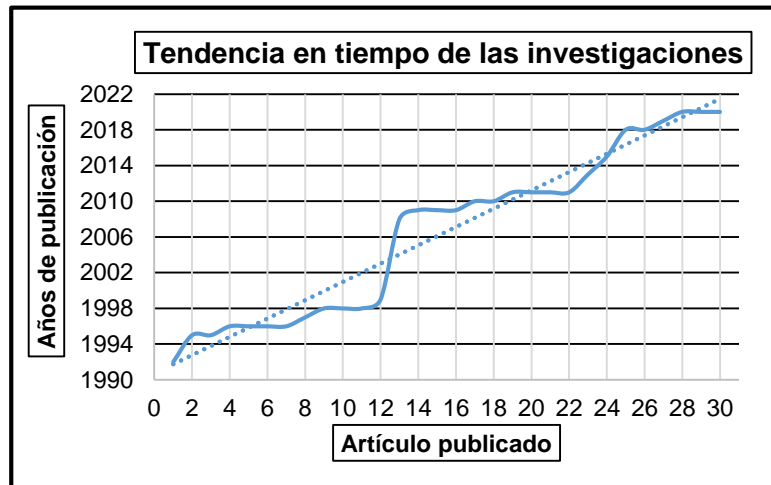
- **Claves para la clasificación taxonómica de lombrices:** Para poder atribuirle potenciales de estudio y aplicación a la producción de humus de lombriz a partir de los residuos sólidos orgánicos, es primordial identificar la especie de lombriz que se ha utilizado en los estudios, ya que cada especie ofrece potenciales de investigación diferentes. En total se obtienen 23 claves taxonómicas (ver **Anexo T**). Adicionalmente es importante conocer la clasificación taxonómica del suelo del cual se obtuvieron las especies de lombrices, ya que al recurrir al manual “soil taxonomy” se pueden identificar los parámetros ambientales y físico-químicos que dominan en ese tipo de suelo y con esta información intentar replicar estos parámetros en los modelos de investigación a escala piloto para favorecer el desarrollo y reproducción de las lombrices, garantizando así replicar **LAS MEJORES CONDICIONES ECOLÓGICAS PARA LA PRODUCCIÓN DE HUMUS CON ALTOS CONTENIDOS DE MACRONUTRIENTES A PARTIR DE LOMBRICES;** en total se identificaron 5 tipos de suelo (ver **Anexo H**)
- **Seguimiento poblacional:** El comportamiento poblacional de las especies de lombrices en cuanto a su desarrollo y reproducción se puede identificar mediante el uso de fórmulas de cálculo que permiten dar un seguimiento a estos comportamientos; esto en conjunto con el tipo de alimento suministrado a la especie, permite entender si existe una afinidad e impacto positivo sobre su supervivencia en sistemas semi-abiertos. En total se identificaron 5 fórmulas de cálculo de biomasa (ver **Anexo U**), que permiten obtener información sobre alimentos que favorecen a la producción de huevos, desarrollo y crecimiento de las lombrices. Para ellos, se hace uso de fórmulas que permiten analizar y concluir sobre la relación que existe entre el sustrato de alimentación de las lombrices y la especie de lombriz estudiada; tal como se evidencia en la fórmula de densidad poblacional.

- **Bioensayos:** El ICA como institución Colombiana, propone el bioensayo como prueba de la eficiencia y eficacia del abono orgánico humus de lombriz, producido bajo condiciones controladas. Con el uso del humus de lombriz en distintos cultivos, se ha evidenciado mejoras en el rendimiento de la producción, crecimiento y desarrollo. En total se identificaron 16 bioensayos a escala piloto (ver **Anexo W**); con ello se evidencia el potencial que ofrece para favorecer la supervivencia de una especie vegetal. Por ejemplo, se ha hecho evidente que favorecen la etapas de pos-germinación de semillas, momento en el cual aumenta la demanda de nutrientes esenciales para las plantas como en el caso de la especie arboloco, también se puede usar para el cultivo de microalgas como en caso de *Chlorella vulgaris*. Finalmente se destaca que el humus de lombriz también influye en la producción de biomasa vegetal y en el contenido de los macroelementos del suelo
- **Recomendaciones propuestas por el autor de esta tesis para futuras investigaciones:** Para lograr mejorar los estudios e investigaciones de los sistemas de producción de humus con altos contenidos de macronutrientes a partir de lombrices, se recomienda aplicar un listado de 12 ítems que favorecen y promueven la obtención de este bioabono; estas recomendaciones se dan para cubrir los vacíos de conocimiento identificados como producto de las revisiones exhaustivas de los artículos de investigación consultados para este proyecto de grado
- **Comportamiento general de un sistema de producción de humus de lombriz:** Toda actividad socio-económica o socio-cultural tiene un impacto (+) o (-) en el ambiente. Por ello, al hacer modelos a escala piloto es importante considerar diseños del ciclo de vida, tal como se indican en la ISO 14040, con los cuales se busca hacer un uso eficiente y eficaz de los recursos naturales a partir de la obtención de las materias primas; además, es importante identificar las 3 etapas de producción de humus de lombriz, con las cuales se busca controlar y mitigar los impactos negativos producidos por la entrada y salida de materia y energía de los sistemas por medio del uso de equipos como los de captura de gases o procesos de mineralización de lixiviados. Esta entradas y salidas del sistema se detallan en el **Anexo X**

ANEXO B. Recopilación de gráficas y tabulaciones construidas en esta tesis para analizar el contenido de macronutrientes con los procesos de producción de humus de lombriz

Gráfica 1.

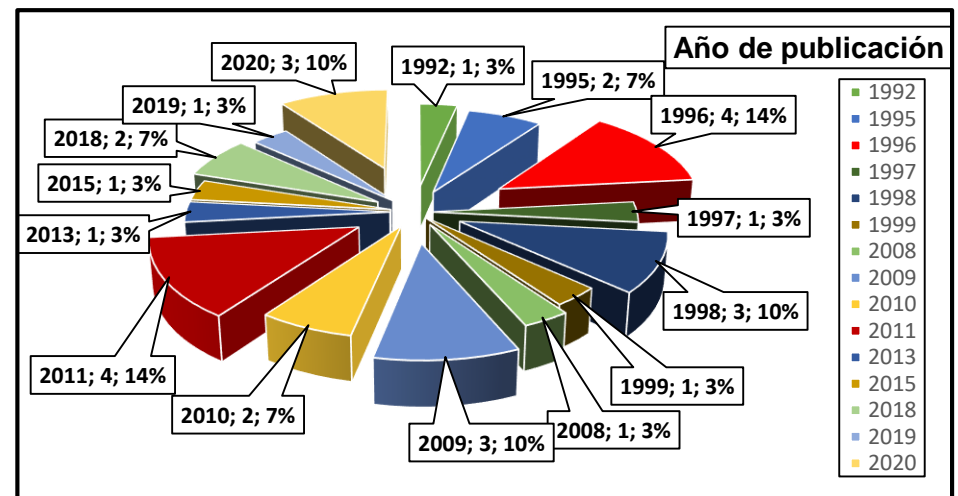
Comportamiento del número de investigaciones publicadas desde 1992



Fuente. Autor

Gráfica 2.

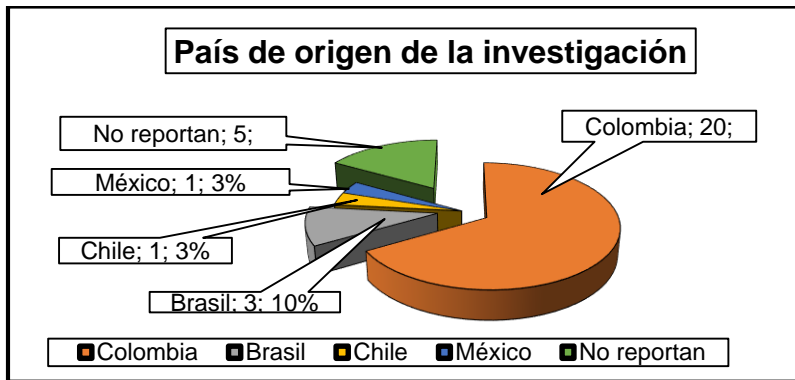
Frecuencia de publicación de los artículos de investigación consultados



Fuente. Autor

Gráfica 3.

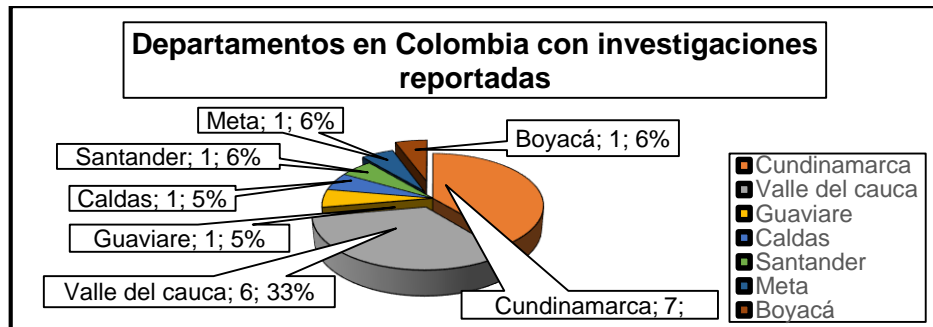
Origen nacional de las publicaciones



Fuente autor.

Gráfica 4

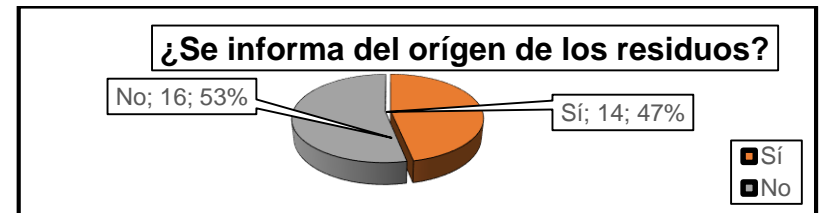
. Origen departamental de las investigaciones



Fuente autor.

Gráfica 5.

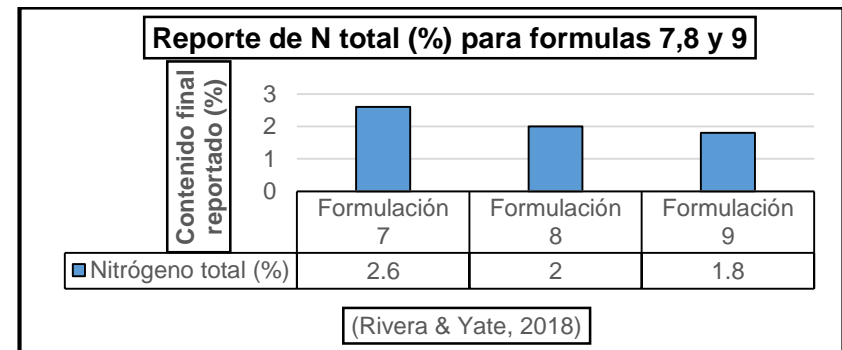
Cantidad total de artículos que reportaron el origen de los residuos.



Fuente. Autor.

Gráfica 6.

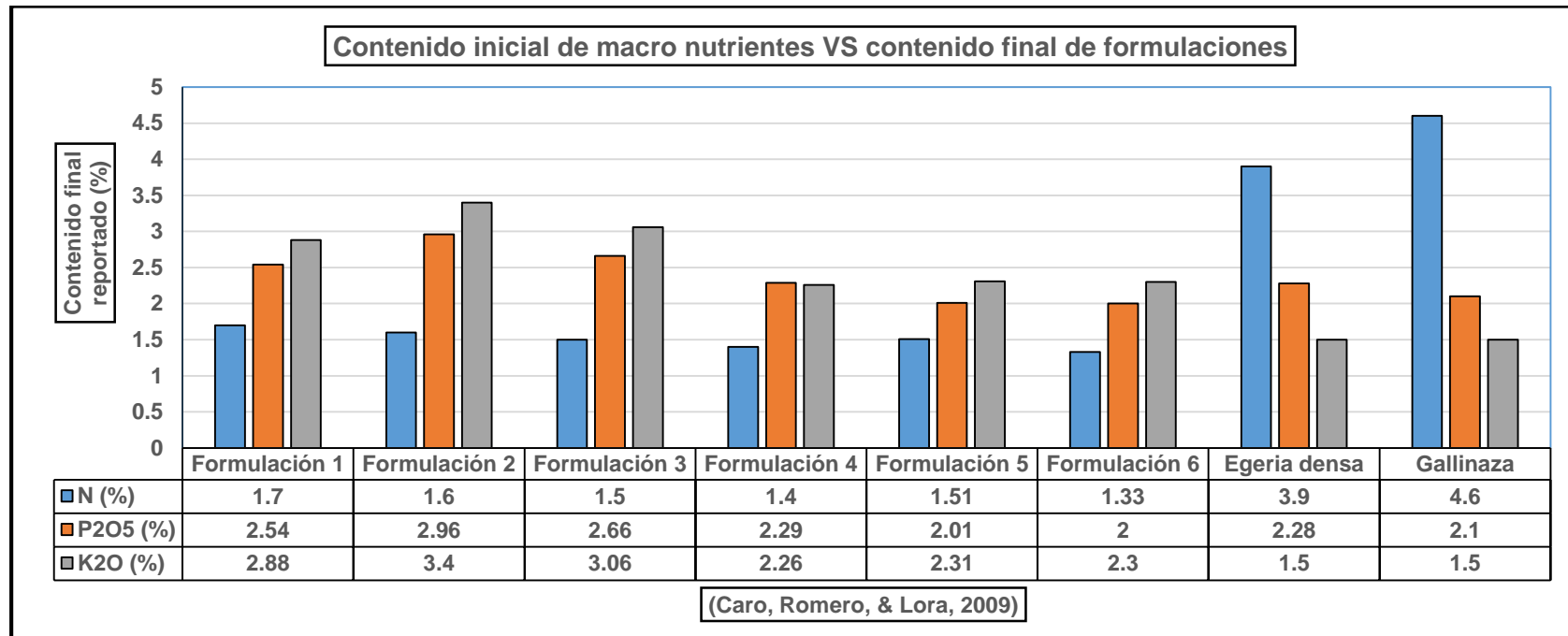
Contenido de nitrógeno en las formulaciones.



Fuente. Autor. Información tomada de (Rivera & Yate, 2008).

Gráfica 7.

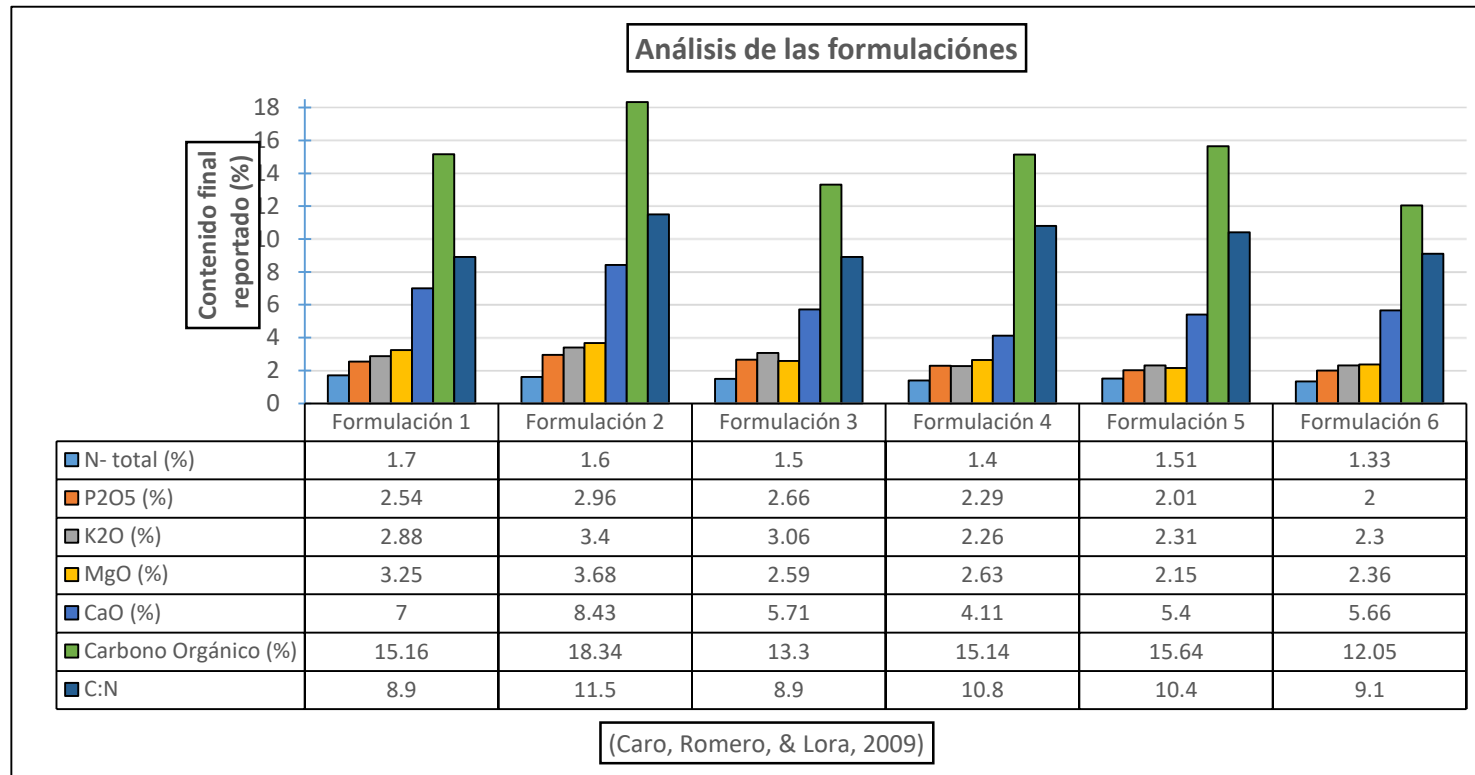
Variación en la concentración de nutrientes.



Fuente. Autor. Información tomada de (Caro, Romero, & Lora, 2009)

Gráfica 8.

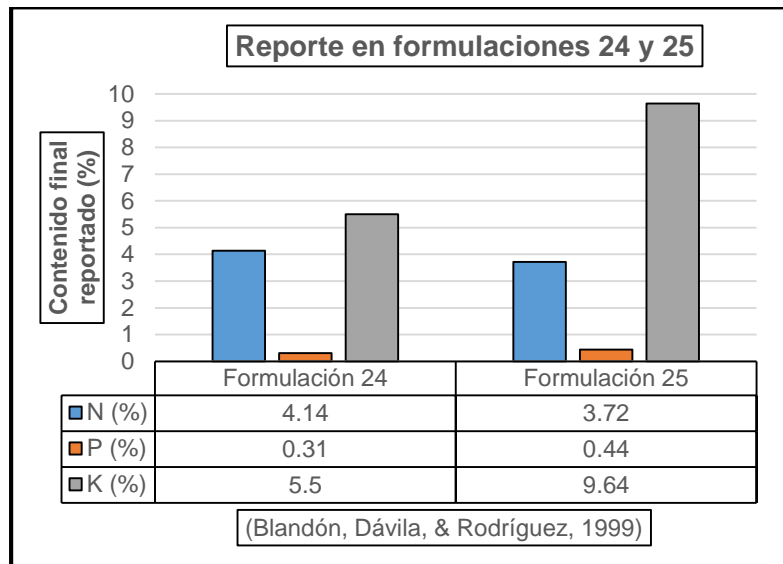
Concentraciones de nutrientes en 6 formulaciones.



Fuente. Autor. Información tomada de (Caro, Romero, & Lora, 2009)

Gráfica 9.

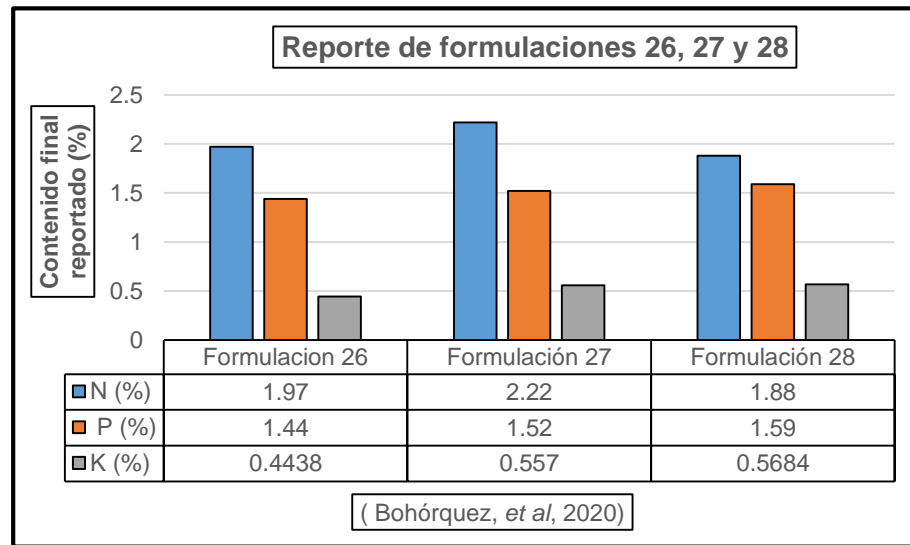
Contenido de macronutrientes en formulaciones 24 y 25



Fuente. Autor. Información recopilada de (Blandón, Dávila, & Rodríguez, 1999)

Gráfica 10

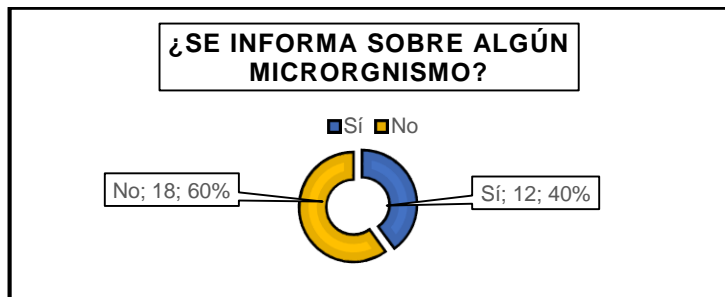
Contenido de macronutrientes en formulaciones 26,27 y 28.



Fuente. Autor. Información tomada de (Bohórquez et al, 2020)

Gráfica 11.

Estado de reporte de los microorganismos en los artículos de investigación de pubindex



Fuente. Autor.

Gráfica 12.

Número y porcentaje de publicaciones que reportan la especie de lombriz usada.



Fuente. Autor

Gráfica 13.

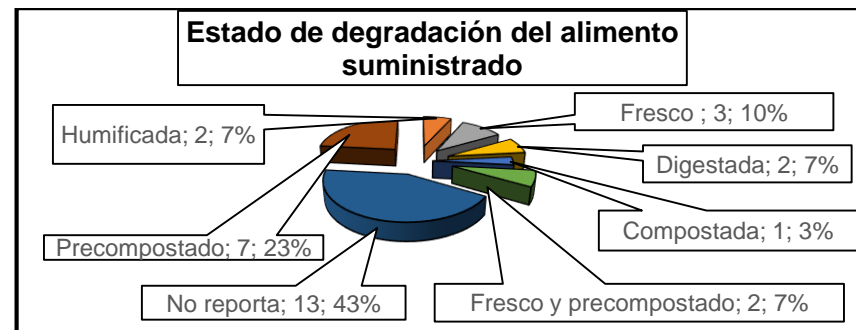
Artículos que reportaron el nombre taxonómico del suelo.



Fuente. Autor

Gráfica 14.

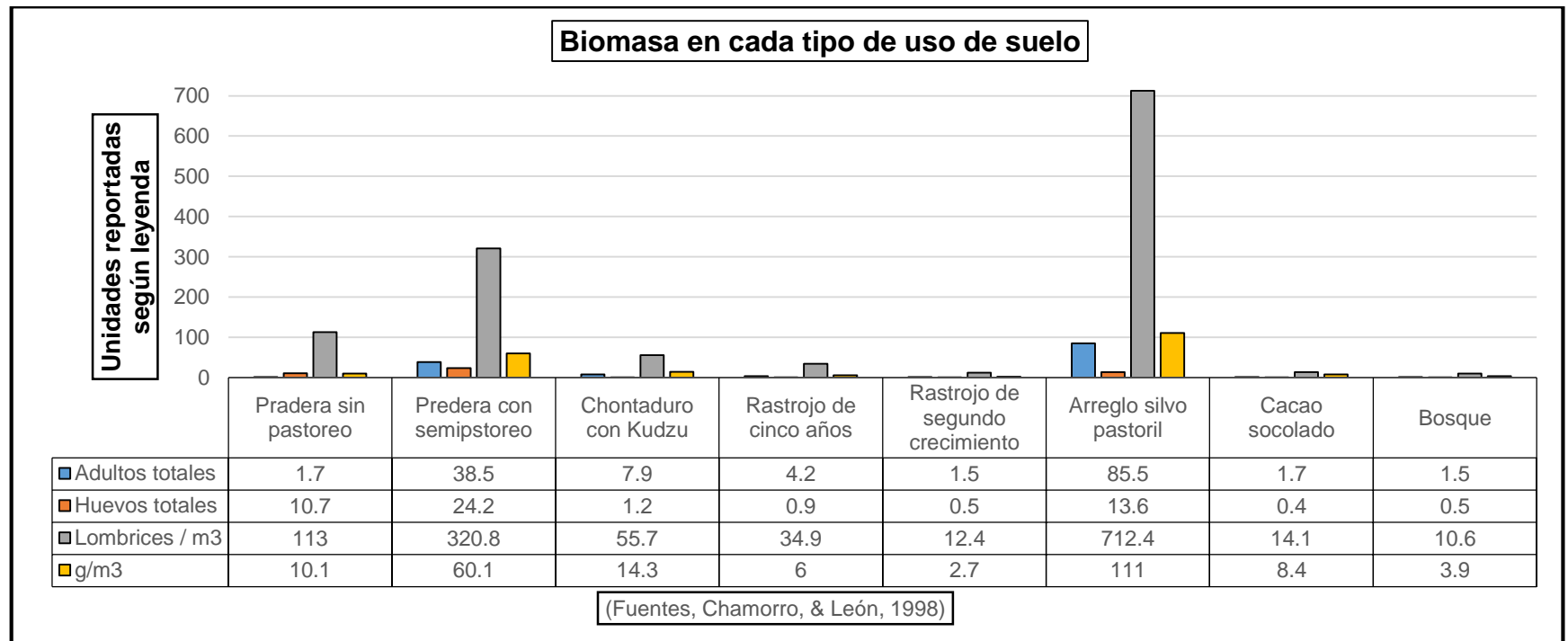
Condición de degradación del alimento suministrado a las lombrices.



Fuente. Autor

Gráfica 15.

Relación entre el uso del suelo y las poblaciones de lombrices.

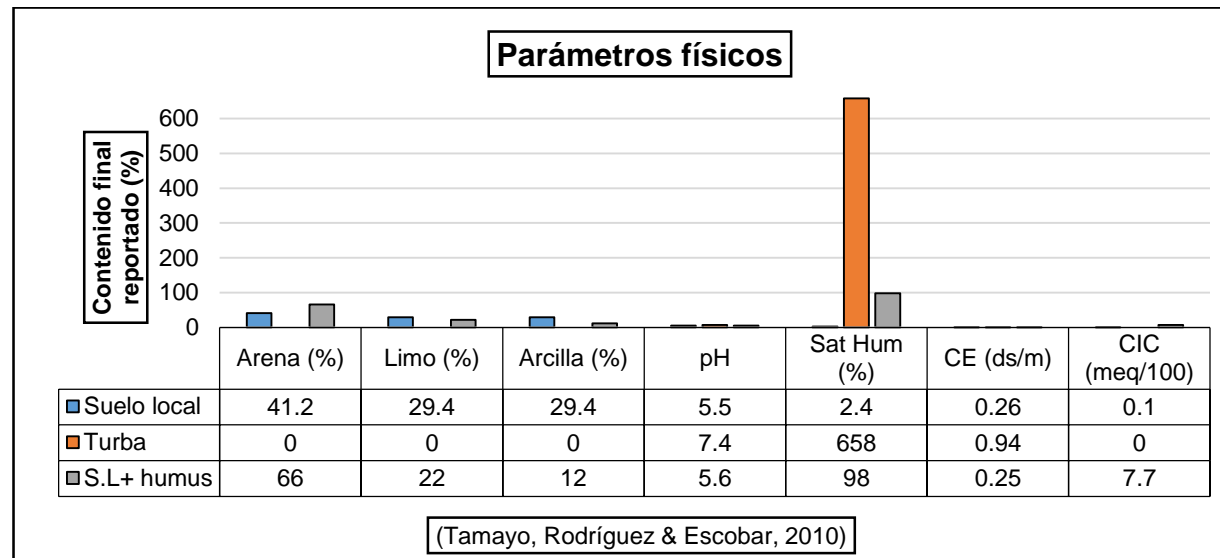


(g/m³) hace relación a la masa de los individuos por unidad de volumen de suelo

Fuente. Autor. Información tomada de (Fuentes, Chamorro, León, 1998)

Gráfica 16.

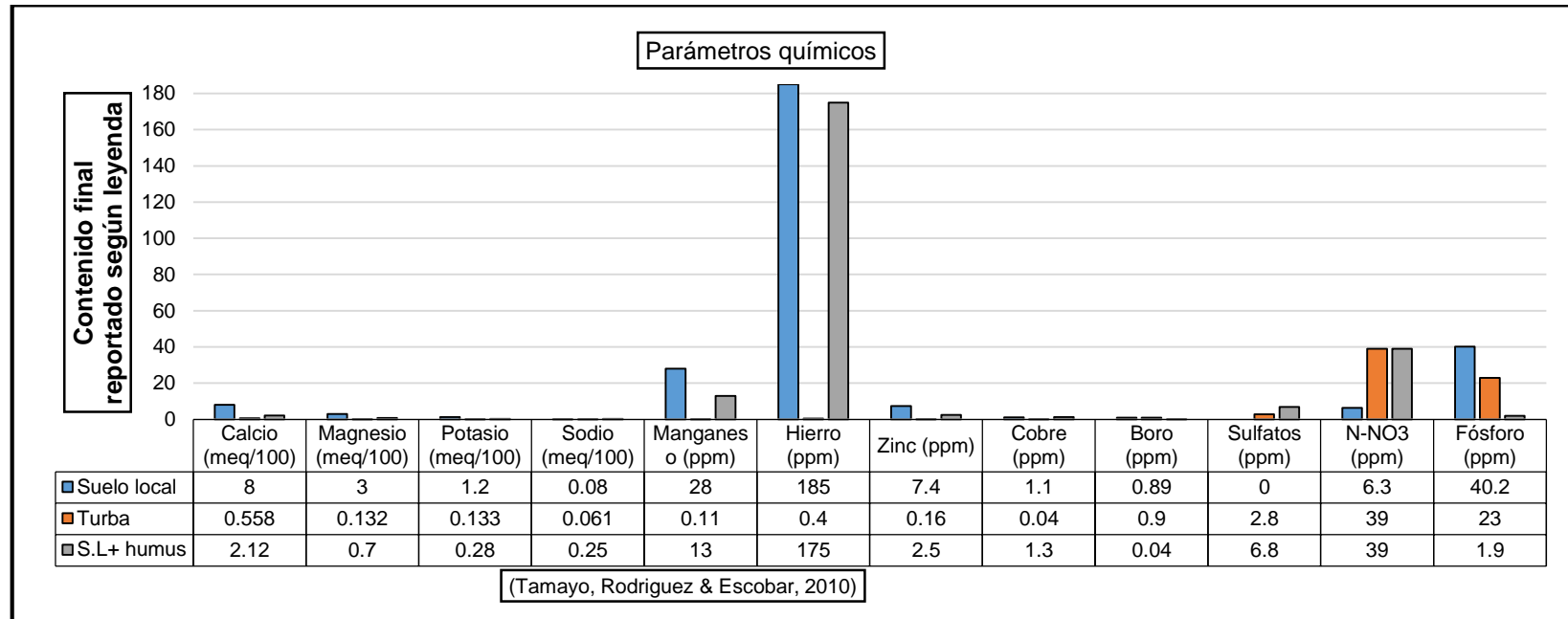
Germinación de semillas en diferentes sustratos.



Fuente. Autor. Información tomada de (Tamayo, Rodríguez & Escobar, 2010).

Gráfica 17.

Parámetros químicos considerados en diferentes sustratos.



Fuente. Autor. Información tomada de (Torres, Rodríguez & Escobar, 2010)

ANEXO C. Estado de investigación en Colombia, a nivel departamental.

Conocer a detalle la localización geográfica de los reportes de las investigaciones, permite obtener datos hidrometeorológicos, geomorfológicos, y edafológicos propios de los municipios donde se realizaron las investigaciones. Este tipo de información permite generar mapas de ubicación del hábitat de las especies reportadas, en conjunto con las características de su área habitable.

Tabla 3

Publicaciones de los estudios reportados a nivel departamental y municipal.

#	Artículo	Municipio de la investigación	Departamento	País
1	ADAPTACIÓN DE LA LUMBRICULTURA EN LA ZONA CAFETERA	Albán	Cundinamarca	Colombia
2	RENDIMIENTOS DE SUSTANCIAS HÚMICAS DE OCHO LOMBRICOMPUESTOS	Palmira	Valle del Cauca	Colombia
3	USO DE LOMBRICOMPUESTOS EN LA PRODUCCIÓN COMERCIAL DEL Crisantemo <i>Chrysanthemum morifolium</i> RAMAT	Puracé	Cauca	Colombia
4	AVANCES DEL CONOCIMIENTO BIOEDAFOLÓGICO EN COLOMBIA	Mitú	Vaupés	Colombia
5	CARACTERIZACIÓN DE LOS ÁCIDOS HÚMICOS EXTRAÍDOS DE CUATRO LOMBRICOMPUESTOS Y SU EFECTO SOBRE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE MAÍZ <i>Zea mays</i> L. ALGODÓN <i>Gossypium hirsutum</i> Y TOMATE <i>Lycopersion esculentum</i> L	Palmira	Valle del cauca	Colombia
6	EL MODELO V.S.P. EN LECHUGA BATAVIA <i>Lactuca sativa var capitata</i> L.y RESPUESTA DE DOS VARIEDADES A LAS APLICACIONES DE COMPUESTOS ORGÁNICOS	La cumbre	Valle del Cauca	Colombia
7	PERFECCIONAMIENTO DEL SUSTRATO EN EL MODELO V.S.P. PARA LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE TOMATE <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill	Palmira	Valle del Cauca	Colombia
8	EVALUACIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y NUTRICIONALES EN HUMUS DE LOMBRIZ Y COMPOSTS DERIVADOS DE DIFERENTES SUSTRATOS	---	---	---

9	CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE HUMUS DE LOMBRIZ Y COMPOSTS PRODUCIDOS A PARTIR DE DIFERENTES SUSTRATOS	---	---	---
10	CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE LOMBRICES NATIVAS (<i>Pheretima sp.</i> , <i>Eudovoscolex sp.</i> y <i>Periscollex sp.</i>) BAJO DIFERENTES USOS DEL SUELO (Guaviare, Colombia)	Vereda san Antonio	Guaviare	Colombia
11	EFFECTO DE LOS PROCESOS DE COMPOSTACIÓN y LOMBRICULTURA DE RESIDUOS DE CLAVEL SOBRE LA POBLACIÓN DE <i>Fusarium oxysporum f. sp. dianthi</i> .		Cundinamarca	Colombia
12	CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA Y FÍSICO-QUÍMICA DE LA PULPA DE CAFÉ SOLA Y CON MUCÍLAGO, EN PROCESO DE LOMBRICOMPOSTAJE	Anserma	Caldas	Colombia
13	PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS VEGETALES DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MEDIANTE COMPOSTAJE.	---	Santander	Colombia
14	PRESENCIA DE ROTAVIRUS DURANTE UN PROCESO DE COMPOSTAJE. ABONOS COMO VECTORES DE CONTAMINACIÓN VIRAL	---	---	---
15	PRODUCCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS CON LA UTILIZACIÓN DE ELODEA (<i>Egeria densa</i>) PRESENTE EN LA LAGUNA DE FÚQUENE	Susa	Cundinamarca	Colombia
16	REMOCIÓN MEDIANTE VERMICOMPOSTEO DE LOS COLIFORMES FECALES PRESENTES EN LODOS BIOLÓGICOS	---	---	---
17	ESTUDIO DE LA PROPAGACIÓN SEXUAL DEL ARBOLOCO <i>Montanoa quadrangularis</i> SCHULTZ BIPONTIANUS ASTERACEAE	Pacho	Cundinamarca	Colombia
18	RESPUESTA DEL LULO LA SELVA (<i>Solanum quitoense x Solanum hirtum</i>) A LA APLICACIÓN DE FERMENTADOS AERÓBICOS TIPO BOCASHI Y FERTILIZANTE QUÍMICO	Ansermanuevo	Valle del Cauca	Colombia
19	ANÁLISIS QUÍMICO Y BIOLÓGICO DE BIOSÓLIDOS SOMETIDOS A SISTEMA DE LOMBRICULTURA COMO POTENCIAL ABONO ORGÁNICO	Bogotá D.C.	Cundinamarca	Colombia
20	EFFECTO DEL MEDIO DE CULTIVO SOBRE EL CRECIMIENTO Y EL CONTENIDO PROTEICO DE <i>chlorella vulgaris</i>	Villavicencio	Meta	Colombia
21	EVALUACIÓN DEL FERTILIZANTE ORGÁNICO LÍQUIDO DE LOMBRIZ SAN RAFAEL EN EL CULTIVO DE <i>Rosa cv. Classy</i>	Rosal	Cundinamarca	Colombia
22	INTERACCIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS EN PLANTAS: Micorrizas, <i>Trichoderma spp.</i> Y <i>Pseudomonas spp.</i> UNA REVISIÓN	---	---	---

23	MODELO INTEGRADO DE UN SISTEMA DE BIODEPURACIÓN EN ORIGEN DE AGUAS RESIDUALES DOMICILIARIAS. UNA PROPUESTA PARA COMUNIDADES PERIURBANAS DEL CENTRO SUR DE CHILE	Comunidades	Chile	Chile
24	EFFECTOS DEL COMPOST Y LOMBRIABONO SOBRE EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE <i>BERENJENA Solanum melongena L</i>	Montería	Córdoba	Colombia
25	FERTILIZACIÓN ORGÁNICA MITIGANTE DE LOS EFECTOS DE LA SALINIDAD DEL AGUA EN PLÁNTULAS DE <i>Passiflora cincinnata</i>	Catolé do Rocha	Brasil	Brasil
26	USO DE <i>EISENIA FOETIDA</i> (OLIGOQUETOS: <i>LUMBRICIDAE</i>) PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOABONO, BOGOTÁ – COLOMBIA	Bogotá D.C.	Cundinamarca	Colombia
27	CALIDAD DE PLÁNTULAS DE CAJUEIRO ENANO COMO RESULTADO DE MÉTODOS DE ROMPIMIENTO DE DORMANCIA, VOLUMEN DE MATERIA Y APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTE BOVINO	Catolé do Rocha	Brasil	Brasil
28	EFFECTOS DE NIVELES DE HUMUS Y SOMBREADO EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS de <i>Lactuca canadensis L</i>	Cuibá	Brasil	Brasil
29	REFINACIÓN DE LA FRACCIÓN SÓLIDA DE DIGESTATOS DE EXCRETAS DE OVEJAS PROVENIENTE DE UN DIGESTOR ANAEROBIO	Tabasco	México	México
30	VERMICOMPOSTAJE: UNA ALTERNATIVA DE TRANSFORMACIÓN DEL CONTENIDO RUMINAL GENERADO EN MATADEROS	Ventaquemada	Boyacá	Colombia

--- indica que no se realizaron reportes

Fuente. Autor

ANEXO D. Clasificación de abonos establecida por la EPA.

La clasificación de los abonos se da principalmente por el rango de los agentes patógenos permitidos, entre los cuales aquellos que se clasifiquen en A pueden utilizarse en la agricultura y los B se pueden aplicar como enmiendas en cultivos forestales.

Tabla 4.

Clasificación de Abonos.

	Requisito de límite de contaminantes 503.13 (a1 –a4) y 503.13 (b1 –b4)		Requisitos de patógenos 503.15 (a) 503.32 (a3 –a8) y 503.32 (b2 – b4)	Requisitos de reducción de atracción de vectores 503.15 (c) 503.33 (b1 – b10)
Clase A Calidad excepcional	Concentración máxima (a1)	Concentración de contaminantes (b3)	Cualquier alternativa (a3-a8) Alguna alternativa de clase A (a3 – a8)	Cualquier alternativa (b1-b8)
Clase A	Concentraciones celulares (a1)	Concentración de contaminantes (a2 - a4 o b3)		Alternativa (b9 o b10)
		Tasa de carga de contaminantes acumulativos (a2 o b2)		Alguna alternativa (b1 o b10)
Clase B	Concentraciones celulares (a1)	Tasas anuales de contaminantes acumulativos (a4 o b4)	Alguna alternativa de clase B (b2 – b4)	Alguna alternativa (b1 o b8)
		Concentración contaminante (a2 –a4 o b3)		Alguna alternativa (b1 o b10)
		Tasa de carga de contaminantes acumulativos		Alguna alternativa (b1 o b10)

Fuente. Autor. Información tomada de (EPA, 2023)

ANEXO E. Base de datos de publinde.

Se obtiene un total de 30 artículos de los cuales 27 corresponde a la categoría de indexación B y 3 a la categoría C, además, de los 30 artículos 24 se encuentran en el idioma de español y 6 en inglés.

Tabla 5.

Lista de artículos consultados de la base de datos de publinde.

#	Artículo	Año de publicación	Idioma	Nivel de indexación	Revista
1	ADAPTACIÓN DE LA LUMBRICULTURA EN LA ZONA CAFETERA	1992	Español	B	Acta biológica Colombiana
2	RENDIMIENTOS DE SUSTANCIAS HÚMICAS DE OCHO LOMBRICOMPUESTOS	1995	Español	B	Acta Agronómica
3	USO DE LOMBRICOMPUESTOS EN LA PRODUCCIÓN COMERCIAL DEL <i>Crisantemo Chrysanthemum morifolium</i> RAMAT	1995	Español	B	Acta Agronómica
4	AVANCES DEL CONOCIMIENTO BIOEDAFOLÓGICO EN COLOMBIA	1996	Español	B	Acta biológica Colombiana
5	CARACTERIZACIÓN DE LOS ÁCIDOS HÚMICOS EXTRAÍDOS DE CUATRO LOMBRICOMPUESTOS Y SU EFECTO SOBRE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE MAÍZ <i>Zea mays</i> L. ALGODÓN <i>Gossypium hirsutum</i> Y TOMATE <i>Lycopersion esculentum</i> L	1996	Español	B	Acta Agronómica
6	PERFECCIONAMIENTO DEL SUSTRATO EN EL MODELO V.S.P. PARA LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE TOMATE <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill	1996	Español	B	Acta Agronómica
7	EL MODELO V.S.P. EN LECHUGA BATAVIA <i>Lactuca sativa</i> var <i>capitata</i> L.y RESPUESTA DE DOS VARIEDADES A LAS APLICACIONES DE COMPUESTOS ORGÁNICOS	1996	Español	B	Acta Agronómica
8	EVALUACIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y NUTRICIONALES EN HUMUS DE	1997	Español	C	Revista Colombiana de Química

	LOMBRIZ Y COMPOSTS DERIVADOS DE DIFERENTES SUSTRATOS				
9	EFEECTO DE LOS PROCESOS DE COMPOSTACIÓN y LOMBRICULTURA DE RESIDUOS DE CLAVEL SOBRE LA POBLACIÓN DE <i>Fusarium oxysporum .sp. Dianthi</i> .	1998	Español	B	Agronomía Colombiana
10	CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE LOMBRICES NATIVAS (<i>Pheretima sp.</i> , <i>Eudovoscolex sp.</i> y <i>Periscolex sp.</i>) BAJO DIFERENTES USOS DEL SUELO (Guaviare, Colombia)	1998	Español	B	Agronomía Colombiana
11	CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE HUMUS DE LOMBRIZ Y COMPOSTS PRODUCIDOS A PARTIR DE DIFERENTES SUSTRATOS	1998	Español	C	Revista Colombiana de Química
12	CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA Y FÍSICO-QUÍMICA DE LA PULPA DE CAFÉ SOLA Y CON MUCÍLAGO, EN PROCESO DE LOMBRICOMPOSTAJE	1999	Español	B	Facultad Nacional de Salud Pública
13	PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS VEGETALES DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MEDIANTE COMPOSTAJE.	2008	Español	B	UIS Ingenierías
14	PRODUCCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS CON LA UTILIZACIÓN DE ELODEA (<i>Egeria densa</i>) PRESENTE EN LA LAGUNA DE FÚQUENE	2009	Español	B	Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica
15	PRESENCIA DE ROTAVIRUS DURANTE UN PROCESO DE COMPOSTAJE. ABONOS COMO VECTORES DE CONTAMINACIÓN VIRAL	2009	Inglés	B	Universitas. SCIENTIARUM
16	REMOCIÓN MEDIANTE VERMICOMPOSTEO DE LOS COLIFORMES FECALES PRESENTES EN LODOS BIOLÓGICOS	2009	Español	B	Facultad Nacional de Salud Pública
17	ESTUDIO DE LA PROPAGACIÓN SEXUAL DEL ARBOLOCO <i>Montanoa quadrangularis</i> SCHULTZ BIPONTIANUS ASTERACEAE	2010	Español	B	Universitas. SCIENTIARUM
18	RESPUESTA DEL LULO LA SELVA (<i>Solanum quitoense</i> x <i>Solanum hirtum</i>) A LA APLICACIÓN DE FERMENTADOS AERÓBICOS TIPO BOCASHI Y FERTILIZANTE QUÍMICO	2010	Español	B	Acta Agronómica
19	INTERACCIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS EN PLANTAS: Micorrizas, <i>Trichoderma</i> spp. Y <i>Pseudomonas</i> spp. UNA REVISIÓN	2011	Español	B	Revista U.D.C.A Actualidad y Divulgación Científica

20	EFFECTO DEL MEDIO DE CULTIVO SOBRE EL CRECIMIENTO Y EL CONTENIDO PROTEICO DE <i>Chlorella vulgaris</i>	2011	Español	B	Facultad Nacional de Salud Pública
21	EVALUACIÓN DEL FERTILIZANTE ORGÁNICO LÍQUIDO DE LOMBRIZ SAN RAFAEL EN EL CULTIVO DE Rosa cv. <i>Classy</i>	2011	Español	B	Revista facultad nacional de agronomía Medellín
22	ANÁLISIS QUÍMICO Y BIOLÓGICO DE BIOSÓLIDOS SOMETIDOS A SISTEMA DE LOMBRICULTURA COMO POTENCIAL ABONO ORGÁNICO	2011	Español	B	NOVA
23	MODELO INTEGRADO DE UN SISTEMA DE BIODEPURACIÓN EN ORIGEN DE AGUAS RESIDUALES DOMICILIARIAS. UNA PROPUESTA PARA COMUNIDADES PERIURBANAS DEL CENTRO SUR DE CHILE	2013	Español	C	Gestión y ambiente
24	EFFECTOS DEL COMPOST Y LOMBRIABONO SOBRE EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE BERENJENA <i>Solanum melongena L</i>	2015	Español	B	REVISTA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
25	USO DE EISENIA FOETIDA (OLIGOQUETOS: LUMBRICIDAE) PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOABONO, BOGOTÁ – COLOMBIA	2018	Español	B	Revista de Investigación Agraria y Ambiental
26	FERTILIZACIÓN ORGÁNICA MITIGANTE DE LOS EFFECTOS DE LA SALINIDAD DEL AGUA EN PLÁNTULAS DE <i>Passiflora cincinnata</i>	2018	Inglés	B	Acta Agronómica
27	CALIDAD DE PLÁNTULAS DE CAJUEIRO ENANO COMO RESULTADO DE MÉTODOS DE ROMPIMIENTO DE DORMANCIA, VOLUMEN DE MATERA Y APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTE BOVINO	2019	Inglés	B	Revista Colombiana de ciencias hortícolas
28	VERMICOMPOSTAJE: UNA ALTERNATIVA DE TRANSFORMACIÓN DEL CONTENIDO RUMINAL GENERADO EN MATADEROS	2020	Inglés	B	Revista facultad nacional de agronomía Medellín
29	REFINACIÓN DE LA FRACCIÓN SÓLIDA DE DIGESTATOS DE EXCRETAS DE OVEJAS PROVENIENTE DE UN DIGESTOR ANAEROBIO	2020	Inglés	B	Ingeniería e investigación
30	EFFECTOS DE NIVELES DE HUMUS Y SOMBREADO EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS de <i>Lactuca canadensis L</i>	2020	Inglés	B	Acta Agronómica

Fuente. Autor

ANEXO F. Palabras claves reportadas en cada investigación.

Se obtienen un total de 145 palabras claves de las cuales se, de estas extraen las 5 más comunes.

Tabla 6.

Lista de palabras claves correspondientes a cada artículo consultado

#	Nombre del artículo	Palabras claves
1	ADAPTACIÓN DE LA LUMBRICULTURA EN LA ZONA CAFETERA	Lombricultura
		Lombriabono
		<i>Eisenia fetida</i>
		<i>Glossocolex</i>
2	ANÁLISIS QUÍMICO Y BIOLÓGICO DE BIOSÓLIDOS SOMETIDOS A SISTEMA DE LOMBRICULTURA COMO POTENCIAL ABONO ORGÁNICO	Biosólido
		Lombricultura
		N-P-K
		Abono orgánico
		Cultivos no agrícolas
		Coliformes
3	AVANCES DEL CONOCIMIENTO BIOEDAFOLÓGICO EN COLOMBIA	Bioedafológico
		Lombrices de tierra
		Biodiversidad
		Distribución
		Suelo
4	CALIDAD DE PLÁNTULAS DE CAJUEIRO ENANO COMO RESULTADO DE MÉTODOS DE ROMPIMIENTO DE DORMANCIA, VOLUMEN DE MATERIA Y APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTE BOVINO	<i>Anacardium occidentale L</i>
		Propagación
		Esquejes
		Salida de latencia
		Biofertilizante
		Fruticultura
5	CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE HUMUS DE LOMBRIZ Y COMPOSTS PRODUCIDOS A PARTIR DE DIFERENTES SUSTRATOS	Lombriz de tierra
		Compost
		Materia orgánica

		Ácidos húmicos
		Ácidos fúlvicos
	CARACTERIZACIÓN DE LOS ÁCIDOS HÚMICOS EXTRAÍDOS DE CUATRO LOMBRICOMPUESTOS Y SU EFECTO SOBRE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE MAÍZ <i>Zea mays</i> L. ALGODÓN <i>Gossypium hirsutum</i> Y TOMATE <i>Lycopersion esculentum</i> L	Ácidos húmicos
		Lombricompuestos
		Germinación
		Semillas de maíz
		Algodón
		Tomate
		Lombrices de tierra
7	CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE LOMBRICES NATIVAS (<i>Pheretima</i> sp., <i>Eudovoscolex</i> sp. y <i>Perisocolex</i> sp.) BAJO DIFERENTES USOS DEL SUELO (Guaviare, Colombia)	Taxonomía
		Biología del suelo
		Usos del suelo
		Amazonía
8	CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA Y FÍSICO-QUÍMICA DE LA PULPA DE CAFÉ SOLA Y CON MUCÍLAGO, EN PROCESO DE LOMBRICOMPOSTAJE	Subproductos de café
		Pulpa de café
		Mucílago
		Lombricompostaje
		Lombricompuesto
		Microrganismos
		Abono orgánico
		Lombriz roja
	<i>Eisenia foetida</i>	
9	EFECTO DE LOS PROCESOS DE COMPOSTACIÓN y LOMBRICULTURA DE RESIDUOS DE CLAVEL SOBRE LA POBLACIÓN DE <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>dianthi</i> .	<i>Dianthus caryophyllus</i>
		<i>Eisenia foetida</i>
		Residuos de rosa
10	EFECTO DEL MEDIO DE CULTIVO SOBRE EL CRECIMIENTO Y EL CONTENIDO PROTEICO DE <i>Chlorella vulgaris</i>	Alimento vivo
		Humus de lombriz
		Microalga
		Nutrientes
		Valor nutricional
11	EFECTOS DE NIVELES DE HUMUS Y SOMBREADO EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS de <i>Lactuca canadensis</i> L	<i>Lactuca canadensis</i> L
		Hortalizas
		Humus de lombriz
		Sustratos

12	EFECTOS DEL COMPOST Y LOMBRIABONO SOBRE EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE <i>BERENJENA Solanum melongena L</i>	Calidad del fruto
		Agricultura ecológica
		Fertilización orgánica
		Manejo alternativo
13	EL MODELO V.S.P. EN LECHUGA BATAVIA <i>Lactuca sativa var capitata L.</i> y RESPUESTA DE DOS VARIEDADES A LAS APLICACIONES DE COMPUESTOS ORGÁNICOS	Cachaza
		Carbonilla
		Sustrato orgánico
		Lechuga botavia
		Enmiendas orgánicas
14	ESTUDIO DE LA PROPAGACIÓN SEXUAL DEL ARBOLOCO <i>Montanoa quadrangularis</i> SCHULTZ BIPONTIANUS ASTERACEAE	Índices de germinación
		Crecimiento y desarrollo
		Especies
15	EVALUACIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS FISCOQUÍMICOS Y NUTRICIONALES EN HUMUS DE LOMBRIZ Y COMPOSTS DERIVADOS DE DIFERENTES SUSTRATOS	Humus de lombriz
		Desechos de café
		Basuras biodegradables
		Rosas
		Compost
		Humedad
		Conductividad eléctrica
		Ceniza
		Sílice
Acetato de amonio		
16	EVALUACIÓN DEL FERTILIZANTE ORGÁNICO LÍQUIDO DE LOMBRIZ SAN RAFAEL EN EL CULTIVO DE <i>Rosa cv. Classy</i>	Vermicompuesto
		Productividad
		Calidad del fruto
		Fisiopatía
17	FERTILIZACIÓN ORGÁNICA MITIGANTE DE LOS EFECTOS DE LA SALINIDAD DEL AGUA EN PLÁNTULAS DE <i>Passiflora cincinnata</i>	Maracujá-do-mato
		Propagación
		Sales
18	INTERACCIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS EN PLANTAS: Micorrizas, Trichoderma spp. Y Pseudomonas spp. UNA REVISIÓN	Control biológico
		Microorganismos
		Promotores de Crecimiento
		Sinergismo
		Antagonismo

19	MODELO INTEGRADO DE UN SISTEMA DE BIODEPURACIÓN EN ORIGEN DE AGUAS RESIDUALES DOMICILIARIAS. UNA PROPUESTA PARA COMUNIDADES PERIURBANAS DEL CENTRO SUR DE CHILE	Tratamiento de aguas residuales
		Biofiltro
		Humedales artificiales
20	PERFECCIONAMIENTO DEL SUSTRATO EN EL MODELO V.S.P. PARA LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE TOMATE <i>Lycopersicon esculentum Mill</i>	Sustrato
		Plántulas
		Tomate
		Lombricompuestos
21	PRESENCIA DE ROTAVIRUS DURANTE UN PROCESO DE COMPOSTAJE. ABONOS COMO VECTORES DE CONTAMINACIÓN VIRAL	Abonos
		Compostaje
		Inhibidores de la PCR <i>Rotavirus</i>
22	PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS VEGETALES DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MEDIANTE COMPOSTAJE.	Residuos vegetales
		Lombricompostaje
		Degradación de lignina
		Degradación de celulosa Microorganismos oxigénicos
23	PRODUCCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS CON LA UTILIZACIÓN DE ELODEA (<i>Egeria densa</i>) PRESENTE EN LA LAGUNA DE FUQUENE	Fertilización orgánica
		Compostación
		Lombricompostaje
		<i>Elodea</i> Bioensayo
24	REFINACIÓN DE LA FRACCIÓN SÓLIDA DE DIGESTATOS DE EXCRETAS DE OVEJAS PROVENIENTE DE UN DIGESTOR ANAEROBIO	Biodigestor
25		Materia orgánica
		Lombriz de tierra
		Vermicompostaje
		Coliformes fecales
		Lodo
Vermicomposteo		
26	RENDIMIENTOS DE SUSTANCIAS HÚMICAS DE OCHO LOMBRICOMPUESTOS	Remoción de patógeno
		Ácidos húmicos
		Fúlvo ácidos
		Urea Bovinaza

		Cachaza
		Pulpa de café
		Lombricomposto
27	RESPUESTA DEL LULO LA SELVA (<i>Solanum quitoense</i> x <i>Solanum hirtum</i>) A LA APLICACIÓN DE FERMENTADOS AERÓBICOS TIPO BOCASHI Y FERTILIZANTE QUÍMICO	<i>Solanum quitoense</i>
		<i>Solanum hirtum</i>
		Abonos orgánicos
		Lulo
		Productividad
28	USO DE <i>EISENIA FOETIDA</i> (OLIGOQUETOS: <i>LUMBRICIDAE</i>) PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOABONO, BOGOTÁ – COLOMBIA	Compostación
		Mecanismos de desarrollo limpio
		Residuos sólidos orgánicos
		Sustrato
		Vermicultura
29	USO DE LOMBRICOMPUESTOS EN LA PRODUCCIÓN COMERCIAL DEL Crisantemo <i>Chrysanthemum morifolium</i> RAMAT	Lombricompostos
		Crisantemo
		<i>Eisenia fetida</i>
		Producción
30	VERMICOMPOSTAJE: UNA ALTERNATIVA DE TRANSFORMACIÓN DEL CONTENIDO RUMINAL GENERADO EN MATADEROS	Contenido ruminal
		Residuos sólidos orgánicos
		Vermicomposteo

Fuente Autor.

ANEXO G. *Palabras comunes obtenidas de las 145 claves reportadas.*

La siguiente tabla se obtiene a partir del uso de las tablas dinámicas de Excel, con la cual se realiza un análisis de datos, reconociendo y contando aquellas que más se repiten.

Tabla 7. *Similitud entre palabras claves*

Nombre de la palabra clave	# de menciones
Abono orgánico	2
Abonos	1
Abonos orgánicos	1
Acetato de amonio	1
Ácidos fúlvicos	1
Ácidos húmicos	1
Ácidos húmicos	2
Agricultura ecológica	1
Algodón	1
Alimento vivo	1
Amazonía	1
Anacardium occidentale L	1
Antagonismo	1
Basuras biodegradables	1
Biodigestor	1
Biodiversidad	1
Bioedafológico	1
Bioensayo	1
Biofertilizante	1
Biofiltro	1
Biología del suelo	1
Biosólido	1
Bovinaza	1
Cachaza	2
Calidad del fruto	2
Carbonilla	1
Ceniza	1

Coliformes	1
Coliformes fecales	1
Compost	2
Compostación	2
Compostaje	1
Conductividad eléctrica	1
Contenido ruminal	1
Control biológico	1
Crecimiento y desarrollo	1
Crisantemo	1
Cultivos no agrícolas	1
Degradación de celulosa	1
Degradación de lignina	1
Desechos de café	1
Dianthus caryophyllus	1
Distribución	1
Eisenia fetida	2
Eisenia foetida	2
Elodea	1
Enmiendas orgánicas	1
Especies	1
Esquejes	1
Fertilización orgánica	2
Fisiopatía	1
Fruticultura	1
Fúlvo ácidos	1
Germinación	1

Glossoscolex	1
Hortalizas	1
Humedad	1
Humedales artificiales	1
Humus de lombriz	3
Índices de germinación	1
Inhibidores de la PCR	1
Lactuca canadensis L	1
Lechuga botavia	1
Lodo	1
Lombriabono	1
Lombrices de tierra	2
Lombricompostaje	2
Lombricompuesto	3
Lombricompuestos	3
Lombricultura	2
Lombriz de tierra	2
Lombriz roja	1
Lulo	1
Manejo alternativo	1
Maracujá-do-mato	1
Materia orgánica	2
Mecanismos de desarrollo limpio	1
Microalga	1
Microorganismos	1
Microrganismos	1
Microrganismos oxigénicos	1
Murcílago	1
N-P-K	1
Nutrientes	1
Plántulas	1
Producción	1
Productividad	2
Promotores de Crecimiento	1

Propagación	2
Pulpa de café	2
Remoción de patógeno	1
Residuos de rosa	1
Residuos sólidos orgánicos	2
Residuos vegetales	1
Rosas	1
Rotavirus	1
Sales	1
Salida de latencia	1
Semillas de maíz	1
Sílice	1
Sinergismo	1
Solanum hirtum	1
Solanum quitoense	1
Subproductos de café	1
Suelo	1
Sustrato	2
Sustrato orgánico	1
Sustratos	1
Taxonomía	1
Tomate	2
Tratamiento de aguas residuales	1
Urea	1
Usos del suelo	1
Valor nutricional	1
Vermicompostaje	1
Vermicomposteo	2
Vermicompuesto	1
Vermicultura	1
Total general	145

Fuente. Autor

ANEXO H. Levantamiento de datos esenciales para el análisis de la investigación.

Es importante conocer como los investigadores han obtenido el residuo, es decir si procede de actividades industriales, domesticas o institucionales con el fin de identificar su potencial para la recolección, su posible cantidad y realizar rutas de recolección; por otro lado, el tipo de especie de lombriz en conjunto con los microorganismos permite conocer cuáles son las que se han usado de manera general y con ello avanzar en investigaciones ya sea profundizando en las especies ya utilizadas o proponiendo nuevas.

Tabla 8.

Información básica para extraer en los artículos de investigación.

#	Artículo	Suelo	¿Informa sobre el tipo de suelo?	¿Informa sobre la especie de lombriz usada?	Especie de lombriz	¿Informa sobre microorganismos?	Estado del alimento suministrado a la lombriz	¿Se informa sobre el origen de los residuos?
1	ADAPTACIÓN DE LA LUMBRICULTURA EN LA ZONA CAFETERA	---	No	Si	<i>Eisenia fetida</i> y <i>Glossos sp</i>	No	Fresco	Si
2	RENDIMIENTOS DE SUSTANCIAS HÚMICAS DE OCHO LOMBRICOMPUESTOS	---	No	No	---	No	---	No
3	USO DE LOMBRICOMPUESTOS EN LA PRODUCCIÓN COMERCIAL DEL Crisantemo <i>Chrysanthemum morifolium</i> RAMAT	---	No	No	---	Si	Precompos tado	Si
4	AVANCES DEL CONOCIMIENTO BIOEDAFOLÓGICO EN COLOMBIA	<i>Petroferraic Acroperox</i>	Si	Si	<i>Eisenis sp</i>	No	---	No

5	CARACTERIZACIÓN DE LOS ÁCIDOS HÚMICOS EXTRAÍDOS DE CUATRO LOMBRICOMPUESTOS Y SU EFECTO SOBRE LA GERMINACIÓN DE SEMILLAS DE MAÍZ <i>Zea mays</i> L. ALGODÓN <i>Gossypium hirsutum</i> Y TOMATE <i>Lycopersion esculentum</i> L	---	No	No	--	No	---	No
6	EL MODELO V.S.P. EN LECHUGA BATAVIA <i>Lactuca sativa var capitata</i> L.y RESPUESTA DE DOS VARIETADES A LAS APLICACIONES DE COMPUESTOS ORGÁNICOS	<i>Aeric Trophaeopt</i>	Si	No	---	No	---	No
7	PERFECCIONAMIENTO DEL SUSTRATO EN EL MODELO V.S.P. PARA LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE TOMATE <i>Lycopersicon esculentum</i> Mill	---	No	No	---	No	---	No
8	EVALUACIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS Y NUTRICIONALES EN HUMUS DE LOMBRIZ Y COMPOSTS DERIVADOS DE DIFERENTES SUSTRATOS	---	No	No	---	No	---	No
9	CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN ORGÁNICA DE HUMUS DE LOMBRIZ Y COMPOSTS PRODUCIDOS A PARTIR DE DIFERENTES SUSTRATOS	---	No	No	---	No	---	No
10	CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA DE LOMBRICES NATIVAS (<i>Pheretima sp.</i> , <i>Eudovoscolex sp.</i> y <i>Periscollex sp.</i>) BAJO DIFERENTES USOS DEL SUELO (Guaviare, Colombia)	<i>Typic Dystropept</i>	Si	Si	<i>Eudovoscolex sp</i>	No	Fresca y precompostada	Si
11	EFFECTO DE LOS PROCESOS DE COMPOSTACIÓN y LOMBRICULTURA DE RESIDUOS DE	---	No	Si	<i>Eisenia foetida</i>	Si	Precompostado	Si

	CLAVEL SOBRE LA POBLACIÓN DE <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>dianthi</i> .							
12	CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA Y FÍSICO-QUÍMICA DE LA PULPA DE CAFÉ SOLA Y CON MUCÍLAGO, EN PROCESO DE LOMBRICOMPOSTAJE	---	No	Si	<i>Eisenia foetida</i>	Si	Fresco y precompostado	Si
13	PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DE LOS RESIDUOS VEGETALES DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER MEDIANTE COMPOSTAJE.	---	No	No	<i>Roja californiana</i>	Si	Precompostado	Si
14	PRESENCIA DE ROTAVIRUS DURANTE UN PROCESO DE COMPOSTAJE. ABONOS COMO VECTORES DE CONTAMINACIÓN VIRAL	---	No	No	---	Si	---	Si
15	PRODUCCIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS CON LA UTILIZACIÓN DE ELODEA (<i>Egeria densa</i>) PRESENTE EN LA LAGUNA DE FÚQUENE	<i>Andisol</i>	Si	Si	<i>Roja californiana</i>	No	Precompostado	No
16	REMOCIÓN MEDIANTE VERMICOMPOSTEO DE LOS COLIFORMES FECALES PRESENTES EN LODOS BIOLÓGICOS	---	No	Si	<i>Eisenia spp</i>	Si	Precompostado	Si
17	ESTUDIO DE LA PROPAGACIÓN SEXUAL DEL ARBOLOCO <i>Montanoa quadrangularis</i> SCHULTZ BIPONTIANUS ASTERACEAE	---	No	No	---	No	---	No
18	RESPUESTA DEL LULO LA SELVA (<i>Solanum quitoense</i> x <i>Solanum hirtum</i>) A LA APLICACIÓN DE	---	No	No	---	Si	Compostada	No

	FERMENTADOS AERÓBICOS TIPO BOCASHI Y FERTILIZANTE QUÍMICO							
19	ANÁLISIS QUÍMICO Y BIOLÓGICO DE BIOSÓLIDOS SOMETIDOS A SISTEMA DE LOMBRICULTURA COMO POTENCIAL ABONO ORGÁNICO	---	No	Si	<i>Eisenia foetida</i>	Si	Digestada	Si
20	EFFECTO DEL MEDIO DE CULTIVO SOBRE EL CRECIMIENTO Y EL CONTENIDO PROTEICO DE <i>chlorella vulgaris</i>	---	No	No	---	Si	Humificada	No
21	EVALUACIÓN DEL FERTILIZANTE ORGÁNICO LÍQUIDO DE LOMBRIZ SAN RAFAEL EN EL CULTIVO DE <i>Rosa cv. Classy</i>	---	No	Si	<i>Eisenia foetida</i>	No	Precompos tado	Si
22	INTERACCIÓN DE MICROORGANISMOS BENÉFICOS EN PLANTAS: Micorrizas, Trichoderma spp. Y Pseudomonas spp. UNA REVISIÓN	---	No	No	---	Si	---	
23	MODELO INTEGRADO DE UN SISTEMA DE BIODEPURACIÓN EN ORIGEN DE AGUAS RESIDUALES DOMICILIARIAS. UNA PROPUESTA PARA COMUNIDADES PERIURBANAS DEL CENTRO SUR DE CHILE	---	No	Si	<i>Eisenia foetida</i>	Si	Fresca	Si
24	EFFECTOS DEL COMPOST Y LOMBRIABONO SOBRE EL CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DE <i>BERENJENA Solanum melongena L</i>	---	No	No	---	No	Humificada	No
25	FERTILIZACIÓN ORGÁNICA MITIGANTE DE LOS EFFECTOS DE LA SALINIDAD DEL AGUA EN PLÁNTULAS DE <i>Passiflora cincinnata</i>	---	No	No	---	No	---	No

26	USO DE <i>EISENIA FOETIDA</i> (OLIGOQUETOS: <i>LUMBRICIDAE</i>) PARA LA PRODUCCIÓN DE BIOABONO, BOGOTÁ – COLOMBIA	---	No	Si	<i>Eisenia foetida</i>	No	Fresca	Si
27	CALIDAD DE PLÁNTULAS DE CAJUEIRO ENANO COMO RESULTADO DE MÉTODOS DE ROMPIMIENTO DE DORMANCIA, VOLUMEN DE MATERA Y APLICACIÓN DE BIOFERTILIZANTE BOVINO	<i>Eutrophic Flubic Neosol</i>	Si	No	---	No	---	No
28	EFECTOS DE NIVELES DE HUMUS Y SOMBREADO EN LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS de <i>Lactuca canadensis L</i>	---	Si	No	---	No	---	No
29	REFINACIÓN DE LA FRACCIÓN SÓLIDA DE DIGESTATOS DE EXCRETAS DE OVEJAS PROVENIENTE DE UN DIGESTOR ANAEROBIO	---	No	Si	<i>Eisenia fetida y Eisenia andrei</i>	No	Digestada	Si
30	VERMICOMPOSTAJE: UNA ALTERNATIVA DE TRANSFORMACIÓN DEL CONTENIDO RUMINAL GENERADO EN MATADEROS	---	No	No	---	Si	Precompos tado	Si

--- Hace relación a que no se reportan datos

Fuente. Autor

ANEXO I. Métodos de control durante la producción de bioabono humus de lombriz

Llevar un control durante las etapas de producción permite obtener un humus destacado por su calidad en contenido físico, químico y microbiológico, y depende de tareas simples de realizar por cualquier operario capacitado.

Tabla 9.

Consideración de tareas a desarrollar durante la producción del bioabono humus de lombriz.

Método	Función	Autor
10 gotas	Medir de forma casera la humedad presente en el lombricopost	(Rivera & Yate, 2018)
Temperatura con termómetro de suelos	Medir la etapa de elaboración en que se encuentra el precompostaje	(Rivera & Yate, 2018)
		(Bohórquez, et al, 2020)
Cultivo microbiológico de Unidades formadoras de colonias	Identificar la eliminación de patógenos y presencia de otros microorganismos	(Pardo, Fandiño, & Arbeláez, 1998)
	Identificar presencia de microorganismos en alimento fresco, precompostado y final	(Blandón, Dávila & Rodríguez, 1999)
Control de humedad	Riego cada 2-3 días en camas de lombricompostaje	(Martínez & Gómez, 1995)
Servilleta mojada	Se realiza antes, durante y después de la siembra de lombrices en las camas de cultivo para vaciar el sistema digestivo de las lombrices y llevar un control del crecimiento en la biomasa.	(Hannah, et al, <u>2014</u>).

Fuente. Autor.

ANEXO J. Materiales útiles para el diseño y montaje de un sistema de producción de humus de lombriz.

Conocer los materiales que se han usado permite obtener un listado de opciones que se pueden elegir según los recursos disponibles para realizar un montaje experimental.

Tabla 10.

Materiales usados en los diseños experimentales

Material	Función	Autor
Cajones de madera de 2 m³	Contener y preparar la mezcla de los sustratos para fabricar el abono. Este se encuentra retirado a 30 cm del suelo	(Caro, Romero, & Lora, 2009)
Cajones de 1m² con 40 cm de profundidad + lona verde en el piso del cajón	Camas de procesamiento de lombricompostaje, las medidas tiene como objetivo permitir la buena circulación de aire y ofrecer un buen espacio para el desarrollo de la actividad de la lombriz; la lona es para evitar fugas de la lombriz.	
Plástico negro	Propiciar condiciones de oscuridad dado a la fotosensibilidad de la lombriz	
Tanque de polietileno de 50 galones	Unidad de producción de lombricompostaje	(Rivera & Yate, 2018)
Invernaderos con cubierta plástica	En este se preparan las pilas de precompostaje con dimensiones de 1m * 1m * 1,5m de alto	(Pardo, Fandiño, & Arbeláez, 1998)
Cilindros de policloruro de vinilo	Se utilizan para depositar 1 kg de lodo de PTAR y luego sobre este colocar el pie de cría de lombrices	(Droppelmann, Gaete, & Miranda, 2009)
Ladrillos + Base en cemento	Con estos se construye las camas de lombricultura con unas dimensiones de 1.3m de longitud, 1 m de ancho y 0.4 m de alto	(Blandón, Dávila, & Rodríguez, 1999)
Película plástica	Su función es cubrir pilas de 10m ³ , durante 120 días, para evitar contaminación y deshidratación	(Bohórquez <i>et al</i> , 2020)
Contenedor plástico de 19L	Camas de lombricompostaje con lodos de digestión de heces ovinas con residuos vegetales, con 10 cm de espesor con 17 individuos	(Sosa & Laines, 2020)
Cajas de madera de 1m * 0.5m * 0.3m	Camas e lombricompostaje con una densidad de siembra de 19200 individuos equivalentes a 20 kg de	(Chávez & Rodríguez, 2011)

Tanque de agua de 1000L reforzado con jaula de acero galvanizado, fabricado en polietileno de alta densidad, con válvula de drenaje	Cama de lombricompostaje con dimensiones de 0.9 de ancho *1.1 m de largo y 1 m de alto	(Chávez & Rodríguez, 2011)
Grava	Se utiliza como lecho filtrante de lixivios de 15 cm de espesor	(Chávez & Rodríguez, 2011)
Cubierta plástica	Proteger a las lombrices de las condiciones ambientales como la luz	(Chávez & Rodríguez, 2011)
Manguera de aspersión	Se utiliza para regar sobre las camas de lombricompostaje y lechos filtrantes un caudal de agua residual que se quiera tratar	(Parra & Chiang, 2013)
Aserrín	Utilizado como lecho filtrante en camas de lombricompostaje	(Parra & Chiang, 2013)
Base de rocas redondas	Funciona como lecho filtrante, con diámetros de grava diferentes	(Parra & Chiang, 2013)

Fuente. Autor

ANEXO K. Equipos requeridos para las etapas de producción de humus de lombriz.

Conocer los Equipos que se han usado permite obtener un listado de opciones que se pueden elegir según los recursos disponibles para realizar un montaje experimental.

Tabla 11.

Equipos e instrumentos requeridos para llevar un control durante la producción.

Parámetro	Equipo e instrumento	Autor
Temperatura	Termómetro digital de punzón para alimentos con rango [-50°C- +300°C]	(Rivera & Yate, 2018)
	Multiparámetro marca Hanna Instruments 211	(Rivera & Yate, 2018)
	Termómetro de suelos, punzón de 25 y 50 cm de largo.	(Rivera & Yate, 2018)
	Termómetro Halthen	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)
pH	Tiras indicadoras marca Macherey Nangel	(Rivera & Yate, 2018)
	potenciómetro HANNA Instruments	(Rivera & Yate, 2018)
	Potenciómetro	(Blandón, Dávila, & Rodríguez, 1999)
% Humedad	Horno marca Furnace 48000 (Barnstead International, Estados Unidos)	(Rivera & Yate, 2018)
	Estufa	(Blandón, Dávila, & Rodríguez, 1999)
Conductividad eléctrica	Multiparámetro marca Hanna Instruments 211	(Rivera & Yate, 2018)
Tamaño de partícula de los residuos orgánicos a precompostar	Picadora Industrial	(Pardo, Fandiño, & Arbeláez, 1998)
Unidades Formadoras de Colonias.	Frascos de vidrio de 125 mL para preparación de alícuotas de 50 mL a cultivar	(Pardo, Fandiño, & Arbeláez, 1998)
	Agitador rotatorio para preparación de caldos nutritivos inoculados.	(Pardo, Fandiño, & Arbeláez, 1998)
Celulasa y fosfatasa	espectrofotómetro GENESYS TM 20	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)

N, F y K	Equipo Multiparámetro HANNA HI9828	(Sosa & Laines, 2020)
C, H y N	Microanalizador elemental Leco CHN	(Carrillo, Gómez, & Miranda, 1996)
Nitrógeno	Analizador automático Leco CHN-600	(Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1998)
Desinfección de caudales de agua	Equipo de radiación ultravioleta	(Parra & Chiang, 2013)
Control de caudales de agua, para tratamiento de aguas servidas	Bomba eléctrica	(Parra & Chiang, 2013)

Fuente. Autor

ANEXO L. Parámetros de medición con su respectiva frecuencia de medición.

Diseñar un protocolo de seguimiento durante las etapas de producción permite minimizar el riesgo de daños en las estructuras de los módulos de producción y pérdidas en la calidad del bioabono humus de lombriz que se ha proyectado a obtener; adicionalmente este tipo de información permite diseñar planes de contingencia ante cualquier eventualidad, requiriendo para ello de un personal capacitado y calificado para desarrollar este monitoreo.

Tabla 12.

Frecuencia en la medición de parámetros

Parámetro	Frecuencia	Autor	Observaciones
pH	Al inicio y cada 5 día	(Caro, Romero, & Lora, 2009)	Para la preparación de una pila de compostaje se toman 65 días; para el proceso de lombricompostaje se toman 40 días más para un total de 105 días.
	Al inicio, a los 2 meses y al final del proceso	(Blandón, Dávila & Rodríguez, 1999)	Se analiza para alimento fresco (al inicio), precompostado (a los 2 meses) y en el humus de lombriz. Se analiza en proporción 1;4
Humedad	Al inicio y cada 5 días	(Caro, Romero, & Lora, 2009)	Para el proceso de compostaje de 65 días la humedad se mantiene en un 80% y para el lombricompostaje de 40 días se mantiene en el 60%
	0, 2, 15 y 20 días	(Droppelmann, Gaete, & Miranda, 2009)	La humedad debe mantenerse en un 70%
	Al inicio, a los 2 meses y al final del proceso	(Blandón, Dávila & Rodríguez, 1999)	Se analiza para alimento fresco (al inicio), precompostado (a los 2 meses) y en el humus de lombriz.
	Semanalmente durante 9 semanas	(Sosa & Laines, 2020)	Se determina por pérdida de peso en muestra de 10g a 102°C
Volteos	5 a 8 vueltas en total	(Caro, Romero, & Lora, 2009)	Para dar aireación durante los 65 días de producción de precompostaje.
	2 meses	(Rivera & Yate, 2018)	Para dar revisión al lombricultivo e identificar su estado de maduración.

	Cada mes	(Pardo, Fandiño, & Arbeláez, 1998)	Para verificar que la descomposición de los residuos se está dando de forma aerobia.
Temperatura	Cada 5 días	(Caro, Romero, & Lora, 2009)	En la etapa de precompostaje indica la etapa de maduración en que se encuentra
	Cada semana	(Caro, Romero, & Lora, 2009)	En las camas de lombriz se maneja un rango entre los 20 °C durante un periodo de 2 a 4 meses
	1 vez por semana durante 5 meses	(Pardo, Fandiño, & Arbeláez, 1998)	Durante la etapa de precompostaje, temperatura tomada a 20 y 50 cm de profundidad de la pila.
	Cada 15 días durante 105 días	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)	Se realizan 7 mediciones en total a una profundidad entre 5 y 10 cm
Acondicionar	Antes del inicio del módulo de producción de lombricompostaje	(Droppelmann, Gaete, & Miranda, 2009)	La unidad de producción de pie de cría de lombrices es sometida a procesos de adaptación a un nuevo sustrato, manteniéndolas en este durante un mes, antes de llevarse a las unidades de producción de humus de lombriz.
Pre aireación	5 días – una sola vez	(Droppelmann, Gaete, & Miranda, 2009)	Se realiza para residuos sólidos del tipo Lodo residual de PTAR, con el fin de sembrar un pie de cría de lombriz de forma directa sobre el residuo.
Unidades Formadoras de Colonias	0, 2, 5, 13 y 20 días	(Droppelmann, Gaete, & Miranda, 2009)	Se utiliza el medio de cultivo A1 para identificar coliformes fecales

Fuente. Autor

ANEXO M. Pasos para realizar la recolección del humus de lombriz.

Es necesario llevar un orden en las actividades de recolección para así lograr sacar el mayor beneficio del producto fabricado, el tiempo de recolección generalmente toma cerca de 12 días en los que se incluyen tres trampeos para retirar el pie de cría de lombrices y el tiempo de secado del humus por medio de la insolación

Tabla 13.

Orden de actividades para realizar la recolección del humus de lombriz.

Actividad	Función	Autor
Estado de maduración	Realizar una inspección visual del bioabono obtenido en las camas observando condiciones como color, olor y homogeneidad del sustrato	(Rivera & Yate, 2018)
Retiro de pie de cría de lombriz	Se utilizan lonas con comida fresca para capturar las lombrices luego de haber dejado 5 días sin riego y sin alimentación. Repitiendo el proceso durante 3 días	(Caro, Romero, & Lora, 2009)
	Se usan lonas con comida fresca putrescibles que permita retirar las lombrices del bioabono	(Rivera & Yate, 2018)
Control de humedad	Disminuir el % de humedad hasta un 35%, extendiendo el bioabono y volteándolo mientras seca.	(Caro, Romero, & Lora, 2009)
Tamaño de partícula	Se muele el bioabono y se tamiza	(Caro, Romero, & Lora, 2009)
	Se retiran las partes sólidas más grandes y se tamiza el bioabono para su posterior embalaje y caracterización físico-química	
Empacado	Se llenan bultos con bioabono	(Caro, Romero, & Lora, 2009)

Fuente. Autor

ANEXO N. Análisis de microorganismos en normatividad de Chile

La normatividad exigida para realizar un control de calidad de las condiciones físicas, químicas y microbiológicas de un abono orgánico varía en cada país, presentando el caso de Chile a continuación.

Tabla 14.

Tipos de análisis microbiológicos exigidos en Chile para bioabonos.

Tipos de microorganismos	Tolerancia
<i>Coliformes fecales</i>	< 1000 NMP por gramo de compost en base seca
<i>Salmonela s.p.</i>	Ausencia
<i>Huevos de helmintos Ova helmintica</i>	Ausencia
<i>Virus MS 2</i>	Densidad máxima < 1 UFP por 4 gr de compost en base seca
<i>Listeria monocytogenes</i>	Ausencia
<i>Clostridium perfringes</i>	10 ³ por gramo de compost
NMP= Número más probable UFP=Unidades formadoras de placas	

Fuente. Tomado de (*Instituto Nacional de Normalización, 2003*)

ANEXO O. Métodos para la caracterización del bioabono humus de lombriz.

Conocer los distintos tipos de métodos permite seleccionar el más adecuado según los intereses de contenidos a reportar, por ejemplo para calcular la disponibilidad del fósforo en el suelo para las plantas se usa el método Bray I y para caracterizar el fósforo inorgánico se utiliza el método Bray II

Tabla 15.

Métodos para caracterizar física, química y biológicamente el bioabono humus de lombriz.

Método	Autor	Observaciones
NTC – 370	(Caro, Romero & Lora, 2009)	Nitrógeno total
SM4500NorgC SM4500NH3-C	(Rivera & Yate, 2018)	
Técnica semimicro Kjeldahl	(Blandón, Dávila, & Rodríguez, 1999)	
Kjeldahl	(Chamorro, 1996)	
Micro-Kjeldahl	(Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1998)	Nitrógeno
Micro-Kjeldahl + Absorción atómica	(Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1997)	
NTC 5167	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)	% Nitrógeno orgánico total
NTC – 234	(Caro, Romero & Lora, 2009)	Fósforo
Colorimétrico (fosfomolibdovanadato de amonio)	(Blandón, Dávila, & Rodríguez, 1999)	
Bray II + Colorimetría + Absorción atómica	(Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1997)	
Fosfato de p-nitofenilo y espectrofotometría a 400 nm	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)	Fosfatasa
Bray II	(Chamorro, 1996)	Fósforo disponible
	(Martínez & Gómez, 1995)	Fósforo asimilable
NTC – 202	(Caro, Romero & Lora, 2009)	Potasio
Espectrofotometría de absorción atómica	(Blandón, Dávila, & Rodríguez, 1999)	
NTC 5167	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)	
Extracción con acetato de amonio, 1 N a pH 7 titulado con absorción atómica	(Chamorro, 1996)	

Acetato de amonio 1N pH7 1/20 + espectrofotometría de emisión atómica	(Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1997)	
NTC – 1369	(Caro, Romero & Lora, 2009)	Calcio y magnesio
Espectrofotometría e absorción atómica	(Blandón, Dávila, & Rodríguez, 1999)	
NTC 5167	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)	
NTC 567	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)	Manganeso, zinc y sodio
Solución extractora Mehlich + Absorción atómica	(Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1997)	Manganeso
Extracción con acetato de amonio, 1 N a pH 7 titulado con EDTA	(Chamorro, 1996)	Calcio y Manganeso
Acetato de amonio 1N pH7 1/20 + Absorción atómica	(Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1997)	Calcio
Acetato de amonio 1N pH7 1/20 + Absorción atómica	(Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1997)	Magnesio
Extracción con acetato de amonio, 1 N a pH 7 titulado con absorción atómica	(Chamorro, 1996)	Sodio
Acetato de amonio 1N pH7 1/20 + espectrofotometría	(Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1997)	
Olsen modificado	(Chamorro, 1996)	Cobre
Solución extractora Mehlich + Absorción atómica	(Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1997)	
Doble ácido	(Chamorro, 1996)	Zinc
Solución extractora Menhlich + Absorción atómica	(Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1997)	
Monofosfato de calcio	(Chamorro, 1996)	Boro
Fosfato monoácido 0,008M + Colorimetría	(Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1997)	
Espectrofotometría de absorción atómica	(Chamorro, 1996)	Molibdeno
Diferencia a 100 de la suma de C, N e H	(Carrillo, Gómez, & Miranda, 1996)	Oxígeno
Fosfato monoácido 0.008 M + Turbinaria	(Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1997)	Azufre
Solución extractora de Mehlich + Absorción atómica	(Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1997)	Hierro
Acetato de calcio	(Carrillo, Gómez, & Miranda, 1996)	Grupos carboxilos

Diferencia entre acidez total y los grupos carboxilo	(Carrillo, Gómez, & Miranda, 1996)	Grupos OH-Fenólicos
Oxidación adaptada por Schnitzer y Khan	(Carrillo, Gómez, & Miranda, 1996)	Grupos carbonilos
Gravimetría del residuo insoluble + Absorción atómica	(Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1997)	Sílice
NTC – 5167	(Caro, Romero & Lora, 2009)	Carbono orgánico oxidable total
	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)	% de carbono orgánico
Walkley-Black	(Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1998)	
Walkley-Black	(Chamorro, 1996)	Carbono orgánico
Walkley-Black	(Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1998)	Carbono no extraído
Fórmula 100% ceniza	(Blandón, Dávila, & Rodríguez, 1999)	Materia orgánica
Oxidación	(Martínez & Gómez, 1995)	
Recuento de placa	(Chávez & Rodríguez, 2011)	Conteo de Hongos y bacterias
	(Chávez & Rodríguez, 2011)	Microrganismos fijadores de Nitrógeno
LANIA - agrobiológicos	(Caro, Romero & Lora, 2009)	Coliformes totales
Número más probable	(Chávez & Rodríguez, 2011)	
		(Chávez & Rodríguez, 2011)
NTC 5167	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)	<i>Pseudomonas spp</i>
NTC 5167	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)	Enterobacteria
NTC 5167	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)	<i>Salmonela sp.</i>
NTC 5167	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)	Mesófilos
NTC 5167	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)	Termófilos
NTC 5167	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)	Mohos
NTC 5167	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)	Levaduras
NTC 5167	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)	Nematodos
NTC 5167	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)	Protozoos
Población bacteriana	(Martínez & Gómez, 1995)	Colonias bacterianas
ASTM D4972-01 (2007)	(Rivera & Yate, 2018)	
NTC 5167	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)	
Potenciómetro en agua 1:1	(Chamorro, 1996)	
	(Martínez & Gómez, 1995)	pH

Potenciómetro en agua 1:5	(Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1997)	
Hidróxido de Bario	(Carrillo, Gómez, & Miranda, 1996)	Acidez total
STMD 2216-10.	(Rivera & Yate, 2018)	Control de humedad
NTC 5167	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)	Contenido de humedad
ASTM D-2974	(Sosa & Laines, 2020)	
NTC 5167	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)	Capacidad de retención de agua (WHC)
Excavación	(Rivera & Yate, 2018)	Densidad aparente
Cilindro graduado	(Martínez & Gómez, 1995)	
NTC 5167	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)	Densidad
NOM-021-RECNAT-2000	(Rivera & Yate, 2018)	Conductividad eléctrica
NTC 5167	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)	
NTC 5167	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)	Relación CEC/OC
NTC 5167	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)	Capacidad de intercambio catiónico
Extracción con acetato de amonio 1 N pH 7,0	(Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1997)	
Harada	(Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1997)	
Diagrama triangular de suelos	(Rivera & Yate, 2018)	Textura por sedimentación
Pipeta	(Chamorro, 1996)	Textura
NTC 5167	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)	Relación Carbono/Nitrógeno
Calcinación a 700 °C	(Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1997)	Cenizas
Carboximetilcelulosa y espectrometría a 540 nm	(Bohórquez, <i>et al</i> , 2020)	Actividad Celulasa
Propuesto por el autor	(Gómez, Torrente, & Miranda, 1995)	Ácidos húmicos y fulvoácidos
CHONS	(Carrillo, Gómez, & Miranda, 1996)	Ácidos húmicos
IHSS modificado por Torrente		
Gravimetría	(Melgarejo, Ballesteros, & Bendeck, 1997)	Extracto hidrosoluble

Fuente. Autor

ANEXO P. Diferentes tipos de medios de cultivos para microorganismos del humus de lombriz

Al momento de necesitar realizar un aislamiento y caracterización de un microorganismo en específico, es muy importante definir el medio de cultivo y caldo de cultivo que favorezca su desarrollo, crecimiento y reproducción

Tabla 16.

Medios de cultivo para microorganismo presentes en el bioabono humus de lombriz

Autor	Medio de cultivo	Microorganismo caracterizado
(Pardo, Fandiño, & Arbeláez, 1998)	Medio selectivo Komada	<i>Fusarium oxysporum</i>
	Caldo nutritivo Caseina Hidrolizada	<i>Fusarium oxysporum</i>
(Droppelmann, Gaete, & Miranda, 2009)	Caldo A1	Coliformes fecales, especialmente <i>Escherichia coli</i>
(Instituto Nacional de Normalización, 2003)	Caldo EC	
(Blandón, Dávila & Rodríguez, 1999)	Caldo brilla	
(Blandón, Dávila & Rodríguez, 1999)	Medio líquido Nitrosomona-nitrobacter	Nitrificantes
(Blandón, Dávila & Rodríguez, 1999)	Agar plate count	Aerobios mesófilos
(Blandón, Dávila & Rodríguez, 1999)	Agar sabouraud	Hongos y levaduras
(Blandón, Dávila & Rodríguez, 1999)	Agar tripticasa de soya o agar nutritivo	Actinomicetos
(Martínez & Gómez, 1995)	Extracto carne-peptonas-agar nutritivo y agua destilada	Bacterias

Fuente. Autor

ANEXO Q. Fuentes orgánicas usadas en los experimentos

Conocer las fuentes orgánicas permite buscar otras investigaciones donde se hayan realizado caracterizaciones de estas fuentes orgánicas, las cuales permitirán conocer los rangos esperados para los macronutrientes contenidos en los residuos.

Tabla 17.

Listado de residuos sólidos vegetales usados en los diseños experimentales

Listado de residuos sólidos vegetales usados en los diseños experimentales	Contenido inicial de los residuos orgánicos Reportado en las investigaciones consultadas			Autor
	N	P	K	
<i>Egeria densa</i>	3,9%	2,28 %	1.5%	(Caro, Romero & Lora , 2009)
Cal dolomita				
Levadura				
Melaza				
Gallinaza	4,60%	2,10 %	1,50 %	
Yuca				(Rivera & Yate, 2018)
Papa <i>Solanum tuberosum</i>				
Alverja <i>Pisum sativum</i>				
Zanahoria <i>Daucus carota</i>				

Tomate <i>Solanum lycopersicum</i>				
Espinaca <i>Spinacia oleracea</i>				
tomate de árbol <i>Solanum betaceum</i>				
Papaya <i>Ciraca papaya</i>				
Guayaba <i>Psidium guajava</i>				
Banano <i>Musa balbisiana</i>				
Mango <i>Mangifera indica</i>				
Plátano <i>Musa balbisiana</i>				

Plantas de clavel contaminadas y sin contaminación con <i>Fusarium oxysporum</i> sp				(Pardo, Fandiño, & Arbeláez, 1998)
Plantas de rosa				
<i>Brachiaria decumbens</i>				(Fuentes, Chamorro, & León, 1998)
<i>Bactrisg asipaes</i>				
<i>Trema micranta</i>				
<i>Phytolea sp</i>				
<i>Heliconia sp</i>				
<i>Piper sp</i>				
<i>Hueronyma laxiflora</i>				
<i>Cecropia sp</i>				
<i>Ochroma lagopus</i>				
<i>Croton matourensis</i>				
<i>Jacaranda copais</i>				
<i>Dydimopanax sp</i>				
Melastomatáceas				
<i>Albizia falcataria</i>				
<i>Inga sp</i>				

<i>Terminalia amazónica</i>				
<i>Acacia auriculiformis</i>				
<i>Cassia grandis</i>				
<i>Zantoxilum tachuelo</i>				
<i>Theobroma cacao</i>				
<i>Cecrelinga catenaeformis</i>				
Hymeneaceae <i>schomburji</i>				
<i>Pouteria sp</i>				
<i>Mauritia flexuosa</i>				
<i>Pseudolmedia laeviata</i>				
<i>Apeiba tiborbou</i>				
<i>Virola peruviana</i>				
<i>Hymalanthus articulata</i>				
<i>C. arabica</i> en pulpa	1.76	0.13	2.82	
<i>C. arabica</i> en mucílago				
Rumen bovino	2.26			(Bohórquez, et al, 2020)
Estiércol Bovino				Ramírez, Gómez &

Estiércol equino				Flórez , 2011)
Bagazo de caña				
Cereza de café				(Chamorro , 1996)
Lodo de digestión de heces ovinas				(Sosa & Laines, 2020)
Bovinaza				(Gómez, Torrente & Miranda, 1995)
Cachaza				
Pulpa de café				
Pasto (<i>Paspalum notatum</i>)				
Cristantemo (<i>Chrysanthemum morifolium</i>)				(Martínez & Gómez, 1995)
Pompón o Clavel (<i>Dianthus caryophyllus</i>)				
Statice (<i>Limonium sinuatum</i>)				
Kykuyo (<i>Pennisetum clandestinum</i>)				
Estiércol Vacuno				

Lodo residual PTAR	0.25 (mg/K g)			(Chávez & Rodríguez , 2011)
---------------------------	---------------	--	--	-----------------------------

Los espacios vacíos indican que no hubo reporte

Fuente. Autor

ANEXO R. Contenido de macronutrientes reportados en los 30 artículos consultados.

El contenido de nutrientes reportado permite elegir los mejores resultados para un macronutriente en específico que se desee obtener y así replicar las fórmulas que mejor propongan obtener estos valores.

Tabla 18.

Formulaciones preparadas en los diseños experimentales.

Residuos usados	Contenido Reportado en investigación			Autor
	N total (%)	P total (%)	K total (%)	
Formulación 1: (25 Kg de <i>Elodea</i>) + (10 Kg de cal dolomita) + (2.5 Kg de levadura) + (10Kg de gallinaza) + (2.5 kg de melaza)	1.7	2.54	2.88	(Caro, Romero & Lora, 2009)
Formulación 2: (30 Kg de <i>Elodea</i>) + (5Kg de cal dolomita) + (1.5 Kg de levadura) + (9.5 Kg de gallinaza) + (4 Kg de melaza)	1.6	2.96	3.4	
Formulación 3: (35Kg de <i>Elodea</i>) + (7.5 Kg de cal dolomita) + (1 Kg de levadura) + (5 Kg de gallinaza) + (1.5 Kg de melaza)	1.5	2.66	3.06	
Formulación 4: Formulación 1 + Lombriz	1.4	2.29	2.26	
Formulación 5: Formulación 2 + Lombriz	1.51	2.01	2.31	
Formulación 6: Formulación 2 + Lombriz	1.33	2	2.3	
Formulación 7: (60% residuo de Yuca y papa <i>Solanum tuberosum</i>) + (40% alverja <i>Pisum sativum</i>, zanahoria <i>Daucus carota</i>, tomate <i>Solanum lycopersicum</i>, y espinaca <i>Spinacia oleracea</i>)	2.6			(Rivera & Yate, 2018)
Formulación 8: (20% de tomate de árbol <i>Solanum betaceum</i>, papaya <i>Ciraca papaya</i>, guayaba <i>Psidium guajava</i>, banano <i>Musa balbisiana</i>, mango <i>Mangifera indica</i>) + (40% residuos de verdura) + (40% de papa <i>Solanum tuberosum</i>)	2			

Formulación 9: 100% plátano <i>Musa balbisiana</i>	1.8			
Formulación 10: 100% plantas de clavel enfermas con <i>Fusarium oxysporumf sp</i>				(Pardo, Fandiño, & Arbeláez, 1998)
Formulación 11: (50% plantas de clavel enfermas con <i>Fusarium oxysporumf sp</i>) + (50% plantas de clavel sin contaminar)				
Formulación 12: (50% plantas de clavel contaminadas con <i>Fusarium oxysporumf sp</i>) + (50% plantas de rosas)				
Formulación 12: 100% plantas de rosas				
Formulación 13: (50% plantas de clavel sanas) + (50% de plantas de rosa sanas)				
Formulación 14: <i>Brachiaria decumbens</i> de 15 años sin pastoreo en los últimos 5 años				
Formulación 15: <i>Brachiaria decumbens</i> de 20 años con pastoreo esporádico y quemas anuales				
Formulación 16: Banco de germoplasma de chontaduro (<i>Bactris gasipaes</i>) de 1984 con kudzú sembrado en 1987				
Formulación 17: Rastrojo bajo de 5 años con Surrumba (<i>Trema micranta</i>), Guaba (<i>Phytolaea sp</i>), Platanillo (<i>Heliconia sp</i>), Cordoncillo (<i>Piper sp</i>) y Chaparro (<i>Hueronyma laxiflora</i>)				
Formulación 18: Rastrojo alto con asociaciones casi puras de Guarumo (<i>Cecropia sp</i>) y de balso (<i>Ochromalagopus</i>) y asociaciones de draguito (<i>Croton matourensis</i>), Pavito (<i>Jacaranda copais</i>), Tortolito (<i>Dydimopanax sp</i>) y algunas melastomatáceas				
Formulación 19: <i>Brachiaria decumbens</i> sembrado en 1983 en asocio con Carbonero (<i>Albizia falcataria</i>),				

Guamo (<i>Inga sp.</i>), Granadillo (<i>Terminalia amazónica</i>), Acacia (<i>Acacia auriculiformis</i>), Cañafístula (<i>Cassia grandis</i>) y Tachuelo (<i>Zantoxilum tachuela</i>)				
Formulación 20: Siete híbridos de <i>Theobroma cacao</i> sembrados en 1983				
Formulación 21: Bosque con dosel superior de Achapo (<i>Cecrelinga catenaeformis</i>), Algarrobo (<i>Hymeneaceae schomburgui</i>), Caimo (<i>Pouteria sp</i>), Cañangucha (<i>Mauritia flexuosa</i>) y dosel inferior de Botaga (<i>Pseudolmedia laeviata</i>), Carano (<i>Apeiba tiborbou</i>), Virola (<i>Virola peruviana</i>) y Platanote (<i>Hymalanthus articulata</i>) entre otros				
Formulación 22: Lodo de PTAR + pasto				(Droppelmann, Gaete, & Miranda, 2009)
Formulación 23: Lodo de PTAR + pasto + viruta				
Formulación 24. Pulpa de café (<i>C. arabica</i>) + musilago de (<i>C. arabica</i>)	4.14	0.31	5.5	(Blandón, Dávila, & Rodríguez, 1999)
Formulación 25. Pulpa de café (<i>C. arabica</i>)	3.72	0.44	9.64	
Formulación 26. Rumen bovino 5.94 m ³	1.97	1.44	0.4438	(Bohórquez, et al, 2020)
Formulación 27. Rumen bovino 23.01 m ³	2.22	1.52	0,557	
Formulación 28. Rumen bovino 16.74 m ³	1.88	1.59	0.5684	
Formulación 29. Estiércol ovino + Estiércol equino + Bagazo de caña	6	3.5	10	(Ramírez, Gómez, & Flórez, 2011)
Formulación 30. Estiércol		(3700 ppm 1350 ppm)*		(Chamorro, 1996)
Formulación 31. Cereza de café + estiércol		(3700 ppm 1350 Ppm)**		
Formulación 32. Estiércol				Rodriguez, Velasquez, Chamorro, & Martinez, 1992)
Formulación 33. Cereza de café	3.8	0.25	0.165	
Formulación 34. Basura biodegradable				
Formulación 35. Estiércol + Cereza de café				

Formulación 36. Estiércol + Basura				
Formulación 37. Estiércol + Cereza + Basura				
Formulación 38. Digestión de heces ovinas	1.81(g/L)	0.86(g/L)	4.01 (g/L)	(Sosa & Laines. 2020)
Formulación 39. Pompón o <i>Chrysanthemum morifolium</i> 100%		426.2 (ppm)	1.36 (meq/100/g)	(Martínez & Gómez, 1995)
Formulación 40. Clavel <i>Dianthus caryophyllus</i> 100%		743.5 (ppm)	2.29 (meq/100/g)	
Formulación 41. Stalice <i>Limonium sinuatum</i> 100%		426.2 (ppm)	2.58 (meq/100/g)	
Formulación 42. Pasto Kykuyo <i>pennisetum clandestium</i> 100%		680.3 (ppm)	8.11 (meq/100/g)	
Formulación 43. Estiércol vacuno 100%		961 (ppm)	4.4 (meq/100/g)	
Formulación 44. 50% Pompón o (<i>Chrysanthemum morifolium</i>) + 50% Estiércol vacuno		857.3 (ppm)	6.16 (meq/100/g)	
Formulación 45. 50% Clavel (<i>Dianthus caryophyllus</i>) + 50% Estiércol vacuno		833.3 (ppm)	4.83 (meq/100/g)	
Formulación 46. 50% Stalice (<i>Limonium sinuatum</i>) + 50% Estiércol vacuno		633.3 (ppm)	5.04 (meq/100/g)	
Formulación 47. 50% Pasto (Kykuyo <i>pennisetum clandestium</i>) + 50% Estiércol vacuno		924.7 (ppm)	4.52 (meq/100/g)	
Formulación 48. Mezcla de formulaciones 39,40,41,42 y 43 con un 20% cada una		720.9 (ppm)	3.69 (meq/100/g)	
Formulación 49. Lodo PTAR 100%	0.5 (mg/Kg)			(Chávez & Rodríguez, 2011)

* *Eisenia fétida* 3700 ppm y *Glossoscolex sp* 1350 ppm, los resultados obtenidos en el nivel de fósforo dependieron de las especies de lombrices usadas.

***Eisenia fétida* y *Glossoscolex sp*

En la **formulación 34** se utiliza el término basura biodegradable, el cual es un término que se usaba para el año de 1992. Cabe aclarar que en la actualidad para el año 2023 ya se utiliza el término de residuos orgánicos aprovechables, por lo cual el término de basura biodegradable hace relación a una mezcla de desechos orgánicos

Los espacios en blanco indican que no hay reporte de datos

Fuente. Autor

ANEXO S. Especies de lombrices reportadas por su uso en las investigaciones.

Cuando una especie animal es aprovechada por el hombre bajo condiciones controladas para obtener un beneficio propio, es más probable que esa especie sea conservada por tener un valor económico, por ello, es importante incentivar el estudio del potencial que tienen las especies de lombrices nativas y endémicas, que en algunos casos dependiendo de su bioma se encuentran vulnerables a impactos negativos del hombre debido a su sensibilidad por las condiciones propias de su ecosistema.

Tabla 19.

Especies de lombrices.

Especie Usadas	Autor	Observaciones
Roja Californiana	(Caro, Romero, & Lora, 2009)	Se utilizan un total de 4 Kg para un espacio de 1 m ² * 0.4 m de profundidad. Cuando el lombricompostaje ya está listo se suspende la adición de agua y alimento por 5 días, luego se utilizan lonas con nuevo alimento durante tres días para retirarlas del abono.
	(Chávez & Rodríguez, 2011)	Presenta como característica el efecto de transportar la materia orgánica y translocar con ello el humus, además de presentar un potencial de biorremediación.
Eisenia foetida	(Rivera & Yate, 2018)	Se destaca su capacidad para reproducirse rápidamente y su fácil crianza.
	(Blandón, Dávila, & Rodríguez, 1999)	Se siembra en una densidad de 5Kg por m ² .
	(Pardo, Fandiño, & Arbeláez, 1998)	Se ha implementado su uso para lombricompostar residuos de flores.
	(Parra & Chiang, 2013)	Trabaja en simbiosis con microorganismos como: <i>Achromobacter sp</i> , <i>Beggiataa sp</i> , <i>Flavobacterium sp</i> , <i>Haerotilus natans</i> y, <i>Pseudomonas sp</i> .
Pheretima sp Eudovoscolex sp	(Fuentes, Chamorro, & León, 1998)	Son especies que se desarrollan bajo condiciones de descomposición de residuos, mostrando selectividad y preferencia por algunos de ellos.

<i>Periscolex sp</i>		Se destaca la capacidad de aumentar su biomasa poblacional bajo condiciones favorables de concentración de fósforo.
<i>Octochaetona philloti</i>		
<i>Barongaster annandalei.</i>		
<i>Eisenia fetida</i>	(Ramírez, Gómez, & Flórez, 2011)	Presenta buenos resultados en cuanto al mejoramiento del suelo, destacando su capacidad para transformar los residuos biodegradables y además posee una resistencia a las condiciones de estrés. Puede trabajar en densidades de 50 mil individuos por m ² , trabajando así en sobrepoblaciones. Posee glándulas calcíferas que neutralizan alimentos con pH ácido.
	(Rodríguez, Velasquez, Chamorro, & Martínez, 1992)	Presentan un buen desarrollo de su actividad alimentaria. Tiene la capacidad de aumentar la capacidad de intercambio catiónico del suelo Aumentan su densidad de población en presencia de formulaciones ricas en bases.
	(Sosa & Laines, 2020)	Aumenta su población en un 816% y en peso de 0.37 a 0.66 cuando se alimentan con café, estiércol, banano y plantas ornamentales.
<i>Glossoscolex</i>	(Rodríguez, Velasquez, Chamorro, & Martínez, 1992)	Tiene un potencial de neutralizar el pH, en comparación con especies como <i>Eisenia fétida</i> .
<i>Eisenia Andrei</i>	(Sosa & Laines, 2020)	Aumenta su peso de 0.23g a 0.49g con alimentación de heces ovinas, aumentado su reproducción en un 244%. Estos dos aspectos ocurren en un periodo de 4 meses.

Fuente. Autor

ANEXO T. Claves taxonómicas para identificación de lombrices de tierra.

Una clasificación taxonómica requiere de equipos de microscopio, lentes de aumentos y cámaras fotográficas de alta resolución, que permiten investigar y atribuir a cada especie de lombriz las ventajas de uso, dependiendo del objetivo de producción de humus de lombriz que se quiere obtener. En procesos más avanzados se recurre a fotografías con microscopio electrónico de barrido (SEM).

Tabla 20.

Claves taxonómicas para la caracterización morfológica de las lombrices.

Nombre del métodos de clasificación	Autor
Biology of eartworms	(Edwards, & Lofty, 1972)
Sobre la familia <i>Glossoscolecidae</i> (Oligochaeta) no Brasil.	(RIGHI, 1971)
Taxa Familie <i>Lumbricidae</i> (<i>Oligochaeta</i>).	(Zigsi, 1981)
(<i>Oligochaeta:Glossoscolecidae, Lumbricidae, Megascolecidae</i>)	(Zigsi, 1988)
<i>Andiodrilus bogotaensis</i>	(Chamorro, 1996)
<i>Andiodrilus paramensis</i>	(Chamorro, 1996)
<i>Andiodrilus sp.</i>	(Chamorro, 1996)
<i>Glossoscolex sp</i>	(Chamorro, 1996)
<i>Glossoscolex giganteus giganteus</i>	(Chamorro, 1996)

<i>Perionyx excavatus</i>	(Chamorro, 1996)
<i>Pontoscolex sp</i>	(Chamorro, 1996)
<i>Allolobophora caliginosa</i>	(Chamorro, 1996)
<i>Bimastus tenuis</i>	(Chamorro, 1996)
<i>Dendrobaena rubida</i>	(Chamorro, 1996)
<i>Eisenia fetida</i>	(Chamorro, 1996)
<i>Eisenia sp</i>	(Chamorro, 1996)
<i>Eiseinia tetraedra</i>	(Chamorro, 1996)
<i>Lumbricus rubellus</i>	(Chamorro, 1996)
<i>Octalasion lacteum</i>	(Chamorro, 1996)
<i>Eudrilus sp</i>	(Chamorro, 1996)
<i>Diplocardia singularis</i>	(Chamorro, 1996)
<i>Microscolex sp</i>	(Chamorro, 1996)
<i>Pheretina sp</i>	(Chamorro, 1996)

Fuente. Autor

ANEXO U. Cálculo del comportamiento poblacional de las lombrices en el lombricultivo.

Como una medida que hace parte de una de las actividades de control del proceso productivo del lombricompostaje, se establece el análisis del comportamiento poblacional de las distintas especies de lombrices, con ello se detecta su afinidad por algún alimento, lo cual favorece la calidad del humus obtenido y el tiempo de su producción.

Tabla 21.

Fórmulas para analizar el estado de la biomasa de lombrices.

Función	Objetivo	Fórmula	Autor
Comportamiento poblacional	Calcular la población presente en cada unidad de producción	$P(t) = P(t_0) * 2^{t/90}$ Donde: P(t) = Población total; P(t₀) = Población inicial t/90 = tiempo empleado en días	(Rivera & Yate, 2018)
Promedio de lombrices en unidad de producción	Definir el promedio de lombrices presentes en cada unidad de producción	$\bar{X} = Kg \text{ humus} * \left(\frac{\# \text{ Lombrices}}{1 \text{ Kg Humus}} \right)$	(Rivera & Yate, 2018)
Rendimiento del lombricultivo	Determinar el rendimiento en base a la cantidad de abono final obtenido	$\% \text{ rendimiento} = \left(\frac{\text{Producto final Kg}}{\text{Materi prima inicial Kg}} \right) * 100$	(Rivera & Yate, 2018)
Densidad de población	Considera los estadios de cápsulas, juvenil y adulto	$\text{Earthworm/bed} = \frac{\text{earthworm} * \text{bed volumen} (m^3)}{\text{Volumen of sample extracted} (m^3)}$	(Bohórquez, et al, 2020)
Producción de biomasa	Cantidad de masa de lombriz en un espacio	$Y_{ij} = U + E_{ij}$ Y_{ij} = Respuesta de la i-ésima unidad experimental a la j-ésima dieta U = Promedio poblacional E_{ij} = Efecto de la j-ésima dieta	(Chamorro, 1996)

Fuente. Autor.

ANEXO V. Efectos positivos de la relación lombriz *Pontoscolex corethrurus* con algunas especies vegetales

Es importante ir comprendiendo y enlistando el beneficio obtenido en la germinación, crecimiento, desarrollo, reproducción y fructificación de las plantas, cuando hay presencia de distintas especies de lombrices con actividad biológica directa en el suelo.

Tabla 22.

*Especies vegetales beneficiadas por la actividad de lombrices: caso *Pontoscolex corethrurus**

Nombre común	Especie vegetal
Roble blanco	<i>Quercus insignis</i>
Mucuna	<i>Mucuna pruriens</i>
Maíz	<i>Zea mays</i>
Vainilla	<i>Vanilla planifolia</i>
Achiote	<i>Bixa Orellana</i>
Guayaba amazónica	<i>Eugenia stipitata</i>
Té negro	<i>Camellia sinensis</i>

Fuente. Autor. Información tomada de (Ortíz-Gamino, Gregorio, & Barois, 2021)

ANEXO W. Bioensayos a partir de diferentes especies.

Conocer los tipos de bioensayos investigados permite seleccionar aquellas especies que resaltan por su capacidad de cultivo relativamente fácil a partir del humus sólido como del humus líquido.

Tabla 23.

Especies vegetales cultivadas usando el bioabono humus de lombriz.

Especies	Autor	Observaciones
Lechuga	(Caro, Romero, & Lora, 2009)	Se cosecha a los 70 días y se evalúa el contenido de N, P y K en las plantas. Se encuentra aumento en el contenido nutricional de las plantas al aplicar una mayor cantidad de humus de lombriz y su posible relación con suelos con problemas de hierro y aluminio, en los cuales no se dio germinación de lechugas por no abonarlas con el humus en comparación con las que si fueron abonadas.
Montanoa quadrangularis Arboloco	(Tamayo, Rodríguez & Escobar, 2010)	Se analizan los resultados para un suelo local, un suelo local + humus de lombriz y turba, en dos etapas; 1) germinación, el embrión tardo 8 días en formarse en suelo con humus con un total del 50.83% de germinación y dos día para suelo con turba con un total de germinación de 83.66%. Para alcanzar el 50% de semillas germinadas se tardó 18.5 días en el suelo de turba y 30 días para suelo con humus. En el caso del suelo local no se alcanzó el 50% de germinación. En cuanto a la etapa de desarrollo de las plantas, se observa que el suelo con humus es el mejor debido a que sus propiedades físico-químicas favorecen el desarrollo de las plantas.
Chlorella vulgaris	(Muñoz, et al, 2012)	Se utiliza el bioabono humus de lombriz para cultivar microalgas; este se compara con un fertilizante inorgánico y con equinaza; se obtiene como resultado un aumento en la densidad de población de microalga (ya que esta se desarrolla en comunidades conglomeradas) y un aumento en el contenido de proteína de la microalga. Se destaca cómo el alga es cultivada para ser alimento del zooplancton, el cual va a ser el alimento de animales como los alevines de peces.

		La concentración del humus es de 6.1, 6.6 y 7,1 (mL/L de agua destilada), contenida en frascos de 500mL con 1mL de semilla de cultivo de la microalga.
Berenjena <i>Solanum melongena</i> L.	(Cantero, Cardona, Vergara & Araméndiz, 2015)	Se utilizaron 28 parcelas de 7 m de longitud y 4 m de ancho con un total de 28 plantas. Se utiliza una cantidad de 521,4 gr/planta de humus de lombriz sólido y 728 mL/planta para humus de lombriz líquido; en conjunto también se realizan mezclas de bioabono con fertilizantes sintéticos. Los beneficios se observaron en el tiempo de producción con 10% de ventaja sobre la fertilización sintética, lo cual se evidencia en un 24,3% de ventaja en el tiempo de inicio de la cosecha, cuando se usa lombricompost, además el peso de los frutos fue mayor con el bioabono
Cultivo de Rosa cv. <i>Classy</i>	(Ramírez, Gómez, & Flórez, 2011)	Se utiliza humus líquido de lombriz para complementar la fertilización inorgánica ya establecida en el cultivo. Se añaden 30 mL por cama de cultivo de rosas, con una frecuencia semanal y diluida en .canecas de 200L Como resultado se redujo el descabece de las flores, se conservaron mejor las características de la flor después del corte, aumento el grosor del tallo y también aumento la cantidad de producción.
Lulo la Selva (<i>Solanum quitoense</i>) (<i>Solanum hirtum</i>)	(Ramírez & Naidu, 2010)	Con fertilización orgánica de humus de lombriz se obtienen resultados similares a los de la fertilización inorgánica, por lo cual su rendimiento no se ve afectado y con ello se disminuyen los costos de producción. El humus de lombriz favorece la asimilación del fósforo inorgánico como el presente en la roca fosfórica, como resultado de la carga microbiana que contiene. Se utilizan 2Kg de humus de lombriz en la siembra y luego 1Kg por planta cada mes durante 3 meses. Se observa un aumento en la concentración de la materia orgánica en un 0.21 % / m ² a los 14 meses de la siembra.
Crisantemo variedad "SuperWhite"	(Martínez y Gómez, 1995)	Se aplican 2 kg de humus de lombriz por m ² de 10 lombricompuestos diferentes vs fertilización mineral de 0.2 Kg para 154 tallos de Crisantemo. El lombricompuesto con estiércol vacuno da el mejor peso en fresco de un ramo de flores. El lombricompuesto de mezcla de 5 sustratos diferentes da mejores resultados en altura y decenas de flores para exportación.

<p>Maíz <i>Zea mays</i></p>		<p>Se utilizan concentraciones de 150 y 300 ppm de los ácidos húmicos obtenidos en el humus de lombriz para la germinación de las semillas. Las semillas se mantienen a una temperatura de 24°C para un total de 20 semillas envueltas en papel germinador El 90% de las semillas germinaron a las 24 horas</p>
<p>Algodón <i>Gossypium hirsutum</i></p>	<p>(Carrillo, Gómez, & Miranda, 1996)</p>	<p>Se utilizan concentraciones de 150 y 300 ppm de los ácidos húmicos obtenidos en el humus de lombriz para la germinación. Las semillas se mantienen a una temperatura de 24°C para un total de 20 semillas envueltas en papel germinador. El 90% de las semillas germinaron a las 24 horas</p>
<p>Tomate <i>Lycopersicon esculentum L.</i></p>		<p>Se utilizan concentraciones de 150 y 300 ppm de los ácidos húmicos obtenidos en el humus de lombriz para la germinación. Las semillas se mantienen a una temperatura de 24°C para un total de 20 semillas envueltas en papel germinador. El 90% de las semillas germinaron a las 48 horas.</p>
<p>Tomate <i>Lycopersicon esculentum mill</i></p>	<p>(Bruzon & Gomez, 1996)</p>	<p>Se utiliza lombricompostado maduro producido a partir de Bovinaza. Se realizan 2 riegos diarios a las semillas. Se compara la eficiencia con la gallinaza encontrando que el lombricompostado + adición de N dobló el desarrollo de la altura de las plantas en contraste con las plantas obtenidas en el testigo.</p>
<p>Lechuga <i>Bativa Lactuca sativa var Great Lakes 188</i></p>	<p>(Vélez, Garzón, & Bruzón, 1996)</p>	<p>Las semillas se siembran en vasos, a los 10 días se eliminan los brotes dejando solo 1 hasta pasados 40 días, para un total de 3000 semillas plantadas. El sustrato utilizado es un lombricompostado. Se utilizan unas dosis de 0.5, 10 y 15 Ton/ha; las plantas se trasplantan en el suelo a los 15 días. Germinaron en total 2934 semillas. Las semillas se anticipan en la germinación en 1 y 2 días en comparación con estudios y pruebas ya realizadas anteriormente. Las plantas no muestran signos de estrés por el trasplante. Se obtiene un rendimiento de 28119 Kg / ha.</p>
<p>Lechuga <i>Bativa Lactuca sativa var Pacific</i></p>	<p>(Vélez, Garzón, & Bruzón, 1996)</p>	<p>Las semillas se siembran en vasos. A los 10 días se eliminan los brotes dejando solo 1 hasta pasados 40 días, para un total de 3000 semillas plantadas. El sustrato que se usa es lombricompostado.</p>

		<p>Se utilizan unas dosis de 0.5, 10 y 15 Ton/ha; las plantas se trasplantan en el suelo a los 15 días.</p> <p>Germinaron en total 2981 semillas.</p> <p>Las semillas se anticipan en la germinación en 1 y 2 días que estudios y pruebas ya realizadas</p> <p>Las plantas no muestran signos de estrés por el trasplante.</p> <p>Su rendimiento fue de 8476 Kg/ha</p>
<p>Lechuga silvestre <i>Lactuca canadensis L.</i></p>	<p>(Pallaoro, et al, 2020)</p>	<p>Se utilizan concentraciones de 15, 30, 45 y 60% de humus de lombriz.</p> <p>Se siembran de a 6 semillas a los 14 días se dejan a las más vigorosas.</p> <p>En los sustratos con 15 % y 60% humus a un 70% de sombreado se observó el mejor tiempo de germinación.</p> <p>El aumento de humus proporcionó mejores cantidades de contenido de clorofila.</p> <p>El sustrato con 60% de humus presento un mejor resultado en el número de hojas producidas.</p>
<p>Maracuyá amarillo <i>Passiflora cincinnata</i></p>	<p>(Melo, Martins, da silva, & Sousa, 2018)</p>	<p>Se aplica fertilizante humus líquido diluido en agua sin cloro al 5% y humus sólido en 10%.</p> <p>Se siembran cinco semillas por bolsa y a los 15 días se deja la más vigorosa.</p> <p>El humus líquido se riega cada 15 días.</p> <p>Se mide el crecimiento de la plata a los 60 y 90 días.</p> <p>Se observa un efecto atenuante del humus sobre la salinidad contenida en el agua, salinidad que fue adicionada y también disminuye la conductividad eléctrica del agua.</p> <p>La masa seca total de la planta aumenta en 0.63g.</p> <p>Hubo un aumento del 11.75 % en el índice de tolerancia de las plantas.</p>
<p>Cajuerio enano <i>Anacardium occidentale L.</i></p>	<p>(Da silva, Martins, Noguera, Alves, & Andrade, 2019)</p>	<p>Las plántulas se sembraron en contenedores llenos de humus de lombriz y con un suelo <i>Eutrophic Flubic Neosol</i>.</p> <p>La cantidad de humus corresponde a 2 dm³.</p> <p>Este sustrato en conjunto con el uso de bioabono bovino favorece el desarrollo de la planta aumentando las características como el grosor del tallo y número de hojas.</p>

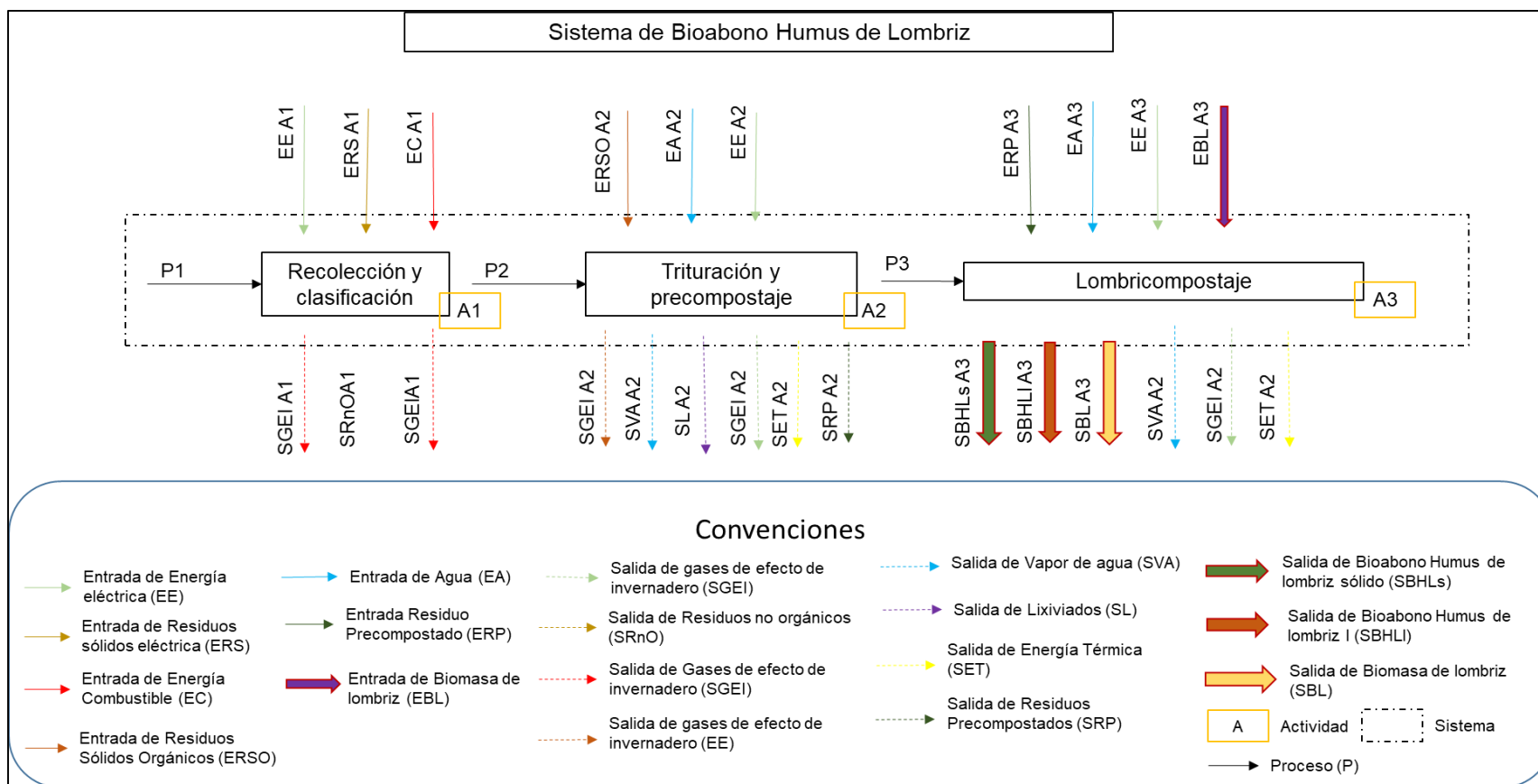
Fuente. Autor.

ANEXO X. Comportamiento general de un sistema de producción de humus de lombriz.

La finalidad de presentar el siguiente esquema es para indicar que durante el proceso de producción de humus de lombriz de manera semi-automatizada se generan materiales líquidos, sólidos y gaseosos como producto de transformación de la materia y, algunos de ellos como los gases de efecto de invernadero generan impactos ambientales negativos.

Ilustración 4

Sistema para la Producción Semi-automatizada en la lombricultura



Fuente. Autor