

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 remplazarle 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 acidez 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**