

APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS A TRAVÉS DE
ESTANDARIZACIÓN DE VERMICOMPOST CON USO DE EM
(MICROORGANISMOS EFICIENTES) EN LA CABECERA MUNICIPAL DE
ALMAGUER



ALEXANDRA PATRICIA HOYOS HOYOS

Trabajo de Grado en modalidad pasantía para optar por el título de Ingeniería
Ambiental y Sanitaria

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
2022

APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS A TRAVÉS DE
ESTANDARIZACIÓN DE VERMICOMPOST CON USO DE EM
(MICROORGANISMOS EFICIENTES) EN LA CABECERA MUNICIPAL DE
ALMAGUER



Trabajo de Grado para optar el título de Ingeniera Ambiental y Sanitaria

Director

Biólogo: ARNOL ARIAS HOYOS

CORPORACION UNIVERSITARIA AUNTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE
PROGRAMA DE INGENIERIA AMBIENTAL Y SANITARIA
2022

NOTA DE ACEPTACION

Hacemos constar que el presente trabajo de grado. APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS A TRAVÉS DE ESTANDARIZACIÓN DE VERMICOMPOST CON USO DE EM (MICROORGANISMOS EFICIENTES) EN LA CEBECERA MUNICIPAL DE ALMAGUER, ha sido aceptado por el director y los jurados como requisito para optar al título de Ingeniera Ambiental y Sanitaria.



Jurado 1. Mg. Natalia Samboni



Jurado 2. Mg. Cesar Ramirez



Director Esp. Arnol Arias Hoyos

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de grado que me otorga el Título de Ingeniera Ambiental y Sanitaria a mi Madre Luz Oliva Hoyos Narvárez, con mucho amor y orgullo pongo en sus manos un gran sueño, aunque hoy no esté presente, desde donde este, en honor a ella.

A mi Padre Luis Humberto Hoyos Quinayás porque nunca dejo de creer en mí y fue un gran apoyo en este proceso de formación.

A mi esposo Yovan Rene Obando Martínez compañero de lucha, apoyo incondicional y guía en todo este proceso de formación.

Alexandra Patricia Hoyos Hoyos

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme culminar este proceso de formación, cada paso dado fue guiado por él; de manera especial a mi Padre y Esposo por su continuo acompañamiento, apoyo incondicional, emocional y económico, en un segundo momento a la Universidad Autónoma del Cauca por permitirme entrar y enriquecer mi mente desde esta gran familia de conocimientos. Al programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria quien inculco en mí, un compromiso, sentido de pertenencia y necesidad de innovación en los múltiples procesos socio ambientales. De igual manera al Biol. Arnold Arias por su acompañamiento, paciencia y guía como director del presente proyecto de grado modalidad Pasantía. A sí mismo a los docentes del Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria como formadores académicos en esta hermosa carrera, resaltando a los y la docente Laura Isabel Pinzón, Ing. Ronald Édison Cerón, Ing. Juan Pablo Prado y Felipe Uribe, quienes a lo largo de este proceso de formación inculcaron el valor de la disciplina, esfuerzo, compromiso y entrega, así como su forma particular de enseñanza la cual me permitió una mayor conexión en los diferentes campos de la ingeniería Ambiental y Sanitaria.

TABLA DE CONTENIDO

| | | |
|-----------------|--|-----------|
| 1 | CAPITULO I: PROBLEMA | 13 |
| 1.1 | PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 13 |
| 1.2 | JUSTIFICACIÓN | 14 |
| 1.3 | OBJETIVOS | 15 |
| 1.3.1 | <i>Objetivo General</i> | 15 |
| 1.3.2 | <i>Objetivos Específicos</i> | 15 |
| 2 | CAPITULO II: MARCO TEÓRICO | 16 |
| 2.1 | ANTECEDENTES | 16 |
| 2.2 | DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO | 17 |
| 2.3 | BASES LEGALES | 1 |
| 2.4 | BASES TEÓRICAS | 1 |
| 3 | CAPÍTULO III: METODOLOGÍA | 1 |
| 3.1 | FASE 1. CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS | 1 |
| 3.1.1 | <i>Actividad 1. Adecuación del área de descargue</i> | 1 |
| 3.1.2 | <i>Actividad 2. Caracterización de residuos</i> | 1 |
| 3.2 | FASE 2. PROCESO DE ESTANDARIZACIÓN DE VERMICOMPOST | 4 |
| 3.2.1 | <i>Actividad 1. Preparación de microorganismos</i> | 4 |
| 3.2.2 | <i>Actividad 2. Elaboración de precompost</i> | 5 |
| TABLA 2. | ENSAYO UNO Y DOS | 6 |
| 3.2.3 | <i>Actividad 3. Seguimiento de variables de control en pre-compost.</i> | 6 |
| 3.2.4 | <i>Actividad 4. Adecuación de la zona de Lombricompost</i> | 7 |
| 3.2.5 | <i>Actividad 5 Incorporación del sustrato en la zona de lombricomposta</i> | 8 |
| 3.2.6 | <i>Actividad 6. Inoculación de EM en el proceso de vermicompost</i> | 9 |
| 3.2.7 | <i>Actividad 7. Seguimiento de variables para proceso de lombricultura</i> | 11 |
| | <i>Actividad 8. Cosecha de Vermicompost</i> | 12 |
| 3.2.8 | | 12 |
| 3.2.9 | <i>Actividad 9. Manejo de Humus Liquido de lombricomposta</i> | 12 |
| 3.2.10 | <i>Actividad 10. Muestreo para la evaluación respecto a parámetros de calidad del producto.</i> | 12 |
| 3.3 | FASE 3. FORTALECIMIENTO DE ESTRATEGIAS DE EDUCACIÓN AMBIENTAL | 13 |
| 3.3.1 | <i>Actividad 1. Jornadas de capacitación</i> | 13 |
| 3.3.2 | <i>Actividad 2. Fortalecimiento en la gestión de residuos sólidos orgánicos en el área Rural</i> | 13 |
| 4 | APÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS | 14 |
| 4.1 | FASE 1. CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS | 14 |
| 4.2 | FASE 2. PROCESO DE ESTANDARIZACIÓN DE VERMICOMPOST | 16 |
| 4.2.1 | <i>E.M Obtenido</i> | 16 |
| 4.2.2 | <i>Seguimiento de variables de control en precompostaje</i> | 16 |
| 4.2.3 | <i>Incorporación del sustrato en la zona de lombricomposta</i> | 18 |
| 4.2.4 | <i>Seguimiento de variables para proceso de lombricultura</i> | 19 |
| 4.2.5 | <i>Cosecha de vermicompost</i> | 22 |
| 4.2.6 | <i>Manejo de humus liquido de lombricomposta</i> | 23 |
| 4.2.7 | <i>Evaluación respecto a parámetros de calidad del producto</i> | 23 |
| 4.2.8 | <i>Estadística descriptiva</i> | 4 |
| 4.3 | FASE 3. FORTALECIMIENTO DE ESTRATEGIAS DE EDUCACIÓN AMBIENTAL | 5 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 4.3.1 | <i>Jornadas de capacitación ambiental</i> | 5 |
| 4.3.2 | <i>Fortalecimiento en la gestión de residuos sólidos orgánicos en la zona rural</i> | 6 |
| 5 | CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 7 |
| 5.1 | CONCLUSIONES | 7 |
| 5.2 | RECOMENDACIONES | 7 |
| 6 | BIBLIOGRAFÍA | 9 |
| 7 | ANEXOS | 12 |

LISTADO DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| FIGURA1. ÁREA DE ESTUDIO ALMAGUER CUACA | 18 |
| FIGURA2. DIAGRAMA DE METODOLOGÍA | 1 |
| FIGURA3. DETERMINACIÓN DE PESO APROXIMADO | 2 |
| FIGURA4. CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS..... | 2 |
| FIGURA5. MÉTODO DE CUARTEO..... | 2 |
| FIGURA6. DETERMINACIÓN DE DENSIDAD. | 3 |
| A: MEDIDA DE DIÁMETRO, B: MEDIDA DE ALTURA | 3 |
| FIGURA7. CAPTURADORES DE MICROORGANISMOS..... | 5 |
| FIGURA8. PRE-COMPOSTAJE. | 6 |
| FIGURA9. MONITOREO DE PARÁMETROS..... | 7 |
| FIGURA10. PREPARACIÓN DE LECHO | 8 |
| FIGURA11. LLENADO DE CAMAS | 9 |
| FIGURA12. INOCULACIÓN DE E.M EN CAMAS DE LOMBRICULTURA | 11 |
| FIGURA13. MONITOREO PARÁMETROS. | 11 |
| FIGURA14. MATERIAL EXTRAÍDO..... | 14 |
| TABLA 6. PARÁMETROS (DENSIDAD- HÚMEDAD) | 15 |
| FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA..... | 15 |
| FIGURA15. EVOLUCIÓN TEMPERATURA PROMEDIO ENSAYO UNO Y DOS. | 16 |
| FIGURA16. EVOLUCIÓN PH PROMEDIO ENSAYO UNO Y DOS. | 17 |
| FIGURA17. ERROR ESTÁNDAR- MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR..... | 5 |
| FIGURA18. PREPARACIÓN DE TRAMPAS. | 12 |
| | 12 |
| FIGURA19. ENTIERRO DE TRAMPAS. | 12 |
| FIGURA20. RECOLECCIÓN DE MICROORGANISMOS | 12 |
| FIGURA21. PREPARACIÓN DE MICROORGANISMOS..... | 13 |
| FIGURA22. PARÁMETROS EN PRE. COMPOSTAJE. | 13 |
| A: TOMA DE PH B: TOMA DE TEMPERATURA..... | 13 |
| FIGURA23. PH LOMBRICULTURA..... | 13 |
| FIGURA24. TRAMPEO PARA COSECHA | 14 |
| A: TRAMPAS DE MALLA B: CAPTURA DE LOMBRIZ..... | 14 |
| FIGURA25. CAMAS DE LOMBRICULTURA PARA ENSAYO UNO Y DOS. | 14 |

| | |
|---|----|
| FIGURA26. MONITOREO DE HUMUS LÍQUIDO | 14 |
| FIGURA27. COSECHA DE HUMUS SÓLIDO | 15 |
| | 15 |
| FIGURA28. LABORES PARA OBTENCIÓN DE PRODUCTO FINAL..... | 15 |
| A: TAMIZADO B: EMPACADO Y PESADO. | 15 |
| FIGURA29. PRODUCTO FINAL..... | 15 |
| PERDIDA DE MATERIAL GRUESO | 16 |
| FIGURA30. MATERIAL PARA MUESTRAS DE LABORATORIO..... | 16 |
| FIGURA31. CAPACITACIONES EN LA CABECERA MUNICIPAL..... | 17 |
| A: CAPACITACIONES BARRIOS CRÍTICOS B: ACOMPAÑAMIENTO OPERARIO DE RECICLAJE | 17 |
| FIGURA32. CAPACITACIÓN PROMOCIÓN DE LA CULTURA BASURA CERO..... | 17 |
| FIGURA33. CAPACITACIÓN ESTRATEGIA DE LAS 3R. | 17 |
| FIGURA34. COMPOSTAJE EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA EL TABLÓN DE ALMAGUER. | 18 |
| A. RECOLECCIÓN DE R.S. ORGÁNICOS B. LABORES DE COMPOSTAJE EN BIOFABRICA DE BIOABONO DE LA I.E. | 18 |
| | 18 |
| FIGURA35. LABORES EN BIOFABRICA DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA EL TABLÓN | 18 |
| FIGURA36. COMPOST GENERADO EN LA I.E EL TABLÓN..... | 18 |

LISTADO DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| ANEXO A. PREPARACIÓN DE MICROORGANISMOS | 12 |
| | 12 |
| ANEXO B. MONITOREO PRECOMPOST Y LOMBRICOMPOTS | 13 |
| ANEXO C. LABORES EN ZONA DE LOMBRICULTURA | 14 |
| A: MATERIAL GRUESO B: MATERIAL FINO..... | 16 |
| ANEXO D. FORTALECIMIENTO DE ESTRATEGIAS DE EDUCACIÓN AMBIENTAL | 17 |
| ANEXO E. FORTALECIMIENTO EN GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN LA ZONA RURAL (CORREGIMIENTO EL TABLÓN DE ALMAGUER-INSTITUCIÓN EDUCATIVA EL TABLÓN). | 18 |
| ANEXO F. PARÁMETROS DE PRECOMPOSTAJE TOMADOS EN CAMPO | 19 |
| ANEXO G. CANTIDADES DE MATERIAL PARA LECHO | 20 |
| ANEXO H. CANTIDADES DE PRECOMPOST PARA LLENADO DE CAMAS. | 20 |
| ANEXO I. PERDIDAS DE PRODUCCIÓN | 21 |
| ANEXO J. RANGOS IDEALES PARA LOMBRICULTURA | 21 |
| ANEXO K. RESULTADOS DE MUESTRAS DE LABORATORIO HUMUS SÓLIDO. | 22 |
| ANEXO L. RESULTADOS CARACTERIZACIÓN HUMUS LIQUIDO | 25 |

RESUMEN

El presente trabajo en pasantía fue realizado en la planta de lombricultura del municipio de Almaguer Cauca, en la cual se realizó el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos generados en la cabecera municipal, a través de la estandarización de lombricultura con Microorganismos Eficientes (E.M).

La metodología utilizada comprendió una fase de pre-compostaje y dos ensayos para proceso de lombricultura, el ensayo uno comprendido 3 semanas de pre-compostaje y el ensayo dos solo dos semanas de pre-compostaje en los cuales se trabajó con el 25% del 100% del material orgánico descargado en planta, de igual manera la mezcla para este proceso fue del 85% de residuos orgánicos, cascarilla de arroz 51%, pasto 3.4% y cisco 3.4%, se llevó a cabo el monitoreo de parámetros como temperatura y pH.

En la zona de lombricultura se ejecutaron dos ensayos con tres tratamientos en los cuales se utilizó diferente dosificación de E.M, así para el ensayo uno se utilizó T0: Testigo o Blanco, T1 MED1: tratamiento uno microorganismos eficientes dosis uno (25 litros de E.M), T2 MED2: tratamiento dos microorganismos eficientes dosis dos (50 litros de E.M), además de los E.M se incorporó estiércol bovino para la formación del lecho 41.63%; para el ensayo dos solo se realizaron dos tratamientos, T1 MED1: tratamiento uno microorganismos eficientes dosis (25 litros de E.M), T2 MED2: tratamiento dos microorganismos eficientes dosis dos (37.5 litros de E.M), estiércol bovino para la formación del lecho 12.5% y se llevó a cabo monitoreo de parámetros como humedad y pH.

Se tomaron tres muestras para sus respectivos análisis físico químicos en el laboratorio certificado AGROAMBIENTAL. LAB.S.A.S de Cali, los cuales fueron comparados con la norma técnica 5167 del ICA y se pudo establecer que las muestras número dos: T1 MED1(25 litros de E.M) y número tres: T2 MED2 (37.5 litros de E.M) del primer y segundo ensayo respectivamente, presentaron cumplimiento del 100% en la sumatoria de porcentajes para pH y macronutrientes, así mismo la muestra del tratamiento dos del segundo ensayo T2: MED2(37.5 litros de E.M) mostro cercanía para el próximo cumplimiento de parámetros como: COT con un valor de 14,30% y CIC con un valor de 30.03 meq/100 kg; en la muestra del blanco se evidencio incumplimiento para estos parámetros.

Debido al incumplimiento de los parámetros restantes y de acuerdo a los criterios de aceptación o rechazo estipulados en la norma NTC 5167, el producto final obtenido de la biofabrica de Bioabono es rechazado como abono orgánico de calidad. Sin embargo y teniendo en cuenta que la muestra número tres presento resultados más cercanos al cumplimiento de la norma se sugiere que a partir de los resultados obtenidos en este ensayo sean punto de partida en próximos ensayos para lograr cumplimiento de la norma en mención.

ABSTRAC

The present internship work was carried out in the vermiculture plant of the municipality of Almaguer Cauca, in which the use of organic solid waste generated in the municipal seat was carried out, through the standardization of vermiculture with Efficient Microorganisms (E.M).

The methodology used included a pre-composting phase and two tests for the vermiculture process, test one included 3 weeks of pre-composting and test two only two weeks of pre-composting, in which 25% of the 100 were worked with. % of the organic material discharged in the plant, in the same way the mixture for this process was 85% organic waste, 51% rice husk, 3.4% grass and 3.4% cisco, monitoring of parameters such as temperature and pH.

In the vermiculture area, two trials were carried out with three treatments in which different E.M dosages were used, thus for trial one T0 was used: Control or Blank, T1 MED1: treatment one efficient microorganisms dose one (25 liters of E.M) , T2 MED2: treatment two efficient microorganisms dose two (50 liters of E.M), in addition to the E.M, bovine manure was incorporated for the formation of the bed 41.63%; for trial two only two treatments were performed, T1 MED1: treatment one efficient microorganisms dose (25 liters of E.M), T2 MED2: treatment two efficient microorganisms dose two (37.5 liters of E.M), bovine manure for the formation of the bed 12.5% and monitoring of parameters such as humidity and pH was carried out.

Three samples were taken for their respective physical-chemical analysis in the AGROAMBIENTAL certified laboratory. LAB.S.A.S of Cali, which were compared with the ICA technical standard 5167 and it was possible to establish that samples number two: T1 MED1 (25 liters of E.M) and number three: T2 MED2 (37.5 liters of E.M) from the first and second trial respectively, presented 100% compliance in the sum of percentages for pH and macronutrients, likewise the sample of treatment two of the second trial T2: MED2 (37.5 liters of E.M) showed closeness to the next compliance of parameters such as: COT with a value of 14.30% and CIC with a value of 30.03 meq/100 kg; in the blank sample, non-compliance for these parameters was evidenced.

Due to non-compliance with the remaining parameters and according to the acceptance or rejection criteria stipulated in the NTC 5167 standard, the final product obtained from the Bioabono biofactory is rejected as quality organic fertilizer. However, and taking into account that sample number three presented results closer to compliance with the standard, it is suggested that from the results obtained in this test they be a starting point in future tests to achieve compliance with the standard in question.

INTRODUCCIÓN

El medioambiente se ha convertido en discusión obligada en los ámbitos nacional, local, público y privado. La preocupación por un mundo posible para las generaciones futuras, y el aporte de cada persona, ciudad, país y región para conseguirlo, se han traducido en acciones y enfoques tendientes al logro de metas comunes en temas como agua, aire o suelo, hoy sintetizados en los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Uno de ellos es el de lograr una adecuada gestión de los residuos sólidos. [1]

En este sentido la generación de residuos sólidos orgánicos requiere un tratamiento que permita su aprovechamiento y con ello se evite la constante tendencia a afectar diferentes ecosistemas comúnmente alterados por su mala disposición no solo a nivel nacional sino también a nivel municipal; en este sentido se hace urgente dar un aprovechamiento que permita la transformación de este tipo de residuos.

Existen diferentes técnicas de aprovechamiento para los residuos sólidos orgánicos entre estas está el compostaje y la lombricultura como las más comúnmente practicadas debido a la facilidad de las mismas; La lombricultura es una biotecnología orientada a la utilización de la lombriz como una herramienta de trabajo para el reciclaje de todo tipo de materia orgánica[2], así mismo el compostaje es una de las mejores opciones para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos debido a su bajo costo y facilidad de realización. La aplicabilidad de estos procesos es de gran importancia ya que en Colombia se genera más del el 60 % de residuos sólidos orgánicos.[3]

En la cabecera municipal de Almaguer se ha iniciado un proceso para minimizar la contaminación por residuos sólidos orgánicos a través del aprovechamiento de los mismos para la generación de compost, actualmente se cuenta con una reciente planta de lombricultura la cual aún continua en mejoramiento, sin embargo, se ha dado inicio para el primer semestre del presente año en labores correspondientes al aprovechamiento.

En este sentido el presente informe comprende el proceso de aprovechamiento realizado bajo la técnica de lombricultura para los residuos sólidos orgánicos generados en la cabecera municipal de Almaguer, así su desarrollo se llevó a cabo en la planta del municipio de Almaguer y fue desarrollado en tres partes de acuerdo a los objetivos propuestos, en este sentido una vez descargadas los residuos sólidos orgánicos en planta lo cual se hace con una frecuencia de un día por semana, se realizó su caracterización descargados a través del método del cuarteo del cual se pudo establecer el tipo y cantidad de materiales ajenos al proceso, debido a una mala separación en su fuente de generación, así mismo la determinación de densidad y porcentaje de humedad lo cual permitió mejorar la técnica de triturado y establecer la cantidad de material seco para la mezcla y posterior armado de pilas.

En la zona de precompostaje el material orgánico fue se estabilizado utilizando la técnica de pilas por tres y dos semanas para el primer y segundo ensayo respectivamente, durante este proceso se realizó monitoreo de parámetros como pH culminado su periodo de precompost y temperatura dos veces por semana. El monitoreo realizado permitió establecer diferencias en el proceso de evolución de las pilas logrando establecer que el mejor periodo de precompostaje comprendía finalizadas las dos semanas.

La planta consta de cuatro camas de dimensiones 10m(largo)x1m(ancho)x0.60m(alto), de las cuales se tomó una cama y fue dividida en tres partes iguales para los tres tratamientos correspondientes al ensayo uno, para el ensayo dos se tomó de una cama la fracción de 1m(largo)x1m(ancho)x0.60alto, la cual a su vez fue dividida en dos partes iguales para dos tratamientos.

Terminado la fase de precompostaje de acuerdo al periodo de tiempo establecido se pasa el material orgánico al proceso de lombricultura el cual fue estandarizado bajo dos ensayos con uso de Microorganismos Eficientes (E.M) en tratamientos de diferente dosificación y los cuales fueron preparados previamente, esto con el fin de enriquecer el sustrato que sería destinado como alimento para la lombriz y que en acción conjunta con los E.M permitieron la obtención de humus en menor tiempo, así para el ensayo uno y de acuerdo a la dosificación de E.M utilizada en sus dos tratamientos se obtuvo compost en cuatro meses y para el segundo ensayo en sus dos tratamientos se logró en tres meses. Durante este proceso se llevó a cabo monitoreo de parámetros como temperatura dos veces por semana, pH al inicio y al finalizar el proceso de cada tratamiento y humedad dos veces por semana, tanto en la zona de precompostaje como de lombricultura se utilizó termómetro de suelo de compost de acero inoxidable Teknik, para pH cintas de pH y pH –Metro Pocket-Sized, y para humedad bajo la técnica de prueba de puño.

Para identificar que el vermicompost estuviera listo se tuvieron en cuenta características como olor y color, así mismo que el pH estuviera dentro del rango establecido 5 a 8.5. Para extraer el material procesado fue necesario una trampa de malla con material fresco de frutas (mango, guayaba, banano, cáscara de papa), pasados ochos días se retiraron las trampas, el material procesado en las camas fue extraído y fue llevado a zona de secado en la cual transcurridas dos semanas se dio paso al tamizado y pesaje obteniéndose 150kg/cama para el ensayo número dos, este valor fue considerado como un valor estándar para promediar la capacidad de producción de la totalidad de las camas de la planta, para el ensayo número uno solo se tomó para tamizado y secado la fracción necesaria para las muestras de laboratorio.

En el proceso de lombricultura además de generarse el humus sólido también se obtiene un sub producto conocido como humus líquido el cual fue recolectado gracias a la estructura de la planta, la cual tiene un drenaje que conduce el líquido

generado en cada cama hasta un tanque recolector, el seguimiento requerido fue realizado una vez se empezó a notar presencia del líquido, es decir desde las siete semanas hasta las diez y catorce semanas respectivamente, debido a que el drenaje conductor direcciona la totalidad del subproducto a un solo tanque no fue posible establecer diferencias de este para cada tratamiento.

Como último paso se dio lugar muestreo del producto y su posterior análisis de parámetros físico- químicos y de macronutrientes realizados en el Laboratorio de Agroambiental. Lab.S.A.S, así como su respectivo análisis en función de la norma NTC 5167 del ICA para determinar el nivel de cumplimiento relacionado con abono de calidad, de las muestras analizadas la que más se aproximó a los rangos establecidos fue muestra número tres (T2:MED2 37.5 litros de E.M) correspondiente al ensayo la cual mostro cercanía al cumplimiento de parámetros como: COT con un valor de 14,30% y CIC con un valor de 30.03 meq/100 kg y cumplimiento del 100% en la sumatoria de porcentajes para pH y macronutrientes.

1 CAPITULO I: PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

Almaguer se encuentra ubicado al sur occidente del Cauca, es considerado la estrella pluvial de Colombia, cuenta con gran biodiversidad y hace parte del Macizo colombiano, de ahí la importancia en proteger sus recursos naturales y dar manejo integral a los residuos sólidos orgánicos de tal manera que estos no generen impactos ambientales negativos.[4]

De acuerdo al informe de disposición final 2019 presentado por La Superintendencia de servicios públicos domiciliarios y DNP (Departamento Nacional de planeación), 32 municipios de 42 que conforman el departamento del Cauca cuentan con disposición final autorizada de residuos sólidos en rellenos sanitarios regionales respectivos; dentro de ellos se encuentra atendido Almaguer para el 100% de su material inorgánico en el Relleno Sanitario los Picachos de Popayán [5]

En la cabecera municipal, se estima una producción de Residuos Sólidos de 40 Ton/mes, de los cuales una fracción se ha logrado incluir en una ruta de recolección destinada a Popayán, ocupando el 20% del Relleno Sanitario mencionado anteriormente; sin embargo, para los residuos orgánicos (16 Ton/mes aproximadamente) el problema no ha sido resuelto completamente, ya que no se llega a superar una fracción del 10% de aprovechamiento[6], que representa un buen potencial de compostaje que no está siendo aprovechado y por el contrario representa pérdidas de productividad económica además de desencadenar impactos ambientales negativos debido a su disposición no adecuada en algunas zonas aledañas a la población, zonas rivereñas afectando fuentes hídricas, generando proliferación de vectores, malos olores, amenaza para la salud de personas, alteración de ecosistemas y deterioro de la imagen paisajística.

Sin duda alguna estos impactos ambientales negativos que, si bien no han alcanzado un nivel crítico, ha ido aumentando constantemente dando a conocer la ausencia de información en la comunidad sobre un buen manejo de residuos sólidos orgánicos y a la vez las consecuencias de un mal manejo del mismo, además de la falta de control, manejo integral y eficiente sobre los residuos sólidos orgánicos.

Cabe aclarar que la alcaldía municipal específicamente el área de secretaría de Desarrollo Agropecuario, Ambiental y Económico, se ha preocupado por dar una solución a la presente problemática a través del tratamiento de los residuos sólidos orgánicos en la reciente planta de abonos diseñada para la cabecera municipal, sin embargo se han realizado algunas experiencias por parte de grupos comunitarios específicamente finqueros con la idea de aprovechar estos residuos para sus proyectos productivos y minimizar su impacto ambiental; pero la falta de técnicas y conocimiento no ha permitido aprovechar de manera eficiente estos residuos.

En este sentido, implementar una alternativa de solución que garantice un manejo integral y eficiente para los diferentes procesos requeridos en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos es evidente, por ello, se estructura la presente pasantía que implica elaborar vermicompost con EM para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos generados en Cabecera Municipal de Almaguer, los cuales contribuyen a acelerar la degradación del sustrato, así como el control de vectores y olores; como proceso transversal está la educación ambiental dirigida a la zona urbana, la cual estará direccionada en el manejo de residuos sólidos orgánicos, separación en fuente y su aprovechamiento. Como se puede ver La importancia de este proyecto es porque minimiza la contaminación ambiental generada por los residuos sólidos orgánicos al no dar un respectivo tratamiento y a la vez potencializa se genera un producto de tipo orgánico que puede ser destinado en una fase posterior a usos en procesos productivos y de restauración de suelos

1.2 Justificación

El manejo que se le ha dado a los residuos sólidos orgánicos, y la incorporación de nuevas alternativas para su aprovechamiento son temas que desde un contexto histórico y normativo general se han venido desarrollando a través de varios instrumentos normativos con el fin de promover e incentivar el uso de tecnologías complementarias y alternativas a rellenos sanitarios, así como para desarrollar la actividad de tratamiento de residuos. [5]

De acuerdo a la política Nacional para La Gestión de Residuos, la maximización del aprovechamiento de los residuos generados y en consecuencia la minimización de las basuras, contribuye a conservar y reducir la demanda de recursos naturales, disminuir el consumo de energía, preservar los sitios de disposición final y reducir sus costos, así como a reducir la contaminación ambiental al disminuir la cantidad de residuos que van a los sitios de disposición final.[7]

Según el boletín técnico Ambiental y económica residuos sólidos (CAEFM-RS 2018-2019), en 2019 la tasa de aprovechamiento correspondió al 49,4% (13,1 millones de toneladas de residuos sólidos y productos residuales aprovechados), del total de residuos sólidos y productos residuales generados, presentando un aumento de 0,3 puntos porcentuales con relación al año anterior.[8] A pesar de este incremento desde un contexto Nacional, el municipio de Almaguer Cauca, específicamente su cabecera municipal no forma parte de esta estadística y por el contrario presenta ausencia en la implementación de alternativas que aumenten el ciclo productivo de algunos de sus residuos sólidos orgánicos generados, los cuales pueden dejar valores agregados y así mismo, contribuir con el medio ambiente.

En este sentido, el presente proyecto se estructura porque se pretende implementar una alternativa de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, que permita generar un manejo integral de los mismos, así mismo, obtener un producto tecnificado con tendencia a usos de reforestación, recuperación de suelos y

proyectos productivos del municipio. Sumado a ello, en el PGIRS municipal se puede identificar una importante ausencia del aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos.

orgánicos.

La importancia de este proyecto también se da debido a que la comunidad implicada en el proceso necesita acceder a diferentes capacitaciones que les permitan ganar conciencia en el correcto manejo y aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, de tal manera que la separación en fuente sea un proceso formativo que conduzca a él empoderamiento de culturas amigables con el medio ambiente.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Elaborar Vermicompost con EM para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos generados en Cabecera Municipal de Almaguer

1.3.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar los residuos sólidos orgánicos generados en la cabecera municipal de Almaguer.
- Estandarizar el proceso óptimo para la obtención de vermicompost utilizando diferente dosificación de E.M (Microorganismos Eficientes) y un testigo.
- Implementar un programa de educación ambiental direccionado al aprovechamiento de residuos Sólidos orgánicos en la comunidad de la cabecera municipal de Almaguer.

2 CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

A continuación, se presenta una recopilación concisa de teoría y marco normativo que tiene relación directa con la problemática mencionada previamente.

En el estudio realizado “Vermicompost enriquecido con microorganismos benéficos bajo dos sistemas de producción y sus efectos en el rábano (*Raphanus sativus L.*)” Se evaluó la calidad de vermicompost resultante de excreta de vacuno bajo dos sistemas de producción a través de sus parámetros físico químicos y de su efecto sobre el crecimiento y el rendimiento de plantas de rábano (*Rhaphanus sativus L*) bajo condiciones de campo en la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM), Lima, Perú. Se empleó un diseño de bloques completo al azar (DBCA) 12 tratamientos con tres repeticiones. El primer factor de estudio incluyó dos tipos de compost de vacuno, compostados bajo dos tratamientos (lavado e inoculado con microorganismos benéficos). Como segundo factor se empleó dos tipos de microorganismos (*Bacillus sp.*, y microorganismos benéficos). Un tercer factor incluyó dos sistemas de producción de vermicompost (zanja y techo a dos aguas) empleando *Eisenia foetida* (40 días). Se concluye que Los vermicompost procedentes del sistema zanja presentaron mayor descenso en salinidad, pH, relación C/N, contenido total de fósforo, potasio, sodio y mayor incremento en contenido de humedad, calcio, magnesio y sustancias húmicas. C/N indicó la estabilización del vermicompost. En el rendimiento del rábano el tratamiento MZM (compost inoculado con microorganismos benéficos del sistema zanja) alcanzó mayor altura y peso fresco de hojas y peso de hipocótilo.[9]

El proyecto denominado: “Elaboración de vermicompost con estiércol de vacuno utilizando la lombriz roja californiana (*Eisenia foétida*) y microorganismos eficientes en la granja ecológica linderos, tomayquichua, ambo, Huánuco 2020” que tenía por objetivo determinar la cantidad de vermicompost y comparar la producción de primera, segunda y tercera calidad a partir de estiércol de vacuno con la utilización de la lombriz roja californiana (*Eisenia foétida*) y Microorganismos Eficientes. Se utilizó una metodología realizando la formación de 12 parcelas con 6 tratamientos incluido el testigo en lo cual al pesar se obtuvo primera, segunda y tercera calidad del vermicompost, el tamaño de las muestras utilizadas fue en cantidades iguales de 150 Kilogramos por cada tratamiento. Referente al tiempo que se utilizaron las Lombrices y los Microorganismos eficientes en convertir el estiércol de vacuno a vermicompost fue de 2 meses, esto se determinó que hay mayor eficiencia en el tratamiento de producción de las Lombrices la cual se observó y monitoreo constantemente durante el proceso de compostaje. Así se concluye que la mayor cantidad de vermicompost producido a partir de estiércol de vacuno utilizando la lombriz roja californiana fue de primera calidad, constituyendo el 65.95% de una base de 150 Kg de producción.[10].

la investigación titulada: “Evaluación de la calidad del compost obtenido con polímero refrigerante en el proceso de compostaje convencional”; tenía como objetivo evaluar la calidad del compost en el proceso de compostaje convencional obtenido con polímero refrigerante, que se genera como residuo después de ser usado en cadena de frío, a partir de los requisitos específicos establecidos en la NTC 5167 de 2004. Bajo una metodología de enfoque cuantitativo con alcance exploratorio, esto se llevó a cabo en cinco fases durante un periodo aproximado de dos meses, implementando un blanco y tres pilas de compostaje con distintos porcentajes de masa de polímero refrigerante, sujeto a prueba preliminar debido a la dependencia en la selección del polímero refrigerante y su contenido real de agua. A cada una de las pilas se les realizó seguimiento de temperatura, humedad y pH. El estudio mostró que la pila 3 con 23 % de polímero refrigerante tuvo el mejor comportamiento de degradación de la materia orgánica en el tiempo en función a la temperatura, muy similar al comportamiento del blanco que corresponde al ideal de los procesos de compostaje convencional [11]

El estudio realizado sobre una “Planta de lombricompost a partir de desechos sólidos orgánicos de origen alimenticio provenientes de las plazas de mercado en la ciudad de Bogotá,” Cuyo objetivo fue el de difundir tecnologías apropiadas para la elaboración de un producto sano y seguro para uso como abono recopilatorio, trata acerca de la realización de un estudio de prefactibilidad enfocado al diseño de una planta de lombricompostaje, el cual se compone de los estudios financiero, técnico-ambiental y de mercado, los cuales se desarrollaron con el fin de determinar la viabilidad de la puesta en marcha de dicho sistema de aprovechamiento, el cual se pretende procese desechos sólidos orgánicos de origen alimenticio provenientes de las plazas de mercado ubicadas en la ciudad de Bogotá D.C. Según lo definido en el estudio técnico, la planta desarrollada tiene la capacidad de procesar el total de los residuos generados en las plazas de mercado de interés, garantizando, además, según los diseños planteados, que está soportara la producción derivada de un mayor número de plazas a las inicialmente establecidas [12]

2.2 Descripción del área de estudio

El Municipio de Almaguer está situado en el Departamento del Cauca, al sur oriente de su capital Popayán y distante de ella a 172 km y pertenece al denominado Macizo Colombiano, catalogado como la fábrica de agua más importante del país. La población de Almaguer se halla situada al pie de la colina de Belén - Panecillos y Santa Bárbara, como sus cerros tutelares, ceñida por el poderoso macizo de la cordillera de los Andes que al NE de Almaguer se bifurca para formar las dos ramas gigantescas de los andes colombianos. Extensión total: 320 km², Extensión área urbana: 0.33 km², extensión área rural: 319.67 km², Altitud de la cabecera municipal 2.312m.s.n.m. Su temperatura oscila entre los 16 a 18°C.[4]

Se presenta de manera general periodos de máxima y mínimas precipitaciones. La precipitación total del municipio se distribuye en dos zonas; la primera cubre el área correspondiente a la zona baja del municipio, con una precipitación que varía entre los 900 y 1000 mm anuales determinando una zona seca; la segunda zona se localiza sobre la parte alta y media del municipio, cubriendo las estribaciones de la cordillera central con precipitaciones entre 1100 y 1800 mm anuales.[4]

Dentro de la dimensión económica se encuentra como dimensión primaria la agricultura (Cultivo de maíz, yuca, plátano, arracacha, Caña panelera y frutales) y la ganadería siendo estos la base de la economía de la localidad, en algunas áreas se presenta en forma intensiva, en otras en forma moderada y en otras áreas la actividad se realiza en forma extensiva o baja. El cultivo de café ha sido tradicionalmente el más promisorio para los campesinos y en los últimos años se ha incrementado un incremento leve en la siembra de café, dicho incremento supera los incrementos de otros cultivos.[13]

La Estructura Ecológica Principal de Almaguer está conformada por tres componentes cuya conexión consolida una red a través de todo el territorio, con clara integración entre la porción urbana y rural: El Sistema de Áreas Protegidas de la Estructura Ecológica Principal, denominado “Los Bosques de Almaguer”, las Áreas de Manejo Especial de las Rondas de los Ríos San Jorge, Humus, Blanco, Caquiona, Ruiz y Marmato y el Sistema Integrado de Parques.[14]

La zona donde se desarrolló la presente pasantía fue en la Planta de Lombricultura, ubicada en la vereda conocida como “El Pindio”, perteneciente al Resguardo de Caquiona del municipio de Almaguer.



Figura1. Área de estudio Almaguer Cuaca
Fuente: Alcaldía de Almaguer (2019-2023)

2.3 Bases legales

Tabla 1. Normatividad ambiental para residuos sólidos

| |
|--|
| <p>NORMATIVA: Constitución Nacional de Colombia En los artículos, 79, 80,85, 86, 88, sedeclara y fijan deberes y DERECHOS FUNDAMENTALES, tareas del Estado, con relación al derecho a saneamiento ambiental. Deber del Estado en cuanto manejo y aprovechamiento de los recursos, garantizando el desarrollo sostenible</p> |
| <p>NORMATIVA: Política para la Gestión Integral de los Residuos. 1998. Ministerio del Medio Ambiente Establece el máximo aprovechamiento y mínimo de residuos con destino al Relleno Sanitario. Define las categorías de Residuo Aprovechable y No Aprovechable, para impedir o minimizar los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente</p> |
| <p>LEY: 388 de 1997 Define el marco general del ordenamiento territorial que debe ser aplicado por los entes territoriales y en el que se debe incluir la variable ambiental dentro del escenario de desarrollo urbanístico</p> |
| <p>LEY: 715 de 2001 DESCRIPCIÓN: Estipula la vigilancia y control de los residuos en recolección, transporte y disposición final</p> |
| <p>LEY: 99 de 1993 Define que las Autoridades Ambientales, serán las responsables de formular y verificar el cumplimiento de las políticas y normas ambientales</p> |
| <p>DECRETO: 1505 de 2003. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial Por el cual se modifican parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con los planes de gestión integral de residuos sólidos, especialmente lo relacionado con la definición de aprovechamiento, el acatamiento de parte las autoridades municipales al PGIRS, su actualización y la garantía de participación de los Recicladores.</p> |
| <p>DECRETO: 838 de 2005. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones</p> |
| <p>DECRETO: 3930/2011 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible La aplicación de esta norma, exige a los operadores de Rellenos Sanitarios, altas eficiencias en el tratamiento de los lixiviados.</p> |
| <p>RESOLUCIÓN NACIONAL: 1045 de 2003. Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial Por la cual se adopta la metodología para la elaboración de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, y se toman otras determinaciones</p> |
| <p>RESOLUCIÓN NACIONAL: ICA No. 0015021 Ene 2003 Por la cual se adopta el Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia.</p> |
| <p>RESOLUCIÓN NACIONAL: Norma Técnica Colombiana NTC 5167 Reglamenta los límites actuales para el uso de materiales orgánicos, los parámetros físico químicos de los análisis de las muestras de materia orgánica, los límites máximos de metales y enuncia parámetros para los análisis microbiológicos</p> |

Fuente: [15]

2.4 Bases Teóricas

- **Generalidades**

El Aprovechamiento como base de la lombricultura es un conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundados o de energía. Dentro de las alternativas para el aprovechamiento de los residuos orgánicos está la producción de compostaje y lombricompostaje las cuales conforman uno de los mejores usos que se le puede dar a los residuos orgánicos, ya que su empleo como recurso primario es fundamental para la formación de la vida en plantas. [16]

La lombricultura es una técnica en la cual se logra el aprovechamiento de distinto material orgánico utilizado para su alimentación de origen agrícola, pecuario, industrial y casero, produciendo como resultado la transformación de desechos en biomasa y humus (abono orgánico) de alta calidad logrando obtener una rápida y masiva producción y crecimiento en espacios reducidos.[16]

En este proceso son importantes los medios o soportes de cultivo, distintos de los suelos in situ en que se cultivan las plantas por ellos se utilizan diferentes sustratos.[2], así mismo en este proceso de lombricultura es importante tener en cuenta el tipo de lombriz que será utilizado, si bien en el mundo existen cientos de especies de lombrices que degradan residuos orgánicos, la mayoría de ellas viven en estados silvestres, como la lombriz de campo (*Allolobophora caliginosa*) y las lombrices nocturnas (*Lumbricus terrestres*), mientras que hay otras cuyo comportamiento y requerimientos ambientales permiten que sean cultivadas, como la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), la lombriz roja (*Lumbricus rubellus*), la lombriz nocturna europea (*Dendrobaena veneta* o *Eisenia hortensis*), estas últimas son producidas comercialmente y son usadas ampliamente en la mayoría de los climas debido a su tolerancia a diferentes rangos de temperatura y humedad.[16]

Dentro de la familia de la lombriz la más comúnmente utilizada corresponde a la *Eisenia foetida* conocida vulgarmente como lombriz roja o californiana, es una clase de lombriz ampliamente usada en lombricultura, muchos estudios demuestran su efectividad y eficiencia para convertir casi cualquier tipo de desecho orgánico en un producto final conocido de forma general como lombricompost utilizado en la agricultura. La recomendación más común es un kilo de lombriz comercial por metro cuadrado de lecho y se puede obtener el pie de cría a partir de las camas.[17]

El tipo de contenedor o espacio donde se desarrollará el proceso de lombricultura es importante, así existen diferentes opciones, tamaños y calidad de contenedores para cultivar lombrices, lo importante es que sean recipientes abiertos para que se facilite la alimentación y la visualización, normalmente estos contenedores son de madera. Las lombrices normalmente profundizan en el sustrato buscando alimento, pero no lo hacen más allá de 40 cm por lo que la cama debe tener una profundidad

de 50-60 cm y 1 m de ancho, siendo el largo en función del área disponible en la finca. La cama debe estar protegida de la lluvia, la luz del sol y temperaturas extremas en tiempos heladas o invierno.[17]

- **Pre-Compostaje**

Es importante tener en cuenta que Previo al proceso de lombricultura es necesario una fase inicial de precompostaje, proceso que permite agregar algo más de tiempo al proceso de lombricultura y podría salvaguardar el crecimiento y sobrevivencia de las lombrices, no obstante, este proceso podría decrecer la cantidad de alimento disponible para el crecimiento y reproducción de *Eisenia foetida*. En el pre-compostaje el tiempo recomendado es de 0 a 2 semanas pues favorece la reproducción y el de 3 a 7 semanas favorece el crecimiento individual de las lombrices, sin embargo, el mejor tratamiento es el precomposteo de 2 semanas, debido a que favorece la reproducción y el aumento del peso promedio de la lombriz. [18].

Dentro de este proceso se debe tener en cuenta algunas carteristas del pre-compostaje como es la mezcla inicial óptima para lograr un balance de la relación Carbono/ Nitrógeno (C: N) adecuado, un equilibrio nutricional en forma de una relación C/N óptima es esencial para formular una mezcla de compost eficiente. A medida que el compostaje avanza en el tiempo las variaciones en la relación C/N proyectan la tasa de degradación orgánica, que se rige por el grado de carbono transformado en CO₂. Idealmente, la relación C/N necesaria se encuentra en el rango, 25-35; afirmando que los microorganismos requieren 30 partes de C por unidad de N. [19]

Así mismo el proceso de compostaje se basa en la actividad de microorganismos que viven en el entorno, ya que son los responsables de la descomposición de la materia orgánica. Para que estos microorganismos puedan vivir y desarrollarse se necesitan unas condiciones óptimas de temperatura, humedad y oxigenación. Durante el proceso de compostaje el pH debe estar en valores cercanos a la neutralidad en un rango comprendido 6.5 a 7, debido a que inhibe el crecimiento de hongos, el pH puede empezar de manera ácida debido a la mineralización de los metabolitos de bacterias del medio ácido y al crecimiento de estas, al finalizar este proceso el pH tiende a aumentar a niveles alcalinos, es decir un pH de 8.0-8.5. Las altas temperaturas junto a un alto pH provocan la volatilización de nitrógeno, lo cual es perjudicial si hay presencia de cal en el sistema de compostaje.[20]

- **Parámetros Importantes**

En el proceso de la lombricultura intervienen varias fases para lograr una descomposición de los residuos y se debe llevar a cabo un control de parámetros físicos y químicos como lo son la humedad, la temperatura y el pH. La humedad es uno de los parámetros más importantes, cuanto más fina sean las partículas, más

retención de agua tendrán. A medida que el material se va degradando, va aumentando la retención de agua. La humedad óptima para el lombricompost es aproximadamente entre 70%. a 80%, pero es válido tener una humedad del 60%. Si un puñado de tierra se aprieta fuertemente y apenas gotea, quiere decir que la humedad es óptima.[17]

- **Cosecha de Vermicompost**

Finalmente, el vermicompost final, se cosecha dependiendo el sistema de producción y el tamaño. A pequeña escala, se utiliza el sistema de trampeo de lombrices que consiste en dejar de alimentar a las lombrices por 8-10 días. Posteriormente se coloca "alimento fresco" en un extremo de la cama o sobre el material en el mismo contenedor para atraer las lombrices. De esta forma la lombriz se mueve al material fresco en busca de alimento y pueden ser colectadas de allí.[17]

Un valor agregado que se ha estado aplicando a este proceso y al proceso de compostaje consisten en productos formulados líquidos que contienen más de 80 especies de microorganismos, algunas especies son aeróbicas, anaeróbicas e incluso especies fotosintéticas cuyo logro principal es que pueden coexistir como comunidades microbianas e incluso pueden completarse. [21]

El efecto de los microorganismos eficientes sobre el proceso de degradación de materia orgánica tiene mucha importancia ya que estos se encargan de degradarla a mayor velocidad y por lo tanto reducen el tiempo de compostaje. Así los inoculantes microbianos influyen en el proceso de compostaje alterando el proceso de descomposición de la celulosa, hemicelulosa y lignocelulosa, la hemicelulosa y la lignocelulosa, provocando alteraciones en la temperatura y los niveles de nitrógeno a lo largo del proceso de compostaje. [22]

Dentro de los microorganismos eficientes se encuentra gran variedad, entre estos Existen diferentes tipos de microorganismos eficientes tales como Las bacterias ácido-lácticas las cuales actúan como estabilizadores suprimiendo a los microorganismos patógenos y acelera la descomposición siendo capaz de transformar la lignina y celulosa por el incremento de la fragmentación sin alterar el proceso del compostaje.[21]

A sí mismo las levaduras son muy eficientes ya que son encargadas de transformar a partir de aminoácidos y carbohidratos, materia orgánica y raíces sustancias antimicrobiales, que sirven para los demás microorganismos como sustrato para su metabolismo.[21]

Las bacterias fotosintéticas son microorganismos independientes y autosuficientes, los cuales sintetizan sustancias útiles a partir de las secreciones de las raíces, materia orgánica y/o gases nocivos (Amoníaco y sulfuro de hidrógeno), usando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía. Estas sustancias incluyen

aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares, los cuales promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas[21]

En este sentido el uso de E.M es fundamental para mejorar el proceso de degradación así mismo mejorar la calidad del compost, el uso de E.M una cantidad óptima utilizada durante el proceso de compostaje producirá un suelo de buena calidad sin contribuir a los problemas medioambientales.[23]

3 CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

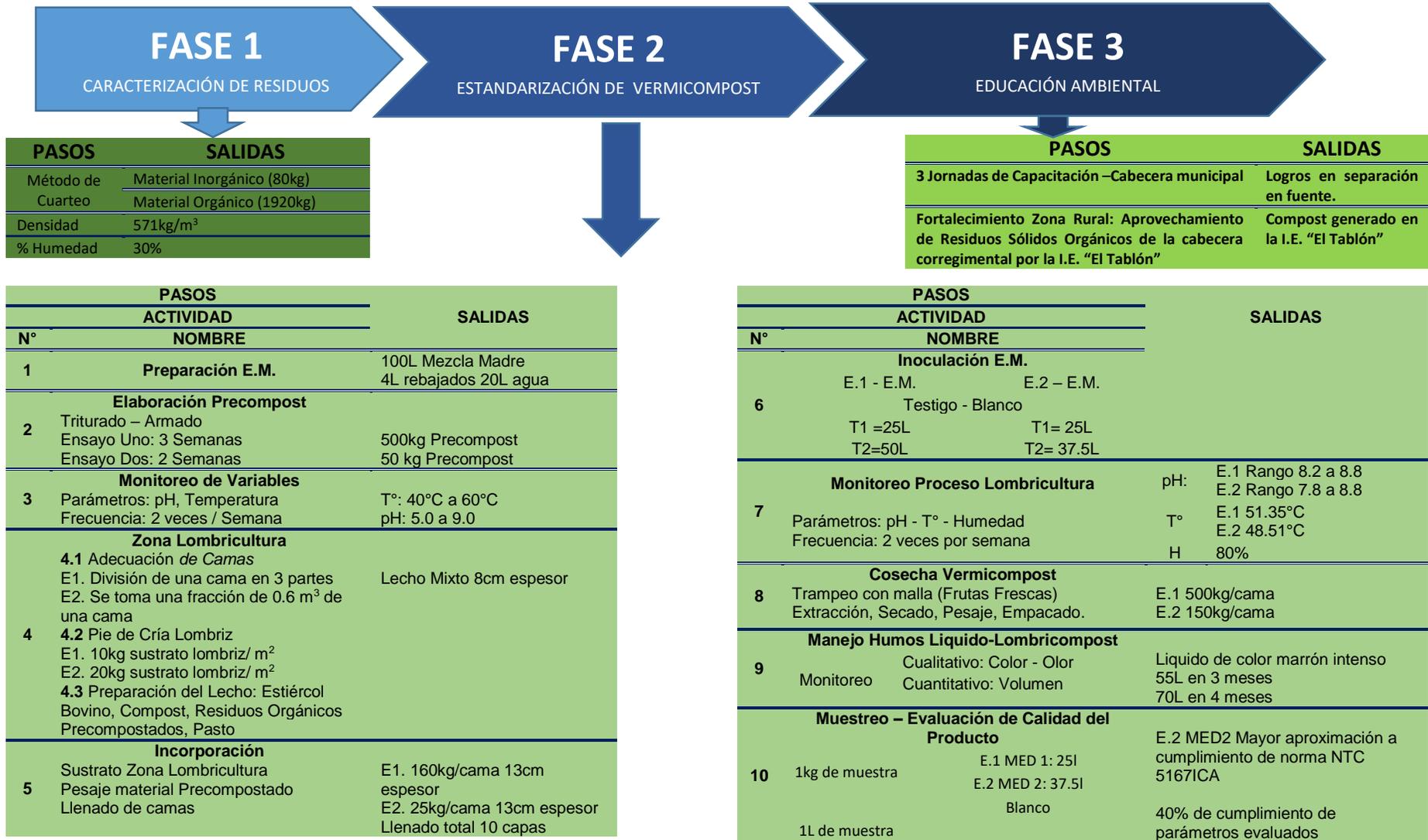


Figura2. Diagrama de metodología

3.1 Fase 1. Caracterización de los residuos sólidos orgánicos

3.1.1 Actividad 1. Adecuación del área de descargue

El área de descargue para los residuos consiste en una zona de aproximadamente de $86.4m^2(4.8\text{ m}\times 18m)$, Esta zona fue escogida como zona de precompostaje debido a sus características de infraestructura tales como tamaño, techado y piso en concreto y fue previamente destinada para la labor de pre-compostaje, debido a la reciente terminación de la segunda fase de construcción de la planta de lombricultura fue necesario realizar en esta zona una adecuación que consistió en tareas de limpieza, reubicando materiales de construcción que para el momento se ubicaban en dicho espacio.

En esta zona fueron recibidos aproximadamente 2 ton/semana de residuos sólidos orgánicos los cuales son generados por toda la población de la cabecera municipal y recolectados por la ruta selectiva que opera una vez por semana; esta zona se dispuso con un espacio libre de obstáculos que facilitaran el descargue de los residuos, así mismo contó con la ayuda de 2 operarios para su respectivo proceso los cuales son financiados por la corporación.

3.1.2 Actividad 2. Caracterización de residuos

Una vez se hizo el descargue de residuos, se procedió, a realizar la caracterización de los residuos mediante el método de cuarteo para poder identificar la composición de los residuos [24]. El proceso consistió en disponer en forma de una circunferencia los residuos y luego se hizo una división en cuartos, de los cuales se escoge dos cuartos y estos a su vez se tuvieron en cuenta para la siguiente circunferencia, de la cual nuevamente se extraen dos cuartos y así se llevó cabo el mismo procedimiento de división por cuartos, hasta lograr una dimensión del tamaño de la muestra de 70cm aproximadamente, siendo esta la muestra representativa. Ver figura 1.[6]

A sí mismo debido a la gran cantidad del material orgánico y a la ausencia de una pesa con suficiente capacidad, se extendió el material orgánico en la zona de pre-compostaje formando un cuadrado de aproximadamente $4.8m \times 6.0m$ y 15cm de espesor, esto con el fin de tomar una fracción uniforme del material para determinar el peso que ingresaba a la planta, para ello se dividió el cuadrado en 4 partes iguales, seguidamente se tomó uno de ellos y fue dividido a su vez en 4 sub partes obteniéndose 16 cuadros, finalmente se toma una fracción de estos últimos para depositarla en una carretilla a término ras de la misma para luego depositarla en una bolsa plástica y pesarla en una báscula de capacidad 120kg determinando un peso de 30kg, de esta manera esta muestra se toma como representativa y se promedia para la totalidad del cuadrado obteniendo un valor de 1920kg, este valor presentó variación durante todo el proceso. En la figura 1 se evidencia el método explicado anteriormente.

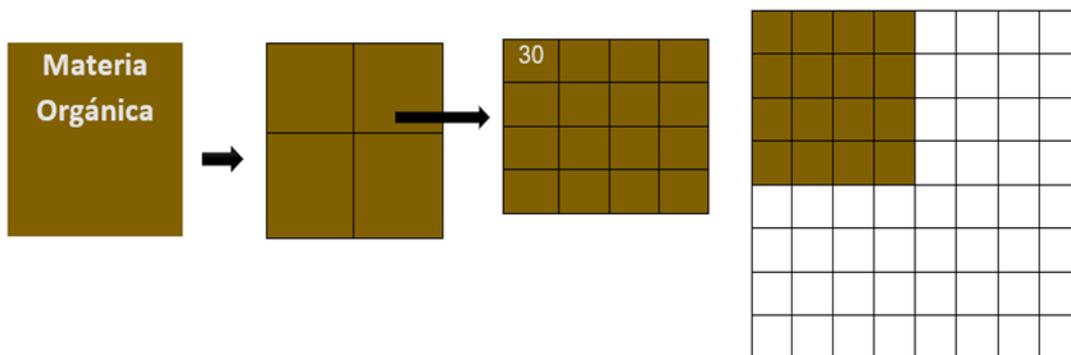


Figura3. Determinación de peso aproximado



Figura4. Caracterización de Residuos
A: Llegada de Residuos. B: Selección



Figura5. Método de cuarteo
Fuente: Elaboración propia.

- Densidad

La densidad de los residuos orgánicos puede variar en una pila de compostaje y pre-compostaje dependiendo del tamaño de la partícula, del grado de humedad de la mezcla, este último puede afectar la circulación normal de oxígeno que es primordial para el trabajo desarrollado por los microorganismos. [17], con el fin de lograr lo indicado anteriormente fue necesario calcular la densidad inicial de los residuos orgánicos, para ello se siguió la metodología propuesta “Determinación de la densidad de los residuos sólidos urbanos” [25], la cual se describe a continuación:

Se pesó una caneca de 30lt vacía (W1) y se calculó el volumen (V), tomando su altura y su diámetro, el volumen de la caneca se calculó con la siguiente fórmula:

$$v = \pi * d^2 * h \quad \text{Ecuación número (1)}$$

Luego se depositaron los residuos sin presionar y se agitaron para llenar los vacíos de la caneca, ocupando todo el volumen.

- Se realizó el pesaje de la caneca llena (W2) y al restar el peso vacío, se obtuvo el peso de los residuos (W).
- Para el cálculo de la densidad se hizo uso de la siguiente fórmula:

$$D \left[\frac{kg}{m^3} \right] = \frac{\text{peso del residuo (w)}}{\text{Volumen de los residuos (m}^3\text{)}} \quad \text{Ecuación numero (2)}$$

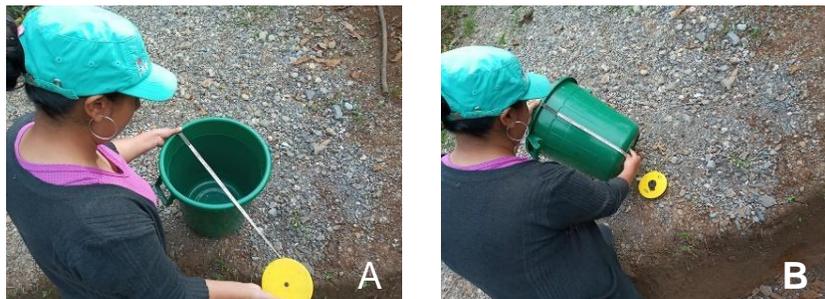


Figura6. Determinación de densidad.
A: Medida de diámetro, B: Medida de altura
Fuente: Elaboración propia (2022)

- Porcentaje de Húmedad [26]

El contenido de humedad de una muestra, se expresa como un porcentaje del peso seco del material húmedo, por la formula:

$$w = \left[\frac{w_m - w_s}{w_m} \right] * 100 = [w_w - w_m] * 100 \quad \text{Ecuación número(3)}$$

Donde:

w : Contenido en la humedad de los residuos sólidos(%)

w_m : Peso de la muestra(kg);

w_s : Peso de la muestra después de secarse a 105°C(kg)

w_w : Peso del agua contenida en los residuos sólidos (kg)

3.2 Fase 2. Proceso de Estandarización de Vermicompost

3.2.1 Actividad 1. Preparación de microorganismos

Como proceso previo al pre- Compost y Lombricompost, fue necesario preparar Los E.M con antelación para su posterior aplicación a los residuos orgánicos, esto con el fin de controlar malos olores, presencia de vectores, generar una rápida descomposición y transformación de los mismos para que finalmente se obtenga un pre-compost en condiciones óptimas para el proceso de lombricomposts. [27]

La preparación de EM se realizó basada en la metodología propuesta en la guía titulada “Técnica Para el Aprovechamiento de Residuos Orgánicos a Través de Metodologías de Compostaje y Lombricultura”[16]. En la cual se estipulan algunos ingredientes como: arroz, arroz integral, quinua o trigo, leguminosa (grano molido), melaza, levadura, suero, yogur y agua de los cuales algunos fueron reemplazados por harina de pescado como activador de microorganismos el yogur por suero debido a la dificultad de adquirirlos en la zona, quedando finalmente los siguientes ingredientes:

- Cuatro onzas de arroz cocinado con sal
- Dos cucharadas de melaza
- Dos cucharadas de harina de pescado
- Nueve litros de agua
- Tres litros de melaza
- Agua
- Levadura (100gr)

Se mezclaron homogéneamente los sustratos los cuales fueron depositados en material de polietileno, se cierran herméticamente y son depositados en una zona donde se consideró no había intervención antrópica, en total fueron 25 captadores de microorganismos. Transcurridas dos semanas fueron desenterrados y se extrajo el arroz impregnado de microorganismos; se dio paso a la mezcla del contenido de todos los captadores en un balde, así al contenido de arroz, se agregaron nueve litros de agua y tres litros de melaza, se mezcló por un lapso de 10 minutos se filtró la mezcla para eliminar la parte gruesa, y se obtuvo 12l de solución madre de microorganismos (bacterias fototróficas, bacterias ácido lácticas, hongos y levaduras).

En un recipiente de 20 l de capacidad se mezclaron 12 l de solución madre, 4l de melaza, levadura, agua limpia sin cloro y se aforo hasta 15 cm antes del borde del recipiente, se cerró el tanque y se dejó fermentar durante 12 días, con la precaución de abrir la tapa periódicamente para facilitar el escape de gas de la fermentación.



Figura7. Capturadores de Microorganismos

Fuente: Elaboración Propia (2022)

3.2.2 Actividad 2. Elaboración de precompost

- Pre- acondicionamiento del material

El material fue secado extendiéndolo sobre el área de pre-compostaje por 3 días se adiciono cascarilla de arroz y cumplido el tiempo se dio inicio a labores de triturado y armado de pilas, la cantidad de material tomada fue 500kg correspondiente al 26% de la totalidad del material ingresado en la planta es decir 1920kg aproximadamente. La metodología utilizada en campo para tener un aproximado de 500 kg fue bajo el patrón determinado previamente en el método de cuarteo, así se utilizó 17 carretillas con un peso cada una de 30kg de material orgánico triturado.

- Armado de pilas

El volumen de cada pila fue calculado bajo los lineamientos establecidos en la metodología propuesta para “diseño de prueba piloto” [11], haciendo uso de la siguiente fórmula Trapezoidal:

$$V= (1/2(b1+b2) ht) hp$$

Formula numero (4)

Donde:

V: Es el volumen a incorporar para cada pila; **b1**: largo de la pila; **b2**: ancho de parte superior de la pila; **ht**: altura de la pila; **hp**: ancho de la pila.

El área total de precompostaje es de 86.4m² (4.8 ancho y 18m largo), así las dimensiones de cada pila fueron: largo 1.5m, ancho 0.75m y alto 0.80m aproximadamente, dejando espacios de 1.40m por carga recibida.

Cada pila fue armada utilizando material seco el cual se describe en la tabla número 2 y fue cubierta con un caparazón de pasto seco con el fin de elevar la temperatura y proteger de vectores y roedores. El porcentaje restante (8.1%) fue completado con cal dolomita. Durante este proceso fue necesario introducir como método de aireación 2" tubos de PVC perforados.

Tabla 2. Ensayo Uno y Dos

| MATERIAL | CANTIDAD | % |
|---------------------|----------|-----|
| MATERIA ORGÁNICA | 500kg | 80 |
| CASCARILLA DE ARROZ | 30kg | 5.1 |
| PASTO | 20kg | 3.4 |
| CISCO | 20kg | 3.4 |

Fuente: Elaboración propia



Figura8. Pre-compostaje.

A: Triturado B: Pilas armadas

Fuente: Elaboración Propia (2022)

3.2.3 Actividad 3. Seguimiento de variables de control en pre-compost.

Con el fin de garantizar un correcto desarrollo en el proceso de pre-compostaje, fue necesario evaluar parámetros como temperatura, humedad y pH; para ello se utilizó como instrumento de medida un termómetro de suelo de compost de acero inoxidable Tecnik, para pH cintas de pH y pH –Metro Pocket-Sized, estos parámetros fueron medidos en el centro de cada pila realizando tres medidas para

temperatura, el pH fue medido al final del pre-compostaje, tanto para el ensayo uno como para el dos, su frecuencia de medida se describen el bitácora de control expresada en anexo F.



Figura9. Monitoreo de parámetros

A: Temperatura B: pH

Fuente: Elaboración propia

3.2.4 Actividad 4. Adecuación de la zona de Lombricompost

Esta zona cuenta con un número de 4 camas en concreto con drenaje para líquidos los cuales son descargados a un tanque con una capacidad de 500L cada una de ellas con un largo de 10m largo, 1.0m ancho y 0.60m alto; cada cama tiene un área de $10 m^2$ y un volumen de $6.0m^3$, su estructura es en hierro y su cubierta en Zinc Plano.

Se acondicionaron las camas para los respectivos ensayos realizando divisiones, así para el ensayo uno en tres partes iguales con medidas de 3.33m largo x 1.0 ancho x 0.60 alto equivalente a $2m^3$, el material utilizado para las divisiones fue madera; para el ensayo número dos, se tomó una fracción de la totalidad de la cama comprendida en 1.0 m largo x 1.0 metro ancho x 0.60 de alto equivalente a $0.6 m^3$ a cual a su vez se dividió en dos partes iguales con un espacio de $0.3m^3$ esto con el fin de promediar fácilmente a partir de esta última los resultados de producción para la totalidad de la planta

- Preparación del lecho

Para el lecho se utilizó una mezcla en capas de material orgánico previamente compostado, estiércol bovino, pasto seco y material orgánico. Teniendo en cuenta la publicación de la FAO manual de compostaje del agricultor [17] se siguió las recomendaciones respecto a proporciones, una proporción 2:1 respectivamente; así

las cantidades de materiales que fueron utilizadas y ajustadas para las camas se describen en Anexo G y anexo H.

- Pie de cría de lombriz

Se utilizó un pie de cría de lombriz de tipo *E. Foetida*, procedente de Mama Lombriz sitio ubicado en la ciudad de Popayán, siguiendo las recomendaciones en cuanto a cantidad de lombriz por m^2 establecida en la publicación de la FAO, Manual de Compostaje del agricultor [17]; para el ensayo número 1 se utilizó: 10kg de sustrato de lombriz $/m^2$ y para el ensayo número 2 se duplico su uso, pues se tuvo en cuenta del primer ensayo una lenta adaptación de la lombriz al nuevo material orgánico, con ello poca reproducción y lentitud en el proceso.



Figura10. Preparación de lecho
A: Base de compost B: Agregado de sustrato de *E. foetida*
Fuente: Elaboración propia

3.2.5 Actividad 5 Incorporación del sustrato en la zona de lombricomposta

Para la incorporación del sustrato se tuvo en cuenta la densidad de los residuos sólidos orgánicos y el volumen de las camas, de esta manera se calculó la masa que sería incorporada en cada cama. [2]

$$D = \frac{M}{V}$$

Formula numero (5)

Previamente a la incorporación del sustrato inicial en las camas de lombricultura, fue necesario su pesaje con el fin de determinar qué cantidad se despostaría para una capa de 13cm de espesor en las respectivas dimensiones de las camas, además de tener en cuenta su compactación durante el pre-compostaje; así se tomó la cantidad de material pre-compostado equivalente a una carretilla a ras, esta fracción se pesa en una báscula de capacidad de 120kg obteniendo un valor de

29kg , de esta manera para el primer ensayo se logra un llenado a 13cm de espesor al incorporar de acuerdo a sus respectivas medidas es decir:3.33m largo x 0.60 ancho x 1.0 alto, 160kg por cama; para el segundo ensayo se logró un llenado a 13cm de espesor con una cantidad de 50kg en total para una fracción de cama de $0.6m^3$ con 2 divisiones, así una cantidad especifica de 25kg para cada una; el material restante entraba en proceso de compostaje.



Figura11. Llenado de camas
A: Pesaje B: Llenado de cama
Fuente: Elaboración propia

3.2.6 Actividad 6. Inoculación de EM en el proceso de vermicompost

Las camas de lombricultura fueron tratadas con E.M en dos tratamientos con diferente dosificación, el riego fue realizado a partir de la solución madre de E.M, de la cual se utilizó 4 litros rebajada en 20 litros de agua, para esta actividad se utilizó una bomba fumigadora para su respectiva aspersion; la inoculación de E.M en este proceso se realizó con el fin de poder minimizar el tiempo de obtención del producto, pues al tratar residuos municipales para este caso de la cabecera de Almaguer se buscó minimizar tiempo en el proceso, además de enriquecer el producto con las sustancias generadas por los E.M las cuales son importantes para asimilación de nutrientes por las plantas. Además del riego con microorganismos fue necesario adicionar agua para llegar a los rangos óptimos de humedad de lombricultura.

Los respectivos tratamientos y dosis se establecieron de acuerdo a los ensayos realizados en "Vermicompost enriquecido con microorganismos benéficos bajo dos sistemas de producción y sus efectos en el rábano (*Raphanus sativus L.*)" [9], este estudio propone una dosis de 50l y 100l, sin embargo, se optó por manejar dosis de menor cantidad no mayor a 50 litros. (Ver tabla 5).

Tabla 3. Descripción de Tratamientos ensayo Uno

| TRATAMIENTO | NOMECLATURA | DESCRIPCIÓN | | Frecuencia de aplicación |
|-------------|----------------|------------------|-------------|--------------------------|
| | | R. Orgánicos | E.M(litros) | |
| T0 | Testigo/Blanco | ----- | 0 | No Aplica |
| T1 | MED1 | Lombricompost+T1 | 25 | Cada 8 días |
| T2 | MED2 | Lombricompots+T2 | 50 | Cada 8 días |

Fuente: Elaboración propia (2022)

Tabla 4. Descripción de Tratamientos ensayo Dos.

| TRATAMIENTO | NOMECLATURA | DESCRIPCIÓN | | Frecuencia de Aplicación |
|-------------|----------------|--------------------|-------------|--------------------------|
| | | Residuos orgánicos | E.M(litros) | |
| T0 | Testigo/Blanco | ----- | 0 | No Aplica |
| T1 | MED1 | Lombricompost+T1 | 25 | Cada 8 días |
| T2 | MED2 | Lombricompots+T2 | 37.5 | Cada 8 días |

Fuente: Elaboración propia (2022)

Tabla 5. Descripción de Nomenclatura

| TRATAMIENTO | NOMENCLATURA | DESCRIPCIÓN |
|-------------|-----------------|---------------------------------------|
| T0 | Testigo/Blanco | Testigo /Blanco |
| T1: MED1 | Tratamiento uno | Microorganismos Eficientes, Dosis uno |
| T2: MED2 | Tratamiento dos | Microorganismos Eficientes, Dosis dos |

Fuente: Elaboración propia (2022)



Figura12. Inoculación de E.M en camas de lombricultura
Fuente: Elaboración propia

3.2.7 Actividad 7. Seguimiento de variables para proceso de lombricultura

Se realizó monitoreo de variables como humedad, Temperatura y pH con una frecuencia de 2 veces por semana, en horas de la tarde. Este proceso permitió establecer las condiciones necesarias para la adaptación de la lombriz, además de garantizarles un ambiente óptimo. La información fue registrada en una bitácora de control y posteriormente sistematizada en tablas de Excel, ver anexo D. Los valores fueron comparados con los rangos establecidos para condiciones ambientales en lombricultura, los cuales se describen en la publicación de la FAO manual de compostaje del agricultor [17].



Figura13. Monitoreo parámetros.
A: Prueba de puño. B: Temperatura
Fuente: Elaboración Propia

3.2.8 Actividad 8. Cosecha de Vermicompost

La cosecha de vermicompost fue realizada para el tratamiento uno cumplidas las 16 semanas y para el tratamiento dos, a las 13 semanas aproximadamente; la metodología utilizada para este proceso fue una trampa de malla con material fresco de frutas como mango, guayaba, banano y cáscara de papa, parte de este material fue recolectado en la plaza de mercado del municipio de Almaguer y el restante en fincas de una vereda cercana a la planta de lombricultura, así a las 8 días de puesta las trampas se procedió a extraerlas.

Luego del trampeo pasadas 2 semanas el material tenía una apariencia de secado adecuado por ello se procede a pesarlo realizando un vaciado en tulas cada una para una capacidad 1 bulto(50kg), además de calcular el peso depositando parte del material seco a ras de una carretilla con el fin de encontrar la diferencia entre los residuos en condiciones normales (% humedad 40) y los residuos después de ser secados.

3.2.9 Actividad 9. Manejo de Humus Líquido de lombricomposta

Se realizó un análisis cualitativo en cuanto precipitado, color y olor; pasadas 7 semanas se observó generación del líquido en el tanque receptor el cual tiene una capacidad de 500litros y solo hasta las 2 últimas semanas del proceso se observó gran generación del mismo con color marrón intenso; para tener un promedio del líquido generado a las 12 semanas (3meses) se vació el tanque receptor el cual está conectado por tubería a las camas de lombricultura, el contenido fue depositado en pomos de una capacidad de 20 litros obteniendo 55 litros aproximadamente, el tanque receptor inicia su llenado desde cero hasta completar las 16 semanas , así durante el último mes se obtuvo aproximadamente 15 litros.

3.2.10 Actividad 10. Muestreo para la evaluación respecto a parámetros de calidad del producto.

Se tomaron muestras de los tres tratamientos de humus sólido bajo la metodología establecida [28], para lo cual se tomó de cada una 1kg de muestra representativa, las muestras se llevaron a el laboratorio Agroambiental de Cali-Valle; para el humus líquido se siguió la metodología propuesta “procedimiento para la toma de muestras nematología y microbiología compost”[29], tomando 1litro de muestra representativa al final del proceso, la muestra se llevó para su análisis al laboratorio Agroambiental Lab.S.A.S; para la respectiva rotulación y cadena de custodia de las muestras se siguió la metodología planteada por el Reglamento técnico del sector de agua potable y Saneamiento Básico -Ras Título F, Sistema de Aseo Urbano.[26]

3.3 Fase 3. Fortalecimiento de Estrategias de Educación Ambiental

3.3.1 Actividad 1. Jornadas de capacitación

Con el fin de generar un fortalecimiento en el programa de aprovechamiento en el marco de desarrollo del PGIRS municipal, se desarrollaron 3 jornadas de capacitación en:

“promoción de la cultura basura cero y las 3R” donde se abordaron temáticas a través de charlas casa a casa relacionadas a la minimización de residuos, así mismo la puesta en práctica desde sus hogares de las 3R.

“Estrategias de aprovechamientos de residuos sólidos orgánicos” Las capacitaciones para este tema se desarrollaron bajo una metodología casa a casa, abordando el tema de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos generados en casa a través de la motivación a cada comunero para la puesta en práctica de composteras caseras y lombricultura en sus huertas.

3.3.2 Actividad 2. Fortalecimiento en la gestión de residuos sólidos orgánicos en el área Rural

Es importante resaltar que adicionalmente al presente desarrollo de propuesta se realizó un significativo fortalecimiento en el programa de Aprovechamiento en el marco del PGIRS municipal desde la zona rural, el trabajo fue desarrollado con el corregimiento El Tablón y su Institución Educativa , con el apoyo de la administración municipal desde la secretaría de desarrollo agropecuario ambiental y económico, en este sentido se ejecutó una gestión en el manejo de los residuos sólidos orgánicos de la cabecera corregimental del Tablón, en articulación con la I.E, Administración municipal y el SENA.

4 APÍTULO IV: RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1 Fase 1. Caracterización de residuos sólidos orgánicos

El material orgánico procedente de la cabecera municipal de Almaguer pasó por un proceso de caracterización a través del método de cuarteo, con el fin de extraer materiales ajenos al proceso, en la siguiente figura es presentan el tipo y cantidad.

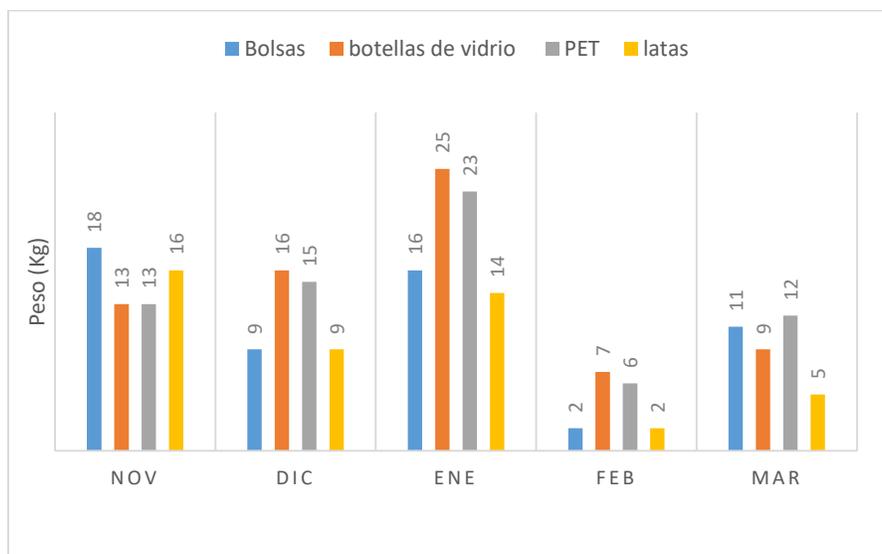


Figura14. Material extraído
Fuente: elaboración propia (2022)

En la figura número 13 se puede observar que del total de residuos caracterizados, excluyendo los de tipo orgánico que equivalen a aproximadamente a 1920 Kg, los siguientes en dominancia corresponden a botellas de vidrio y bolsas plásticas, seguido de PET y latas de distinta variedad, cabe aclarar que los meses de febrero y marzo debido a las condiciones climáticas de la zona impidió el transporte frecuente del material orgánico desde su punto de generación hasta la planta de lombricultura sin embargo a partir de este mes se evidencia una minimización de material inorgánico por ello sus valores bajos.

Así mismo se evaluaron parámetros como densidad (ρ) y porcentaje de humedad(%H), los valores encontrados en campo se especifican en la tabla número 6.

Tabla 6. Parámetros (Densidad- Humedad)

| Densidad | |
|--------------------------|--------------------------------|
| Valor | Referencia |
| 571 kg/m ³ | 150 a 250 kg/m ³ |
| %Húmedad | |
| Valor | Referencia |
| 30% | 35 a 55% |

Fuente: Elaboración propia

El valor de la densidad calculado $\rho = 571 \frac{Kg}{m^3}$, es comparado con los valores recomendados por la FAO para compostaje correspondiente a 150-250kg/m³ aproximadamente[17]; como se indicó en la metodología el tamaño de la partícula está relacionado con la aireación de las pilas lo cual facilita el trabajo de los microorganismos presentes, así mismo cuando se logra un mayor triturado del material orgánico la densidad suele ser mayor, por lo tanto, el valor de la densidad calculada se ajusta a un buen proceso de pre-compostaje.

De acuerdo a los valores estándares recomendados en el Reglamento Técnico de Agua Potable y Saneamiento Básico –RAS Título F para determinar el contenido de humedad los valores típicos a ser tenidos en cuenta para sistemas de complejidad Baja definidos en la Tabla F.1.5 titulada peso unitario y contenido de humedad para residuos sólidos del reglamento en mención [26] entre los cuales están los valores para residuos vegetales mezclados, residuos de frutas(mezclados) comprendidos entre el 60 % a 90% y teniendo en cuenta que Almaguer se encuentra en un nivel de complejidad Bajo y así mismo al tener presente los valores estándar recomendados en el estudio Tasas de generación y caracterización de residuos sólidos ordinarios en cuatro municipios del Área Metropolitana Costa Rica en el cual se expresa que para el caso de los países de América Latina y el Caribe, los residuos tienen un mayor contenido de materia orgánica y una humedad que varía entre el 35% y 55% [28]se puede determinar que el valor calculado correspondiente al 30% de humedad expresado como porcentaje del peso seco del material húmedo, no se encuentra dentro del rango establecido para la primer referencia sin embargo se ajusta para los valores recomendados para la segunda.

Por lo tanto es importante tener en cuenta que el valor de humedad al encontrarse por debajo de los rangos ya mencionados puede detener el proceso de transformación por falta de agua para los microorganismos afectando el proceso de transformación del material orgánico para este caso pre-compostaje con un valor de humedad comprendido entre 45% y 60% [17]como rango ideal y en lombricultura entre 70% - 80%[29] , de igual manera influye en la generación de lixiviados producto de estos procesos.

4.2 Fase 2. Proceso de Estandarización de Vermicompost

4.2.1 E.M Obtenido

Se obtuvieron 100L de una solución madre E.M de 20 L, de la cual se tomó 4l rebajados en 20l de agua.

4.2.2 Seguimiento de variables de control en precompostaje

El monitoreo correspondiente a temperatura tomado en campo tanto para el ensayo número uno y dos comprendidos en un tiempo de tres y dos semanas respectivamente, se especifican en la siguiente figura así mismo en anexo D.

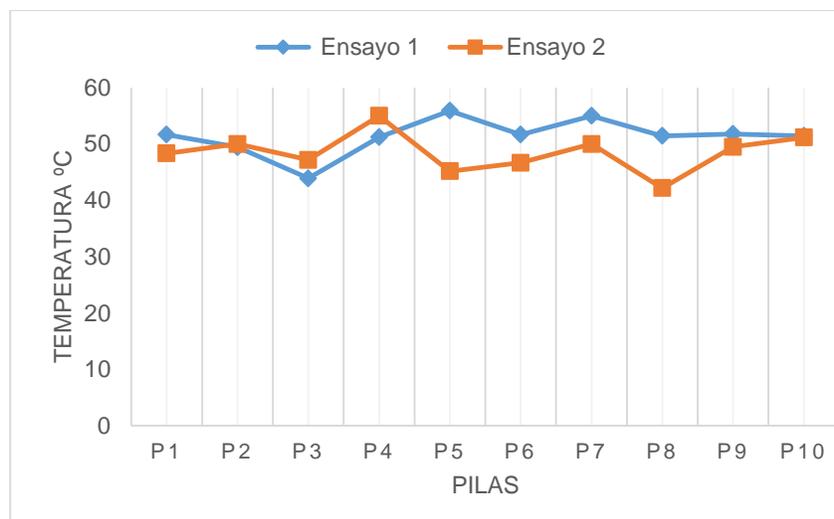


Figura15. Evolución Temperatura promedio ensayo uno y dos.
Fuente: elaboración Propia (2022).

La grafica anterior representa la evolución de la temperatura para los ensayos uno y dos desarrollados en un tiempo de tres y dos semanas respectivamente; se evidencia valores de temperatura por encima de los 50°C para el ensayo uno específicamente para las pilas número 5 a la pila 9, en tanto que en el ensayo dos solo se alcanza valores de 50°C para la pila número 5, pila número 4 y pila número 10. De acuerdo a valores teóricos referenciados en el estudio “Disminución del tiempo de obtención de abono orgánico mediante vermicompostaje como método de estabilización de un residuo en proceso de compostaje”[22], en el cual se establece la variación de temperatura en las diferentes fases de compostaje tales como fase mesófila con una temperatura comprendida entre 20°C a 40°C y fase termófila con una temperatura de 60°C a 70°C, de esta manera se puede determinar que los valores de temperatura expresadas en la figura en mención se encuentran aproximadamente en un rango de 40°C y 60°C, es decir escasamente alcanza una fase termófila.[22].

Al no alcanzar una fase termófila se tiene la seguridad que el material no está totalmente degradado, de ser así dificultaría el proceso de estabilización a través de vermicompostaje en el cual se realiza el proceso de degradación por las lombrices.

En este sentido la evolución de temperatura para el ensayo dos en el cual la elevación de temperatura no sobrepasa los 50°C representa un buen proceso de precompostaje, es decir las variaciones de temperatura son pequeñas y no se ve afectada la actividad microbiana ya que la aireación no se vería alterada y además favorece el proceso de digestión de las lombrices y con ello los nutrientes del sustrato se encuentran más disponibles para ser aprovechados por la lombriz[30].

Cabe aclarar que completadas las dos y tres semanas de precompostaje para los respectivos ensayos fue necesario antes de pasar el sustrato como alimento para la lombriz, una etapa de enfriamiento esto con el fin de acondicionarlo a la temperatura recomendada de acuerdo a literatura en un rango entre 20 °C a 30°C[17], dicho enfriamiento fue realizado extendiendo el sustrato de cada pila por un término de 4 horas.

De igual manera el monitoreo correspondiente a pH tomado en campo tanto para el ensayo número uno y dos comprendidos en un tiempo de tres y dos semanas respectivamente, se especifican en la siguiente figura y así mismo en anexo D.

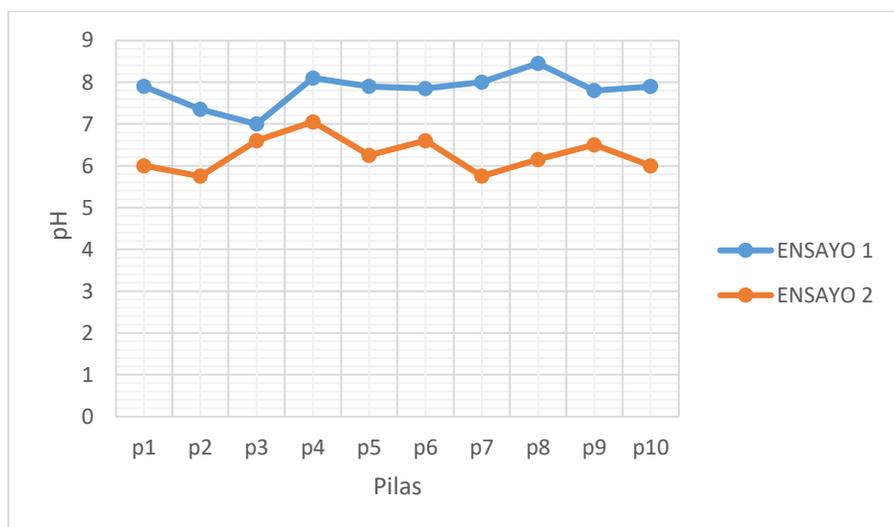


Figura16. Evolución pH promedio ensayo uno y dos.

Fuente: Elaboración Propia (2022).

Se puede evidenciar que la evolución de pH presenta una variación en un rango de 7.0 a 9.0 para el ensayo uno, mientras que para el ensayo dos la variación está comprendida entre valores de 5.0 y 8.0 la diferencia de valores entre los dos ensayos se debe a los días de monitoreo que se establecieron bajo el criterio de

tiempo en el que se podría evidenciar la respectiva evolución de pH para los dos ensayos , así el primer ensayo desarrollado durante tres semanas y el monitoreo de pH tomado a los 11 y 20 días, para el ensayo dos el tiempo de precompostaje fue de dos semanas y el monitoreo de pH a los 6 y 13 días, se realizó en los días ya especificados debido a los tiempos estipulados para el precompostaje de cada ensayo buscando así el mejor tiempo de precomposteo.

En este sentido se logra evidenciar que el ensayo con menor tiempo de precompostaje tiende a manejar un rango de pH menor que el ensayo desarrollado en mayor tiempo de precompostaje, se puede argumentar que los valores de pH para el primer ensayo tienden a incrementarse debido al leve aumento de temperatura indicado en la figura 14 así cuando el material alcanza temperaturas mayores a 45 °C, como es el caso para el ensayo uno se proliferan exclusivamente microorganismos que resisten temperaturas más altas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), las cuales se encargan de degradar fuentes más complejas de C (por ejemplo, la celulosa y la lignina). Además, los microorganismos transforman el nitrógeno en amoníaco y aumentan el pH, mientras que para el ensayo dos la evolución de pH al realizarse en menor tiempo es decir en los primeros estadios del proceso, el pH tiende a acidificarse ya que la materia orgánica entra en descomposición de compuestos solubles, los cuales producen ácidos orgánicos y disminuyen el pH. [31]

De acuerdo a la FAO en su publicación manual de compostaje [17] establece un rango de pH en lombricultura comprendido entre 5.0 a 8.5, sin embargo, de acuerdo a otras bases teóricas puede oscilar entre 5.0 a 9.0 [32]; cabe mencionar que en el proceso de lombricultura se esperan valores de pH tendientes a la alcalinidad, debido principalmente al carbonato de calcio secretado por las glándulas de Morren de la lombriz [18], por lo tanto la evolución de pH para los dos ensayos estaría dentro de los rangos establecidos por literatura, sin embargo en el ensayo dos para la pila número 2 y 7 cuyos valores de pH se encuentran en un valor por debajo de seis se tomaron medidas en campo tales como la adición de material seco como cascarilla de arroz, cal dolomita y material previamente compostado.

4.2.3 Incorporación del sustrato en la zona de lombricomposta

Para el llenado de camas como se especifica en metodología se calculó teóricamente la cantidad de residuos para ser incorporados de acuerdo al volumen de las respectivas camas y a su densidad tomada en campo, así en la siguiente tabla se dan a conocer los resultados.

Tabla 7. Cantidad de material orgánico a incorporar en lombricultura

| DESCRIPCIÓN | VOLUMEN | DENSIDAD | MASA |
|-------------|-------------------|----------------------|---------|
| ENSAYO UNO | 2m ³ | 571kg/m ³ | 1142kg |
| ENSAYO DOS | 0.3m ³ | 571kg/m ³ | 171.3kg |

Masa por cama: Ensayo Uno = 2m³*571kg/m³=1142kg

Masa por cama Ensayo Dos = 0.3m³*571kg/m³=171.3kg

A partir de la tabla número 6, se puede decir que la cantidad total de masa incorporada por cama en trabajo de campo fue mayor a la cantidad teórica anterior expuesta, para el ensayo uno por cama fue 1600kg y en su totalidad 4800kg y para el ensayo dos 250kg y 500kg respectivamente, la diferencia entre los valores teóricos calculados con la cantidad de material orgánico incorporado en campo se debe a la posible variación en el triturado del material y con ello a la variación de la densidad de los residuos orgánicos, es decir a medida que se desarrollaron los ensayos se realizó cada vez mejor un triturado del material, como se había mencionado en los resultados en el aparte de densidad a mayor triturado del material mayor valor de la misma y así mismo el volumen que ocuparía en las camas de lombricultura se esperaba por tanto fuese menor, dejando así más espacio para albergar material orgánico.

4.2.4 Seguimiento de variables para proceso de lombricultura

Los valores de pH fueron tomados teniendo en cuenta que el parámetro de humedad es el más importante para las condiciones de adaptabilidad y actividad de la lombriz en este proceso, así mismo se tomó en cuenta que previamente a este se había realizado monitoreo de este parámetro específicamente en el proceso de precompostaje, así en la siguiente tabla se da a conocer dichos valores.

Tabla 8. Toma de pH lombricultura Ensayo Uno y Dos.

| ENSAYO UNO | ENSAYO DOS | INSTRUMENTO DE MEDIDA | MUESTRA |
|-------------|------------|-----------------------|---------|
| PARÁMETRO | | | |
| VALOR DE pH | | | |
| 8.8 | 8.8 | | Blanco |
| 8.6 | 8.4 | pH Metro | MED1 |
| 8.2 | 7.8 | | MED2 |

Fuente: elaboración Propia (2022).

En este sentido se logra evidenciar que el valor de pH más alto con tendencia a alcalinidad es para la muestra de blanco con un valor de pH de 8.8, este valor se diferencia de las muestras restantes debido a que desde el precompostaje para el

ensayo uno los valores presentados estaban en un rango de 7.0 a 9.0, además de tener en cuenta que en el proceso de lombricultura se esperaban valores de pH tendientes a la alcalinidad, debido principalmente al carbonato de calcio secretado por las glándulas de Morren de la lombriz. [18]

Así mismo para el ensayo uno los valores de pH son mayores que para el ensayo dos, se pueden asociar con los valores de pH del sustrato que venía previamente desde precompostaje ver figura 15, sin embargo, es importante relacionar la incidencia de la aplicación de los microorganismos eficientes a través de los tratamientos ya mencionados.

Se puede decir que para los ensayos uno y dos los cuales recibieron tratamiento con microorganismos eficientes a diferencia del blanco, existió una variación de pH lo cual indica o permite establecer una aproximación en cuanto a la regulación de este y la estabilización del sustrato por parte de los microorganismos eficientes aplicados, al existir una mayor disponibilidad de estos en el sustrato se genera una acción más conjunta entre los microorganismos y la lombriz y así mismo de acuerdo literatura [18], actúan como disipadores de calor lo cual permite que la temperatura no se incremente exageradamente y con el ello el pH se mantenga regulado permitiendo que las lombrices puedan acceder al sustrato sin que la temperatura las dañe o al variar altere el pH.

La temperatura y la humedad son parámetros fundamentales en la lombricultura para garantizar la sobrevivencia de la lombriz [29], en la siguiente tabla número 8 se muestra los valores de temperatura y humedad tomados en campo en sus respectivos monitoreos realizados.

Tabla 9. Temperatura y Húmedad lombricultura Ensayo Uno y Dos.

| TEMPERATURA ENSAYO 1 | TEMPERATURA ENSAYO 2 | HÚMEDAD ENSAYO 1 y 2 |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| TERMOMETRO DIGITAL | | PRUEBA DEPUÑO |
| MONITOREO 1 | | >80% |
| 28°C 30°C | 35°C 30°C | |
| MONITOREO 2 | | |
| 25°C 25°C | 30°C 28°C | |
| MONITOREO 3 | | |
| 28°C 30°C | 28°C 35°C | |
| MONITOREO 4 | | |
| 30°C 30°C | 28°C 30°C | |
| MONITOREO 5 | | |
| 35°C 30°C | 28°C 25°C | |
| MONITOREO 6 | | |
| 28°C 30°C | 30°C 30°C | |
| MONITOREO 7 | | |
| 25°C 28°C | 25°C 28°C | |
| MONITOREO 8 | | |
| 22°C 25°C | 28°C 30°C | |
| MONITOREO 9 | | |
| 22°C 20°C | 22°C 25°C | |
| MONITOREO 10 | | |
| 20°C 25°C | 28°C 30°C | |
| Promedio: 26.8 | Promedio: 28.65 | |

Fuente: elaboración Propia (2022).

Se evidencia que los valores de temperatura y humedad se encuentran dentro del rango recomendado de temperatura óptima para lombricultura entre 20°C a 30°C [17], sin embargo para el ensayo dos se presenta un promedio de temperatura menor comparado con el ensayo uno lo cual es bueno ya que las condiciones de oxígeno son mejor a estos

rangos de temperatura pues aumenta la actividad de los microorganismos mejorando la actuación conjunta entre estos y la lombriz para la transformación del sustrato.[33].

Por otro lado así los valores de temperatura estén dentro del rango óptimo para las lombrices se manejó con precaución los monitoreos en los cuales se alcanzó valores de temperatura de 30°C con el fin de evitar que se elevara más la temperatura y se procedió a introducir sobre las camas de lombricultura tubos de aireación esto con el fin de evitar que la actividad o metabolismo de la lombriz se hubiese afectado negativamente ya que éstas no son resistentes a las altas temperaturas y presencian problemas con el aprovechamiento de los residuos[34]. Así mismo en los monitoreos donde se evidencio valores de temperatura de 20 °C y 22°C para el ensayo uno y dos se tomó medidas para ser aumentada levemente para ello se cubrió las camas con cartón ya que las temperaturas bajas afectan de igual manera la actividad y reproducción de la lombriz. Estos rangos de temperatura de 20°C, 22 °C y 30°C fueron influenciado por los cambios climatológicos de la zona.

4.2.5 Cosecha de vermicompost

La cantidad de compost generado en la planta de lombricultura es de suma importancia para poder evaluar su capacidad de producción y así mismo seguir estableciendo nuevas metodologías que permitan mejorar. En la tabla número 9 se evidencia los valores de producción para los ensayos correspondientes, así mismo la aproximación para la totalidad del material de llegada.

Tabla 10. Producción de Vermicompost

| R. Orgánicos Ingresados | | | Total de Compost generado en la planta | | |
|-------------------------|-----------------------|--------|--|------------------|--------|
| Totalidad (Ton) | %húmedad | | Aproximación | | Tiempo |
| 2 | 30 | | 0.6Ton | | 3 |
| Aproximadamente | Tomado en campo | | Por material de entrada | | Meses |
| Ensayo Uno | | | Ensayo Dos | | |
| Material Incorporado | Compost Generado (kg) | Tiempo | Material Incorporado | Compost Generado | Tiempo |
| 1600kg | 500kg/cama | 4 | 500kg | 150kg/Cama | 3 |
| 1 cama | 1 cama | Meses | 2 camas | 2 cama | Meses |

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al ensayo número dos la relación de obtención de humus sólido por alimento incorporado es de 150kg de humus por 500kg de alimento incorporado para una cama de 1m³, aprovechándose el 30% del material inicial incorporado, se debe tener en cuenta que el porcentaje faltante corresponden a las pérdidas especificadas en anexo I. además, se debe tener en cuenta las pérdidas por los mismos procesos físicos, biológicos y de compactación que tienen lugar durante toda la fase de degradación del material orgánico. De acuerdo al estudio titulado “Propuesta para el aprovechamiento de residuos sólidos vegetales de la plaza de mercado” [23] la relación de obtención de humus es de 60Kg por cada 100kg de

alimento incorporado, aprovechándose el 60%, en el caso presente se obtiene un aprovechamiento del 30% para el ensayo dos tomado como base éste para promediar la totalidad de producción de la planta, en este sentido a pesar de las perdidas mencionadas y las que normalmente se dan por los proceso físicos, biológicos y de compactación este porcentaje requiere ser mejorado para próximos ensayos.

4.2.6 Manejo de humus liquido de lombricomposta

Los resultados de producción de humus liquido así como sus características cualitativas presentadas durante el proceso pueden considerarse que se encuentran dentro de las establecidas en la guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos [16], en la cual se especifica que el líquido debe ser inoloro, de color muy oscuro y rico en nutrientes. Sin embargo, frente al volumen generado no se especifica con precisión un valor general de producción.

Tabla 11. Humus líquido

| CANTIDAD DE HUMUS DE LOMBRIS | TIEMPO |
|------------------------------|---------|
| 55 litros | 3 meses |
| 70 litros | 4 meses |

CARATERIZACION FÍSICA

Se evidencio un color marrón intenso, después de su proceso de fermentación (15 días) no se percibió olor.

Fuente: Elaboración propia (2022)

4.2.7 Evaluación respecto a parámetros de calidad del producto

- Análisis de Humus sólido

A continuación, se presentan los resultados correspondientes a la caracterización de abono orgánico en las muestras respectivas, las cuales se describen en la tabla N°13, los resultados fueron analizados por el laboratorio Agroambiental. LAB S.A.S, registrado ante el ICA según la resolución 005823 del 26 de diciembre de 2012, (Ver anexo D). A fin de corroborar la calidad de la muestra del producto generado, los resultados son comparados con los requisitos establecidos para abono orgánico de calidad bajo la norma NTC 5167 DE 2014.[35]

Tabla 12. Cumplimiento de resultados con norma NTC 5167 ICA

| PROPIEDAD | UNIDAD | NTC 5167 | MUESTRA 1 BLANCO | MUESTRA2 ENSAYO UNO: MED2 | MUESTRA3 ENSAYO DOS: MED2 | CUMPLIMIENTO NTC 5167 ICA | | |
|--|----------|----------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------|--------------|
| | | | | | | BLANCO | MUESTRA 2 | MUESTRA 3 |
| CARACTERÍSTICAS EXCLUSIVAS | | | | | | | | |
| pH | N. A | > 4 – 9 < | 8.79 | 8.92 | 8.01 | SÍ | SÍ | SÍ |
| CARACTERÍSTICAS COMPLEMENTARIAS | | | | | | | | |
| Húmedad | % | Max 35 | 2.81 | 2.17 | 6.39 | SÍ | SÍ | SÍ |
| Carbono Orgánico Oxidable Total (COT) | % | Min. 15 | 9.16 | 8.05 | 14.38 | NO | NO | NO |
| Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) | meq/100g | Min. 30 | 24.99 | 22.01 | 30.03 | NO | NO | SÍ |
| Perdida por Volatilización | | | 7.35 | 6.84 | 18.41 | ----- | ----- | ----- |
| Retención de Húmedad | % | Min. 100% | 2.18 | 2.17 | 6.39 | NO | NO | NO |
| Cenizas | % | Máx. 60 | 92.65 | 93.16 | 81.58 | NO | NO | NO |
| Relación C: N | % | No específica | 4:20 | 4:9 | 4:7 | ---- | ---- | ---- |
| PRINCIPALES NUTRIENTES | | | | | | | | |
| Nitrógeno Total (N-Total) | % | Declarado sí es > a1 | 2.18 | 1.63 | 3.07 | SÍ | SÍ | SÍ |
| Fósforo Total (P2O5) | % | Declarado sí es > a1 | 1.57 | 1.49 | 2.59 | SÍ | SÍ | SÍ |
| Potasio Total (K2O) | % | Declarado sí es > a1 | 0.74 | 1.53 | 1.31 | NO | SÍ | SÍ |

Fuente: Agroambiental. Lab.S.A.S (2022), NTC 5167 de 2004.

Los valores establecidos de acuerdo a la norma NTC 5167 para determinar la calidad de abono orgánico y de acuerdo a los resultados generados por el laboratorio Agroambiental. Lab S.A.S de las tres muestras enviadas cabe resaltar que la muestras dos y tres correspondientes a ensayo uno y dos (T1:MED2), (T2:MED2) son las que cumplen con el 100% de la sumatoria de porcentajes para parámetros como pH y macronutrientes; por el contrario, se evidencio unos valores bajos menores a 10 para las tres muestras en (C: N, % Húmedad) y valores mayores a 90% para Cenizas.

La NTC no especifica valores para relación C:N sin embargo, hay valores teóricos, de acuerdo al el Reglamento técnico del sector de agua potable y Saneamiento Básico -Ras Título F [26], la relación se considera adecuada cuando está en un rango de 20 - 30, sin embargo, existen otras bases teóricas que proponen una relación C/N menor.[33] Uno de los parámetros más importantes en la caracterización de abono orgánico corresponde a la relación C:N siendo este balance el que influye en la disponibilidad de los mismos los cuales son necesarios para los microorganismos y para lograr la degradación de materia orgánica, en este sentido los resultados para las tres muestras mostraron deficiencia para este parámetro debido posiblemente a que el material orgánico inicial no tuvo la mezcla óptima para lograr un balance de C:N.

Los resultados de la muestra número tres perteneciente al ensayo numero dos (T2:MED2) presenta más acercamiento a los criterios establecidos por la norma NTC 5167, así el valor de Carbono Orgánico Oxidable Total (COT) fue en un % de 14.38 muy cercano al que establece la norma NTC 5167 Máx. 15%, así mismo para Nitrógeno Total (N-Total) 3.07 %, la norma establece declarado sí es > a1%.

Al comparar los parámetros restantes se evidencia un incumplimiento para las tres muestras, acentuándose más para la muestra uno correspondiente al blanco, en este sentido y de acuerdo a los criterios de aceptación o rechazo estipulados en la norma NTC 5167 en los cuales establecen que “sí la muestra no cumple con uno o más de los requisitos establecidos en esta norma será rechazado el lote” , el producto final obtenido de la biofabrica de bioabono es rechazado como abono orgánico de calidad.[11]

Sin embargo, es importante resaltar que el ensayo numero dos (T2:MED2) mostro maduración del compost en un tiempo menor (tres meses + una semana de secado) comparado con el tratamiento uno (cuatro meses una semana de secado), esto debido al enriquecimiento del sustrato con dosificación de E.M (37.5 litros) los cuales en conjunto con la labor de *Esenia Foetida* aceleraron el proceso de degradación del material orgánico. En el estudio “Optimization of bokashi-composting process using effective microorganisms-1 in smart composting bin”[36] se ha comprobado que con la menor cantidad de EM-1 madre cultivada, los residuos

orgánicos pueden descomponerse más rápidamente que utilizando una cantidad mayor de cultivo madre EM-1.[36] Por lo tanto la dosis mencionada es la que mejor resultado presento para el ensayo dos y la que más se aproximó a cumplir con los estándares de la norma en mención.

Así mismo es importante mencionar la posible causa del no cumplimiento con algunos parámetros, se puede hacer alusión a la mezcla inicial para precompostaje la cual de acuerdo a los resultados se infiere no fue la adecuada, es decir la relación C:N de las tres muestras se encuentran por debajo del rango adecuado y por ello para superar este requerimiento se debe agregar materiales con alto contenido de carbono lo cual a su vez mejoraría aún más la actividad de microorganismos, así al seguir lo recomendado por el reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico -Ras Título F, en el cual se propone utilizar como referente materiales potencialmente utilizables para la corrección de nutrientes en la mezcla de acuerdo a los valores definidos en la tabla F.5.4. así mismo haciendo uso de la ecuación (F.5.8), se puede previamente corregir la mezcla llegando a obtener un dato más preciso dependiendo de la cantidad de material de entrada con su respectiva relación C:N y su respectivo calculo para los requerimientos específicos de carbono o nitrógeno, según sea el caso.[26]

Es importante también mencionar los resultados de las dos muestras respecto al blanco las cuales presentan significativas diferencias especialmente en los parámetros de COT, CIC y K_2O , así en los valores de COT para la muestra número tres con un valor de 14.38% sobrepasa significativamente al blanco el cual presento un valor de 9.16%, de igual manera para los valores de CIC llegando a 30.03meq/100g mientras que el blanco alcanza un valor de 24.99 meq/100g, en tanto que K_2O para la muestra tres es mayor a uno, es decir 1.31 para el blanco viene siendo menor con 0,74, estas diferencias pueden ser debido a la incidencia de los microorganismos eficientes aplicados a través de los diferentes tratamientos para la dos muestras, a diferencia del blanco que evidentemente no recibió dicha aplicación. Se sustenta cuando la alta actividad microbiana genera una mayor degradación del material orgánico liberando aminoácidos, glúcidos y sustancias húmicas solubles como compuestos orgánicos que contribuyen a la facilidad de intercambio catiónico y por ende a la liberación de nutrientes[37]

La muestra número dos correspondiente al primer ensayo y presenta significativas diferencias respecto al blanco en los parámetros en mención, pero no mayores diferencias en comparación a la muestra 3 del ensayo dos, sin embargo existe una excepción en cuanto al % de cenizas cuyo valor fue de 93.16 %, superando así el 92.65% para el blanco, el 81.58 % para la muestra tres y también el máximo establecido por norma correspondiente al 60% en valor de cenizas, así mismo para esta muestra el valor del pH fue de 8.92, siendo el más elevado comparado con el blanco y la muestra tres, por lo tanto al tener en cuenta que la dosis de microorganismos para este ensayo fue mayor que para la muestra tres, se puede hacer una aproximación en la influencia de la dosis de microorganismos, volviendo

a citar el estudio [36] en el cual se ha comprobado que con la menor cantidad de EM-1 madre cultivada, los residuos orgánicos pueden descomponerse más rápidamente que utilizando una cantidad mayor de cultivo madre EM-1.

- Análisis de Humus líquido.

Los resultados del análisis de humus líquido realizado en el Laboratorio Agroambiental. Lab S.A.S son comparados con la Ficha Técnica del producto: Fertilizante Orgánico de Lombriz San Rafael Líquido (Concentrado soluble) Con Registro ICA : 2688[38], esto con el fin de conocer la aproximación de cumplimiento del subproducto generado por el aprovechamiento.

Tabla 13. Cumplimiento de parámetros de Humus líquido

| PARAMETRO | UNIDAD | MUESTRA 1 | REFERENCIA [38] | APROXIMACIÓN DE CUMPLIMIENTO |
|--|-------------|---------------|-----------------|------------------------------|
| pH | N. A | 8.12 | 9.5 | SÍ |
| Conductividad Eléctrica | uS/cm | 69.51 | No identifica | |
| Densidad | g/cc | 0.9464 | 1.2 | SÍ |
| Carbono Orgánico Oxidable Total (COT) | g/l | 7.01 | 20 | NO |
| Nitrógeno Total (N-Total) | g/l | 15.53 | 60 | NO |
| Fósforo Soluble (P ₂ O ₃) | g/l | 27.48 | 35 | SÍ |
| Potasio Soluble (K ₂ O) | g/l | 11.26 | 100 | NO |
| Calcio Soluble (CaO) | g/l | 0.21 | 0.1 | NO |
| Magnesio soluble (MgO) | g/l | 0.1 | 0.07 | SÍ |
| Azufre (S) | g/l | 4.07 | 2.3 | SÍ |
| Hierro soluble (Fe) | mg/l | 48.63 | 40 | SÍ |
| Cobre soluble (Cu) | mg/l | 7.26 | 175 | NO |
| Zinc soluble (Zn) | mg/l | 19.65 | 1000 | NO |
| Magnesio soluble (Mn) | mg/l | 20.07 | 80 | NO |
| Boro soluble (B) | mg/l | 6.02 | 0.6 | NO |
| Sólidos soluble (Na) | g/l | 6.45 | 320 | NO |

Fuente: Agroambiental. Lab.S.A.S (2022)

Se evidencia los resultados de diferentes parámetros de humus líquido obtenido en la planta de lombricultura en mención, los cuales al ser comparados de acuerdo a la Ficha Técnica del producto: Fertilizante Orgánico de Lombriz San Rafael Líquido (Concentrado soluble) Con Registro ICA : 2688[38]; en este sentido para realizar la respectiva comparación se asume un criterio de cercanía a los valores de la ficha con el objetivo de llegar a una conclusión aproximada, por lo tanto del 100% de los parámetros de la muestra de humus líquido de la planta de lombricultura de Almaguer se puede decir que hay cumplimiento para un 40%, específicamente para

pH, Densidad, Fósforo Soluble (P_2O_3), Magnesio Soluble (MgO), Azufre (S), Hierro Soluble (Fe)

Al tratarse de un subproducto del proceso de lombricultura el no cumplimiento de la totalidad de los parámetros depende del proceso de pre-compostaje en el cual se debe mejorar la mezcla inicial como se ha venido mencionando, lo cual permitiría una alimentación de la lombriz con materiales que contribuyan a mejorar los rangos tanto de macro y micronutrientes, cabe mencionar que las cantidades de materia orgánica consumida por la lombriz y las deyecciones forman agregados estables los cuales a su vez están formados de materia orgánica y mineral ofreciendo así un producto rico en nutrientes, lo que cual caracteriza al humus.[39].

Otra posible influencia en el no cumplimiento está relacionada con la estructura de la planta, así las camas de lombricultura tiene un drenaje propio para lo conducción de humus liquido de cada una de estas, sin embargo, el destino final del efluente es un solo tanque en el cual se une todo el humus liquido de las camas de lombricultura, estas condiciones pudieron influir en los resultados debido a la mezcla de los tratamientos utilizados en los diferentes ensayos

4.2.8 Estadística descriptiva

A continuación, se expresan los resultados de estadística descriptiva arrojados por el Software Past4.04, así mismo la figura número 16 se indica la estimación de error estándar y desviación estándar.

Tabla 14. Resultados estadística descriptiva

| DESCRIPTION | pH | HUMEDAD | CIC | COT | N-Total | P ₂ O ₃ | (K ₂ O) |
|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------------------|--------------------|
| N | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Min | 8.01 | 2.17 | 22.011 | 8.05 | 1.63 | 1.49 | 0.74 |
| Max | 8.92 | 6.39 | 30.03 | 14.38 | 3.07 | 2.59 | 1.53 |
| Sum | 25.72 | 11.37 | 77.031 | 31.59 | 6.88 | 5.65 | 3.58 |
| Mean | 8.573333 | 3.79 | 25.677 | 10.53 | 2.293333 | 1.883333 | 1.193333 |
| Std. error | 0.2841557 | 1.313063 | 2.340233 | 1.951487 | 0.4195368 | 0.3540872 | 0.2353956 |
| Variance | 0.2422333 | 5.1724 | 16.43007 | 11.4249 | 0.5280333 | 0.3761333 | 0.1662333 |
| Stand. dev | 0.4921721 | 2.274291 | 4.053402 | 3.380074 | 0.726659 | 0.6132971 | 0.4077172 |
| Median | 8.79 | 2.81 | 24.99 | 9.16 | 2.18 | 1.57 | 1.31 |
| 25 prntil | 8.01 | 2.17 | 22.011 | 8.05 | 1.63 | 1.49 | 0.74 |
| 75 prntil | 8.92 | 6.39 | 30.03 | 14.38 | 3.07 | 2.59 | 1.53 |
| Skewness | -1.597097 | 1.579024 | 0.7407836 | 1.524287 | 0.6847699 | 1.698954 | -1.182224 |
| Kurtosis | -2.333333 | -2.333333 | -2.333333 | -2.333333 | -2.333333 | -2.333333 | -2.333333 |
| Geom. mean | 8.563713 | 3.390176 | 25.46755 | 10.19726 | 2.217826 | 1.823036 | 1.14042 |
| Coeff. var | 5.740732 | 60.00768 | 15.78612 | 32.09947 | 31.68571 | 32.56445 | 34.16625 |

Fuente: Software Past 4.04.

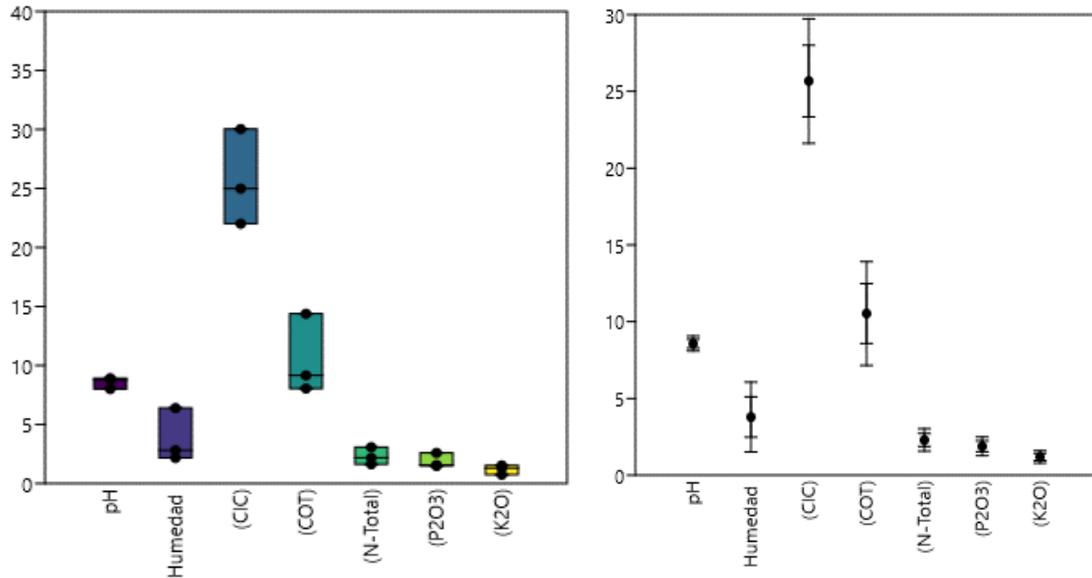


Figura17. Error estándar- media y desviación estándar

De acuerdo a los resultados de estadística descriptiva expuestos en la tabla número 14 y así mismo en las figura número 16 se evidencia que los valores correspondientes a CIC, y macronutrientes presentan menor dispersión en comparación con los valores restantes, de igual manera el valor de la media para CIC se encuentra en 25 y para macronutrientes se ubica por debajo de 3, contrariamente en los valores de COT y Humedad se evidencia mayor dispersión y sus medias se ubican en valores cercanos de 10 y 3 respectivamente.

4.3 Fase 3. Fortalecimiento de estrategias de educación ambiental

4.3.1 Jornadas de capacitación ambiental

Se logro brindar educación ambiental a través de capacitaciones en los diferentes barrios del municipio de Almaguer abordando las temáticas especificadas en metodología; la participación de la comunidad fue buena ya que estuvieron prestos a recibir la información, así mismo expresaron que no tenían claridad sobre la clasificación de los residuos generados en su hogar, especificando que tenían cierta confusión en la separación de los residuos inorgánicos aprovechables de los no aprovechables, de igual manera sugirieron se realizarán con más frecuencia este tipo de capacitaciones convocando a la comunidad de los diferentes barrios.

Este proceso fue complementado con el acompañamiento y orientación realizado a los operarios de la empresa de aseo municipal APC lo cual llevo a obtener avances en cuanto a la problemática de separación en fuente, lo cual se evidencio en la disminución de material inorgánico extraído en la planta de lombricultura para el mes de marzo ver figura número 13, cabe anotar que aunque para este mes la llegada del material a la planta fue intermitente debido a la obstrucción del paso

vehicular a causa de la ola invernal para ese momento, en las cargas de material orgánico recibido en planta fue notorio el cambio en mención.

4.3.2 Fortalecimiento en la gestión de residuos sólidos orgánicos en la zona rural

El aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos realizado en la planta de lombricultura fue replicado en el corregimiento ya mencionado específicamente en su Institución Educativa, se logró incorporar la técnica de compostaje y lombricultura para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos generados en la cabecera corregimental , esta iniciativa con llevo a recibir apoyo en educación ambiental por parte del SENA logrando capacitar en temas relacionados al manejo de residuos sólidos a alrededor de 20 personas entre comuneros, estudiantes y docentes. Hasta el momento el corregimiento del Tablón y su institución educativa son los primeros a nivel municipal en dar aprovechamiento a sus residuos sólidos orgánicos para la generación de abono orgánico.

5 CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El producto generado en la biofabrica al no estar dentro de los criterios de aceptación para abono orgánico estipulados por la norma NTC 5167 del ICA, no se clasifica como abono orgánico de calidad, la selección de material inicial para lograr un balance de C:N no fue el apropiado y se requiere precisar de manera exacta la calidad del abono orgánico realizando una selección de sustratos con las adecuadas relaciones C/N.
- La muestra número tres del ensayo numero dos (T2:MED2) mostro maduración del compost en un tiempo menor comparado con el ensayo uno, se infiere que el tratamiento aplicado para este ensayo genero un mejor trabajo conjunto entre *Eisenia Foetida* y los microorganismos eficientes, acelerando la degradación del material orgánico.
- El mejor tiempo de pre-compostaje adecuado para la previa maduración del material orgánico fue el de dos semanas, debido a que en este tiempo las condiciones del material orgánico se encuentran medianamente fresco y es de más fácil adaptación para *Eisenia Foetida* comparado con un pre-compostaje de 3 semanas en el cual se evidencio la lenta adaptación de la lombriz.
- De acuerdo a la cantidad de compost generado en el ensayo dos se realizó una aproximación para la producción de compost en la totalidad de la planta, en este sentido se infiere que la planta requiere una mayor ampliación en camas de lombricultura (2 a 3 camas) con el fin de lograr el aprovechamiento de los residuos orgánicos generados semanalmente en la cabecera municipal.
- El método de aireación en la fase de pre-compostaje fue de suma importancia pues evito putrefacción del material y disminuyo la labor de volteos.
- Los procesos de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos pueden ser replicados desde las cabeceras municipales hacia las áreas rurales no se debe perder de vista esta importante iniciativa, así la presente pasantía se direcciono no solo a la obtención del producto generado en la planta de lombricultura del municipio sino también en un segundo momento a la gestión de residuos sólidos orgánicos de la cabecera corregimental del Tablón siendo esta una área rural y a través de esto a la obtención de compost generado en este corregimiento a partir del aprovechamiento de sus residuos sólidos orgánicos.

5.2 RECOMENDACIONES

- Realizar una mejor selección del material tanto inorgánico como orgánico ya que se evidencio que gran variedad de este último no era apropiada para un proceso de obtención de compost.

- Se debe garantizar la trituración de los materiales con tamaños aproximados de 1.5 y 2.5 cm bajo un equipo triturador funcional para tal fin, esto con el propósito de no interrumpir las fases de biodegradación del proceso de pre-compostaje de esta manera se recomienda realizar las respectivas modificaciones a la trituradora que permitan un mejor picado del material orgánico.

Para precisar de manera exacta la calidad del abono orgánico después de la selección de sustratos con las adecuadas relaciones C/N, es importante caracterizar los parámetros según la NTC 5167 de 2004 tanto del producto inicial y comparar con los del producto final, este con lleva a un balance de masas que muestra la degradación de materia respecto al enriquecimiento de nutrientes, para tal fin se recomendado aplicar los estipulado en el reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico -Ras Título F, en el cual se propone utilizar como referente materiales potencialmente utilizables para la corrección de nutrientes en la mezcla de acuerdo a los valores definidos en la tabla F.5.4. y así mismo haciendo uso de la ecuación (F.5.8), corregir la mezcla llegando a obtener un dato más preciso dependiendo de la cantidad de material de entrada con su respectiva relación C: N y su respectivo calculo para los requerimientos específicos de carbono o nitrógeno, según sea el caso.

6 BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. P. Sánchez-muñoz and J. G. Cruz-cerón, "Gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina : un análisis desde la perspectiva de la generación," vol. 11, pp. 321–336, 2019, [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S2248-60462019000200321&script=sci_abstract&tlng=es.
- [2] M. Á. Arias Ortiz and L. D. Piñeros Reyes, "Determinación de la calidad de abono obtenido mediante el lombricultivo usando diferentes tipos de estiércol, para establecer su factibilidad de comercialización, en el Centro Agropecuario Marengo," *Univ. La Salle Cienc. Unisalle*, vol. 1, p. 94, 2018.
- [3] Y. López and B. Franco, "Gestión de residuos sólidos urbanos: Un enfoque en Colombia y el departamento de Antioquia," *Cuaderno Activa Revista Científica De La Facultad De Ingeniería*, vol. 11. pp. 133–154, 2020.
- [4] F. Hoyos, "Plan de Desarrollo Municipal Almaguer," 2015. <https://repositoriocdim.esap.edu.co/bitstream/handle/123456789/15774/18031-1.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (accessed Jul. 24, 2022).
- [5] Superservicios and DANE, "Informe Nacional De Disposición Final De Residuos Sólidos 2020," *Inf. Nac. Disposición Final Residuos Sólidos*, p. 94, 2021, [Online]. Available: https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2022/Ene/informe_df_2020.pdf.
- [6] P. . N. Galindez, D.Narvaéz, J.Beltrán, "Plan De Gestión Integral De Residuos Sólidos Municipio de San Luis Almaguer y se dictan Otras disposiciones," 2018.
- [7] Ministerio del Medio Ambiente, "Política Para la Gestión Integral de Residuos." http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/residuos/politica_y_plan_de_accion/politica_de_residuos.pdf (accessed Oct. 08, 2021).
- [8] "Boletín Técnico cuenta Satélite Ambiental CSA," *Dane Información para todos*, 2019. https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/ambientales/cuentas_ambientales/cuentas-residuos/Bt-Cuenta-residuos-2019p.pdf (accessed Oct. 28, 2021).
- [9] S. Velecela, V. Meza, S. García, J. Alegre, and C. Salas, "Microbial enrichment vermicompost under two production system and its effects on radish (*Raphanus sativus* L.) production," *Sci. Agropecu.*, vol. 10, no. 2, pp. 229–239, 2019, doi: 10.17268/sci.agropecu.2019.02.08.
- [10] L. B. Angeles Torres, "Universidad De Huanuco," *Fac. Ciencias La Salud Esc. Académico Prof. Obstet.*, vol. 1, p. 72, 2021, [Online]. Available: http://repositorio.udh.edu.pe/bitstream/handle/123456789/238/uzuriaga_cespedes_ever_tesis_maestria_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- [11] L. Paola and R. Martínez, "Ciencia Unisalle Evaluación de la calidad del compost obtenido con polímero refrigerante en el proceso de compostaje convencional," 2018, [Online]. Available: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/776/.
- [12] S. Akhavan and V. M. Goldberg, *Planta De Lombricompost A Partir De Desechos Sólidos Organicos De Origen Alimenticio Provenientes De Las Plazas De Mercado*

En La Ciudad De Bogotá, D.C, no. 465. 2018.

- [13] “EOT-Almaguer Cauca.Dimensión Económica,” 2013. <https://www.scribd.com/doc/57007284/eot-almaguer-diagnostico> (accessed Jul. 22, 2021).
- [14] P. . J.Andrés,B.Perafan, “Plan de Desarrollo Territorial"Continuemos Juntos ".” https://almaguercauca.micolombiadigital.gov.co/sites/almaguercauca/content/files/000429/21421_3-plan-desarrollo-continuemos-juntos-20202023.pdf (accessed Jul. 22, 2022).
- [15] Mezu.L, “Normatividad Ambiental Colombiana,” 2018. https://www.academia.edu/38716887/Normatividad_Ambiental_Colombiana (Accessed Oct. 28, 2021).
- [16] U. A. Especial, “Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura,” 2014. https://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf.
- [17] P. . Roman.p, Martinez.M, “Manual de Compostaje de la Agricultura,” 2013. <https://www.fao.org/3/i3388s/l3388S.pdf> (accessed Jun. 24, 2022).
- [18] E. N. La, D. Poblacional, and D. E. Einsenia, “Precomposteo De Residuos Orgánicos Y Su Efecto,” Vol. 37, No. 1, Pp. 127–139, 2013.
- [19] M. Rastogi, M. Nandal, and B. Khosla, “Microbes as vital additives for solid waste composting,” *Heliyon*, vol. 6, no. 2, 2020, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e03343.
- [20] J. . Cespedes.Stefani, “Desarrollo De Un Proceso De Compostaje Para El Aprovechamiento De Lodos Resultantes De La Planta De Tratamiento De Agua Potable Francisco Wiesner EAAB-ESP.,” Fundación Universidad América, 2018.
- [21] M. Tanya Morocho and M. Leiva-Mora, “Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas,” *Cent. Agrícola*, vol. 46, no. 2, pp. 93–103, 2019.
- [22] S. A. Pedraza Pachón and L. A. Hernández Sanabria, “Disminución del tiempo de obtención de abono orgánico mediante vermicompostaje como método de estabilización de un residuo en proceso de compostaje,” *Av. Investig. en Ing.*, vol. 16, no. 2, pp. 52–63, 2019, doi: 10.18041/1794-4953/avances.1.5439.
- [23] Rodriguez.M, “Propuesta para el aprovechamiento de residuos sólidos vegetales de la plaza de mercado"La Gran plaza Campesina" de Suba a través de sistema de lombricultura,” Fundación Universidad de América, 2021.
- [24] O. Vargas, J. Trujillo, and M. Torres, “El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento.,” *Orinoquia*, vol. 23, no. 2, pp. 123–129, 2019, [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-37092019000200123.
- [25] D. Serna, “Caracterización y aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos generados en la urbanización el Paraíso del municipio de San Andrés de Cuerquia.,” UNAD, 2019.
- [26] S. B. Ras, J. M. Mendez, M. Rivera, and A. Vargas, *Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Sistemas de Aseo Urbano*. .

- [27] A. M. Fababa, "Evaluación de parámetros básicos (humedad, cenizas y volumen) a partir de restos orgánicos del mercado central de la ciudad de Rioja.," pp. 1–71, 2019, [Online]. Available: <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3292>.
- [28] J. Herrera, J. Rojas, and D. Anchia, "Generation Rates and Characterization of Ordinary Solid Waste in Four Municipalities of the Metropolitan Area Costa Rica," *Rev. Geogr. Am. Cent.*, no. 57, pp. 235–260, 2016.
- [29] "Manual de compostaje del agricultor," 2013. <https://www.fao.org/family-farming/detail/es/c/339921/>.
- [30] O. O. Fertilizer and C. Process, "Disminución del tiempo de obtención de abono orgánico mediante vermicompostaje como método de estabilización de un residuo en proceso de compostaje Time ' s Reduction to Obtain Organic Fertilizer by Vermicomposting as a Method of Stabilizing a Waste in th," vol. 16, no. 2011, pp. 52–63, 2019.
- [31] A. V. J. Moreno, "Implementación De Una Planta Piloto Para el Manejo y Tratamiento de los Residuos Orgánicos Genrados en la Plaza de Mercado Del Municipio de Cachipay.," Universidad Nacional Abierta y a Distancia -UNAD, 2020.
- [32] J. Urrutia. Carolina, Leguisamo, "Evaluación de Tecnologías (Compostaje, Lombricultura y Bokashi) para el aprovechamiento de residuos orgánicos domiciliarios generados en el casco urbano del municipio de puerto Gaitán -Meta.," Universidad Santo Tomas, 2019.
- [33] L. P. A. La, Melissa Ramires Larrota, "Requisitos para la certificación del producto Humus de lombríz Roja Californiana," Universidad Católica de Colombia, 2021.
- [34] Betsy Nataly Cano Prudencio, "Incidencia del cambio climático en la sobrevivencia de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) simulando el factor temperatura en el suelo mediante radiación infrarroja," Universidad César Vallejo, 2018.
- [35] "Norma Técnica Colombiana 5167." <https://es.scribd.com/document/227264366/Norma-Tecnica-Colombiana-5167> (accessed Apr. 07, 2022).
- [36] P. S. Lew, N. N. L. Nik Ibrahim, S. Kamarudin, N. M. Thamrin, and M. F. Misnan, "Optimization of bokashi-composting process using effective microorganisms-1 in smart composting bin," *Sensors*, vol. 21, no. 8, pp. 1–15, 2021, doi: 10.3390/s21082847.
- [37] J. J. F. G. V. María Haidy Castaño Robayo, "Predicción de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en cultivos de aguacate empleando modelos Machine Learning," Fundación Universitaria Los Libertadores, 2022.
- [38] "Ficha Técnica del Producto Fertilizante Orgánico de Lombris San Rafael Líquido (Concentrado Soluble). Registro ICA 2688." https://nanopdf.com/download/humus-liquido_pdf (accessed May 19, 2022).
- [39] M. V. Mrtha Ines Álvarez, Carlos Rodrigues Araganes, Araceli Sierra Padíz, "Lombrices de Tierra Con valor Comercial. Biología y técnicas de Cultivo.," in *Lombrices de Tierra Con valor Comercial. Biología y técnicas de Cultivo.*, Primera., M. M. Cabrera, Ed. p. 26.

7 ANEXOS

Anexo A. Preparación de microorganismos



Figura18. Preparación de trampas.



Figura19. Entierro de trampas.



Figura20. Recolección de microorganismos



Figura21. Preparación de microorganismos
Anexo B. Monitoreo precompost y lombricomposts



Figura22. parámetros en pre. compostaje.
A: Toma de pH B: Toma de Temperatura



Figura23. pH lombricultura

Anexo C. Labores en zona de lombricultura



Figura24. Trampeo para cosecha
A: Trampas de malla B: Captura de Lombriz.



Figura25. Camas de lombricultura para ensayo uno y dos.



Figura26. Monitoreo de humus líquido



Figura27. Cosecha de humus sólido



Figura28. Labores para obtención de producto final.
A: Tamizado B: Empacado y pesado.



Figura29. Producto Final



Perdida de material grueso
A: Material grueso B: Material fino



Figura30. Material para muestras de laboratorio

Anexo D. Fortalecimiento de estrategias de Educación Ambiental



Figura31. Capacitaciones en la cabecera municipal.
A: Capacitaciones Barrios críticos B: Acompañamiento operario de reciclaje



Figura32. Capacitación promoción de la cultura basura cero

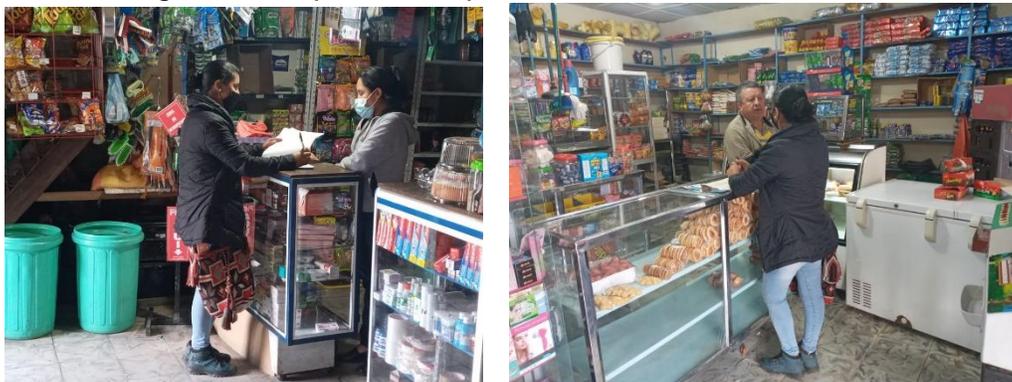


Figura33. Capacitación Estrategia de las 3R.

Anexo E. Fortalecimiento en gestión de residuos sólidos en la zona rural (Corregimiento el Tablón de Almaguer-Institución Educativa el Tablón).



Figura34. Compostaje en la Institución educativa El Tablón de Almaguer. A. Recolección de R.S. Orgánicos B. Labores de Compostaje en Biofabrica de Bioabono de la I.E.



Figura35. Labores en biofabrica de la Institución Educativa el Tablón



Figura36. Compost generado en la I.E el Tablón.

Anexo F. Parámetros De Precompostaje Tomados En Campo

ENSAYO UNO

| SEMANAS | Días | pila1 T°c | pila2 T°c | pila3 T°c | pila4 T°c | pila5 T° | pila6 T°c | pila7 T°c | pila8 T° | pila9 T°c | pila10 T°c |
|--------------|------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|--------------|-------------|--------------|---------------|
| Semana1 | 2 | 35 | 35 | 30 | 35 | 35 | 35 | 30 | 35 | 35 | 30 |
| | 4 | 35 | 30 | 30 | 35 | 40 | 40 | 40 | 35 | 35 | 35 |
| | 6 | 45 | 40 | 35 | 40 | 45 | 40 | 45 | 40 | 45 | 40 |
| Semana2 | 8 | 45 | 45 | 40 | 45 | 55 | 45 | 55 | 45 | 40 | 45 |
| | 11 | 50 | 50 | 45 | 50 | 60 | 50 | 60 | 50 | 45 | 50 |
| | 13 | 55 | 55 | 45 | 55 | 65 | 55 | 60 | 55 | 55 | 58 |
| Semana3 | 15 | 65 | 60 | 50 | 60 | 65 | 65 | 65 | 60 | 65 | 65 |
| | 18 | 65 | 65 | 55 | 66 | 68 | 65 | 65 | 65 | 70 | 65 |
| | 20 | 70 | 65 | 65 | 75 | 70 | 70 | 75 | 78 | 76 | 75 |
| Promedio(°C) | | 51.67 | 49.44 | 43.89 | 51.22 | 55.89 | 51.67 | 55 | 51.44 | 51.78 | 51.44 |

ENSAYO DOS

| SEMANAS | Días | pila1 T°c | pila2 T°c | pila3 T°c | pila4 T°c | pila5 T°c | pila6 T°c | pila7 T°c | pila8 T°c | pila9 T°c | pila10 T°c |
|---------------|------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| Semana1 | 2 | 35 | 35 | 35 | 35 | 30 | 30 | 30 | 30 | 35 | 30 |
| | 4 | 45 | 40 | 45 | 35 | 30 | 40 | 35 | 35 | 40 | 42 |
| | 6 | 50 | 40 | 50 | 40 | 45 | 40 | 35 | 40 | 44 | 50 |
| | 8 | 55 | 45 | 40 | 50 | 50 | 40 | 40 | 45 | 55 | 55 |
| Semana2 | 11 | 45 | 50 | 55 | 55 | 50 | 50 | 45 | 50 | 60 | 60 |
| | 13 | 45 | 55 | 58 | 60 | 66 | 50 | 55 | 53 | 63 | 70 |
| Promedio(T°C) | | 48.33 | 50 | 47.17 | 55 | 45.17 | 46.67 | 40.00 | 42.17 | 49.50 | 51.17 |

Fuente: Elaboración propia

ENSAYO UNO

| SEMANAS | Días | pila1 pH | pila2 pH | pila3 pH | pila4 pH | pila5 pH | pila6 pH | pila7 pH | pila8 pH | pila9 pH | pila10 pH |
|---------------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Semana2 | 11 | 8 | 7.2 | 6.8 | 8 | 7.8 | 8.1 | 7.8 | 8.4 | 8.2 | 8 |
| Semana 3 | 20 | 7.8 | 7.5 | 7.2 | 8.2 | 8 | 7.6 | 8.2 | 8.5 | 7.4 | 7.8 |
| Promedio (pH) | | 7.9 | 7.35 | 7 | 8.1 | 7.9 | 7.85 | 8 | 8.45 | 7.8 | 7.9 |

ENSAYO DOS

| SEMANAS | Días | pila1 pH | pila2 pH | pila3 pH | pila4 pH | pila5 pH | pila6 pH | pila7 pH | pila8 pH | pila9 pH | pila10 pH |
|--------------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| Semana 1 | 6 | 5 | 5 | 6 | 6.5 | 6 | 6 | 5 | 5.8 | 6 | 5.5 |
| Semana2 | 13 | 7 | 6.5 | 7.2 | 7.6 | 6.5 | 7.2 | 6.5 | 6.5 | 7 | 6.5 |
| Promedio(pH) | | 6 | 5.75 | 6.6 | 7.05 | 6.25 | 6.6 | 5.75 | 6.15 | 6.5 | 6 |

Fuente: Elaboración propia

Anexo G. Cantidades de material para lecho

Cantidades de material para lecho, ensayo uno.

| ENSAYO UNO | | | | |
|---|-----------------------|--|--------------------------|-----------------------------|
| SUSTRATO | TRATAMIENTO | DESCRIPCIÓN DE CAMAS 3 | VOLUMEN DE LECHO/CAMA | CANTIDAD DE M.O /CAMA |
| Material Compostado | Testigo, MED1, y MED2 | 0.60 H,3.33 L,1.0A.(2m ³) | (0.13m ³) | 133.3kg |
| Material Orgánico fresco (estiércol bovino) | Testigo, MED1, y MED2 | 0.60 H,3.33 L,1.0A.(2m ³) | (0.66m ³) | (66.6m ³) |

Fuente: elaboración propia (2022)

Cantidades de material para lecho, ensayo Dos.

| ENSAYO DOS | | | | |
|---|-----------------------|--|--------------------------|-----------------------------|
| SUSTRATO | TRATAMIENTO | DESCRIPCIÓN DE CAMAS 2 camas | VOLUMEN DE LECHO/CAMA | CANTIDAD DE M.O /CAMA |
| Material Compostado | Testigo, MED1, y MED2 | 0.60 H,0.50 L,1.0A.(0.3m ³) | (0.02m ³) | 40kg |
| Material Orgánico fresco (estiércol bovino) | Testigo, MED1, y MED2 | 0.60 H,0.50 L,1.0A.(0.3m ³) | (0.01m ³) | (20m ³) |

Fuente: elaboración propia (2022)

Anexo H. Cantidades de precompost para llenado de camas.

| Ensayo uno | Ensayo dos |
|---|---|
| Cantidad precompostada | |
| 500kg por pila Aprox. | |
| Cantidad incorporada por cama 1600kg | Cantidad incorporada por cama 500kg |
| Cantidad incorporada por capas (10capas) espesor 13cm | Cantidad incorporada por capas (10capas) espesor 13cm |
| 160kg aprox. | 50kgaprox. |

Fuente: Elaboración propia

Anexo I. Perdidas de producción

TABLA1 Perdidas ensayo dos

| DESCRIPCIÓN DE PERDIDA | CANTIDAD | UNIDAD | TIEMPO |
|------------------------|----------|--------|-----------|
| MATERIAL GRUESO | 60kg | kg | 13semanas |
| % HÚMEDAD | 9 | kg | 13semanas |
| %HÚMEDAD | 1.5 | kg | 2 semanas |

Fuente: Elaboración propia (2022)

Anexo J. Rangos ideales para lombricultura

| PARÁMETRO | RANGO IDEAL |
|-------------|---|
| HUMEDAD | 70% - 80% ésta es la humedad máxima, ya que la lombriz respira por la piel, y una humedad más alta impediría su |
| TEMPERATURA | 20 a 30°C |
| PH | 5- 8.5. Se debería verificar con una cinta indicadora el pH antes de alimentar la lombriz. |
| LUZ | la lombriz es fotosensible, por lo que siempre preferiría ambientes oscuros. |

Fuente:[17]

Anexo K. Resultados De Muestras De Laboratorio Humus Sólido.

| | | |
|---|---|-------------------------------------|
|  | AGROAMBIENTAL LAB S.A.S NIT 900.480.724-7 Registrado ante el ICA según Resolución 005823 del 26 de diciembre de 2012 | F-LAB-F-017 Rev 00 23/04/2012 |
| | Informe de Laboratorio No: F - 042 Fecha de emisión: Junio 06 de 2022 | |

INFORMACION DEL CLIENTE

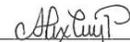
Empresa o Razón Social: ALEXANDRA PATRICIA HOYOS HOYOS
Fecha de recepción de la muestra: Mayo 04 de 2022
Descripción de la muestra: HUMUS DE LOMBRIZ- MUESTRA 1 **Código Laboratorio:** 1335

INFORME DE RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DE ABONO ORGÁNICO

| PARÁMETRO | RESULTADO | UNIDADES | MÉTODO ANALÍTICO |
|--|-----------|----------|---|
| pH | 8,79 | N.A | Potenciométrico (NTC 5167) |
| Conductividad Electrica | 6,34 | mS/cm | Conductimétrico (NTC 5167) |
| Humedad (%) | 2,81 | % | Gravimétrico (NTC 5167) |
| Cenizas | 92,65 | % | Gravimétrico (NTC 5167) |
| Perdida por Volatilización | 7,35 | % | Cálculo |
| Retención de Humedad | 2,81 | % | Volumétrico (NTC 5167) |
| Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) | 24,99 | meq/100g | Volumétrico (NTC 5167) |
| Carbono Orgánico Oxidable Total (COT) | 9,16 | % | Volumétrico (NTC 5167) |
| Nitrógeno Total (N-Total) | 2,18 | % | Método Kjeldahl |
| Fósforo Total (P ₂ O ₅) | 1,57 | % | Colorimétrico (NTC 5167) |
| Potasio Total (K ₂ O) | 0,74 | % | Espectrofotometría de Absorción Atómica - Modo Emisión- (NTC 202) |
| Calcio Total (CaO) | 1,63 | % | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |
| Magnesio Total (MgO) | 0,19 | % | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |
| Azufre (S) | 0,17 | % | Gravimétrico (NTC 5167) |
| Hierro Total (Fe) | 81,08 | mg/Kg | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |
| Cobre Total (Cu) | 5,69 | mg/Kg | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |
| Zinc Total (Zn) | 40,01 | mg/Kg | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |
| Manganeso Total (Mn) | 21,15 | mg/Kg | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |
| Boro Total (B) | 4,57 | mg/Kg | Colorimétrico (NTC 5167- NTC 1860) |
| Sodio (Na) | 2,31 | mg/Kg | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |

OBSERVACIONES

1. Los resultados reportados en el presente informe corresponden exclusivamente a la muestra enviada por el cliente y no a otra(s) muestras de la misma procedencia.
2. Si tiene alguna inquietud, queja o reclamo sobre los resultados, por favor comuníquese con la Dirección Técnica.
3. Las contramuestras de las muestras analizadas serán almacenadas por un periodo de tiempo de tres meses, posteriormente serán desechadas.


 Alexandra Patricia Hoyos Hoyos
 Química - PQ 2792
 Dirección Técnica de Laboratorio

| | | |
|---|---|-------------------------------------|
|  LABORATORIO AGROAMBIENTAL | AGROAMBIENTAL.LAB S.A.S NIT 900.480.724-7 Registrado ante el ICA según Resolución 005823 del 26 de diciembre de 2012 | F-LAB-F-017 Rev 00 23/04/2012 |
|---|---|-------------------------------------|

Informe de Laboratorio No: **F - 043**
 Fecha de emisión: Junio 06 de 2022

INFORMACION DEL CLIENTE

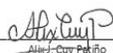
Empresa o Razón Social: ALEXANDRA PATRICIA HOYOS HOYOS
Fecha de recepción de la muestra: Mayo 04 de 2022
Descripción de la muestra: HUMUS DE LOMBRIZ - MUESTRA 2 **Código Laboratorio:** 1336

INFORME DE RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DE ABONO ORGÁNICO

| PARÁMETRO | RESULTADO | UNIDADES | MÉTODO ANALÍTICO |
|--|-----------|----------|---|
| pH | 8,92 | N.A | Potenciométrico (NTC 5167) |
| Conductividad Eléctrica | 4,72 | mS/cm | Conductimétrico (NTC 5167) |
| Humedad (%) | 2,17 | % | Gravimétrico (NTC 5167) |
| Cenizas | 93,16 | % | Gravimétrico (NTC 5167) |
| Perdida por Volatilización | 6,84 | % | Cálculo |
| Retención de Humedad | 2,17 | % | Volumétrico (NTC 5167) |
| Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) | 22,01 | meq/100g | Volumétrico (NTC 5167) |
| Carbono Orgánico Oxidable Total (COT) | 8,05 | % | Volumétrico (NTC 5167) |
| Nitrógeno Total (N-Total) | 1,63 | % | Método Kjeldahl |
| Fósforo Total (P ₂ O ₅) | 1,49 | % | Colorimétrico (NTC 5167) |
| Potasio Total (K ₂ O) | 1,53 | % | Espectrofotometría de Absorción Atómica - Modo Emisión- (NTC 202) |
| Calcio Total (CaO) | 1,08 | % | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |
| Magnesio Total (MgO) | 0,12 | % | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |
| Azufre (S) | 0,15 | % | Gravimétrico (NTC 5167) |
| Hierro Total (Fe) | 19,88 | mg/Kg | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |
| Cobre Total (Cu) | 3,39 | mg/Kg | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |
| Zinc Total (Zn) | 22,07 | mg/Kg | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |
| Manganeso Total (Mn) | 14,65 | mg/Kg | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |
| Boro Total (B) | 2,63 | mg/Kg | Colorimétrico (NTC 5167- NTC 1860) |
| Sodio (Na) | 2,07 | mg/Kg | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |

OBSERVACIONES

- Los resultados reportados en el presente informe corresponden exclusivamente a la muestra enviada por el cliente y no a otra(s) muestras de la misma procedencia.
- Si tiene alguna inquietud, queja o reclamo sobre los resultados, por favor comuníquese con la Dirección Técnica.
- Las contramuestras de las muestras analizadas serán almacenadas por un periodo de tiempo de tres meses, posteriormente serán desechadas.


 Alexander Cuy Patiño
 Química - PQ 1792
 Dirección Técnica de Laboratorio

| | | |
|---|---|-------------------------------------|
|  | AGROAMBIENTAL LAB S.A.S NIT 900.480.724-7 Registrado ante el ICA según Resolución 005823 del 26 de diciembre de 2012 | F-LAB-F-017 Rev 00 23/04/2012 |
|---|---|-------------------------------------|

Informe de Laboratorio No: **F - 044**
 Fecha de emisión: Junio 06 de 2022

INFORMACION DEL CLIENTE

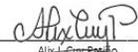
Empresa o Razón Social: ALEXANDRA PATRICIA HOYOS HOYOS
Fecha de recepción de la muestra: Mayo 04 de 2022
Descripción de la muestra: HUMUS DE LOMBRIZ - MUESTRA 3 **Código Laboratorio:** 1337

INFORME DE RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DE ABONO ORGÁNICO

| PARÁMETRO | RESULTADO | UNIDADES | MÉTODO ANALÍTICO |
|--|-----------|----------|---|
| pH | 8,01 | N.A | Potenciométrico (NTC 5167) |
| Conductividad Eléctrica | 12,89 | mS/cm | Conductimétrico (NTC 5167) |
| Humedad (%) | 6,39 | % | Gravimétrico (NTC 5167) |
| Cenizas | 81,58 | % | Gravimétrico (NTC 5167) |
| Perdida por Volatilización | 18,41 | % | Cálculo |
| Retención de Humedad | 6,39 | % | Volumétrico (NTC 5167) |
| Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) | 30,03 | meq/100g | Volumétrico (NTC 5167) |
| Carbono Orgánico Oxidable Total (COT) | 14,38 | % | Volumétrico (NTC 5167) |
| Nitrógeno Total (N-Total) | 3,07 | % | Método Kjeldahl |
| Fósforo Total (P ₂ O ₅) | 2,59 | % | Colorimétrico (NTC 5167) |
| Potasio Total (K ₂ O) | 1,31 | % | Espectrofotometría de Absorción Atómica - Modo Emisión- (NTC 202) |
| Calcio Total (CaO) | 2,92 | % | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |
| Magnesio Total (MgO) | 0,36 | % | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |
| Azufre (S) | 0,25 | % | Gravimétrico (NTC 5167) |
| Hierro Total (Fe) | 164,45 | mg/Kg | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |
| Cobre Total (Cu) | 10,04 | mg/Kg | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |
| Zinc Total (Zn) | 36,11 | mg/Kg | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |
| Manganeso Total (Mn) | 18,39 | mg/Kg | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |
| Boro Total (B) | 7,18 | mg/Kg | Colorimétrico (NTC 5167 - NTC 1860) |
| Sodio (Na) | 3,10 | mg/Kg | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |

OBSERVACIONES

1. Los resultados reportados en el presente informe corresponden exclusivamente a la muestra enviada por el cliente y no a otra(s) muestras de la misma procedencia.
2. Si tiene alguna inquietud, queja o reclamo sobre los resultados, por favor comuníquese con la Dirección Técnica.
3. Las contramuestras de las muestras analizadas serán almacenadas por un periodo de tiempo de tres meses, posteriormente serán desechadas.


 Alejandra Patricia Hoyos Hoyos
 Química - P.Q. 1792
 Dirección Técnica de Laboratorio

Anexo L. Resultados Caracterización Humus Liquido

| | | |
|---|---|-------------------------------------|
|  | AGROAMBIENTAL.LAB S.A.S NIT 900.480.724-7 Registrado ante el ICA según Resolución 005823 del 26 de diciembre de 2012 | F-LAB-F-017 Rev 00 23/04/2012 |
| | Informe de Laboratorio No: F-056 Fecha de emisión: Julio 29 de 2022 | |

INFORMACION DEL CLIENTE

Empresa o Razón Social: Alexandra Patricia Hoyos
 Fecha de recepción de la muestra: Junio 15 de 2022
 Descripción de la muestra: Humus Liquido
 Código: 2455

INFORME DE RESULTADOS

| PARÁMETRO | RESULTADO | UNIDADES | MÉTODO ANALÍTICO |
|--|-----------|----------|---|
| pH | 8,12 | N.A | Potenciométrico (NTC 5167) |
| Conductividad Electrica | 69,51 | uS/cm | Conductimétrico (NTC 5167) |
| Densidad | 0,9464 | g/cc | Gravimetría (NTC 5167) |
| Carbono Orgánico Oxidable Total (COT) | 7,01 | g/L | Volumétrico (NTC 5167) |
| Nitrógeno Total (N _T) | 16,53 | g/L | Método Kjeldahl (NTC 5167) |
| Fósforo Soluble (P ₂ O ₅) | 27,48 | g/L | Colorimétrico (NTC 5167) |
| Potasio Soluble (K ₂ O) | 11,26 | g/L | Espectrofotometría de Absorción Atómica - Modo Emisión- (NTC 202) |
| Calcio Soluble (CaO) | 0,21 | g/L | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |
| Magnesio Soluble (MgO) | 0,100 | g/L | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |
| Azufre (S) | 4,07 | g/L | Turbidimétrico. NTC 1154 |
| Hierro Soluble (Fe) | 46,83 | mg/L | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |
| Cobre Soluble (Cu) | 7,26 | mg/L | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |
| Zinc Soluble (Zn) | 19,65 | mg/L | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |
| Manganeso Soluble (Mn) | 20,07 | mg/L | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |
| Boro Soluble (B) | 6,02 | mg/L | Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369) |
| Sodio Soluble (Na) | 2,11 | mg/L | Espectrofotometría de Absorción Atómica - Modo Emisión- (NTC 202) |
| Sólidos insolubles | 6,45 | g/L | Gravimetría (NTC 5167) |

OBSERVACIONES

1. Los resultados reportados en el presente informe corresponden exclusivamente a la muestra enviada por el cliente y no a otra(s) muestras de la misma procedencia.
2. Si tiene alguna inquietud, queja o reclamo sobre los resultados, por favor comuníquese con la Dirección Técnica.
3. Las contramuestras de las muestras analizadas serán almacenadas por un periodo de tiempo de tres meses, posteriormente serán desechadas.



Alex J. Cuy Patiño
 Química - PQ 1792
 Dirección Técnica de Laboratorio