

**EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA Y PLAN DE MANEJO PARA LOS
RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN LA PLANTA DE COMPOSTAJE DEL
MUNICIPIO DE POPAYÁN**



LUPERLI YAMILETH DORADO MACA

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
POPAYÁN
2018**

**EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA Y PLAN DE MANEJO PARA LOS
RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN LA PLANTA DE COMPOSTAJE DEL
MUNICIPIO DE POPAYÁN**

LUPERLI YAMILETH DORADO MACA

**Trabajo de grado en la Modalidad de Práctica Profesional para optar al título de
Ingeniera Agroindustrial**

**Director
M. Sc. FABIO ALONSO PRADO CERON**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL
POPAYÁN
2018**

Nota de aceptación

El director y los jurados han leído el presente documento, han escuchado la sustentación del mismo por su autora y lo encuentran satisfactorio.

M. Sc. FABIO ALONSO PRADO
Director

M. Sc. SANDRA MORALES VELASCO
Jurado

Ph. D. ROMÁN STECHAUNER ROHRINGER
Jurado

Popayán, 2 de febrero de 2018

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	14
1. MARCO REFERENCIAL	15
1.1 LOCALIZACIÓN	15
1.2 UNIDAD MUNICIPAL DE ASISTENCIA TÉCNICA AGROPECUARIA UMATA	15
1.2.1 Gestión de proyectos específicos	16
1.3 MARCO TEÓRICO	16
1.3.1 Abono orgánico	16
1.3.2 Compostaje	17
1.3.2.1 Sistemas de compostaje	18
1.3.3 Obtención de abonos orgánicos	19
1.3.3.1 Abono orgánico Bocashi	19
1.3.3.2 El Lombricompostaje	20
1.3.4 Importancia de abonos orgánicos en la agricultura	21
1.3.5 Aplicación en la agricultura urbana	21
1.3.6 Beneficios para el medio ambiente	21
1.3.7 Experiencias de las plantas de compostaje	22
1.3.8 Experiencias sobre el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos	22
1.3.8.1 A nivel mundial	22
1.3.8.2 A nivel nacional	24
1.3.8.3 A nivel local	25
1.4 ANTECEDENTES	25
1.5 MARCO LEGAL	26

	pág.
2. METODOLOGÍA	29
2.1 ETAPA 1. EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA DE APROVECHAMIENTO	29
2.2 ETAPA 2. ALTERNATIVA PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS	29
2.2.1 Pila 1	32
2.3 ETAPA 3. ANÁLISIS DEL ABONO OBTENIDO A PARTIR DE RESIDUOS GENERADOS DE PLAZA DE MERCADO	38
3. RESULTADOS	39
3.1 EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL	39
3.1.1 Infraestructura física	39
3.1.1.1 Área de maniobras de vehículos	39
3.1.1.2 Área de recepción de material orgánico	39
3.1.1.3 Área de clasificación e inoculación de residuos sólidos orgánicos	39
3.1.1.4 Área de trituración de residuos	40
3.1.1.5 Área de Compostaje	41
3.2 INFRAESTRUCTURA FÍSICA DEL VIVERO FORESTAL	42
3.2.1 Zona de lombricultura	43
3.3 SENSIBILIZACIÓN A LOS COMERCIANTES DE LAS PLAZAS MERCADO ESMERALDA Y BOLÍVAR	43
3.3.1 Socialización plaza de mercado Bolívar	44
3.3.2 Socialización actividades en la planta de aprovechamiento, dirigida a los Recicladores de oficio de las organizaciones ASOCAMPO	45
3.4 MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA DE LA PLANTA DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS LA PATOJITA	45
3.4.1 Adecuación y optimización de las áreas de la planta de compostaje	45

	pág.
3.4.1.1 Área de Maniobras de vehículos y Recepción de residuos sólidos orgánicos	45
3.4.1.2 Área de clasificación e inoculación	45
3.4.1.3 Área de trituración	46
3.4.1.4 Área de Compostaje	46
3.4.1.5 Mantenimiento de techos	46
3.4.2 Desalojo de material de desecho, basura, escombros y tierra	47
3.4.2.1 Muro de contención	47
3.5 PLAN DE MANEJO OPERATIVO (P.M.O)	47
3.5.1 Etapa I	48
3.5.1.1 Recolección	50
3.5.1.2 Cargue	50
3.5.1.3 Procedimiento vial al ingreso de la planta de aprovechamiento	51
3.1.5.4 Descargue y pesaje	51
3.5.2 Etapa II	51
3.5.2.1 Mezcla de los materiales	52
3.5.2.2 Relación Carbono Nitrógeno (C:N)	52
3.5.2.3 Recepción del material en la tolva 1	52
3.5.2.4 Clasificación e inoculación en la banda transportadora	52
3.5.2.5 Trituración los residuos sólidos orgánicos	53
3.5.3 Etapa III	53
3.5.3.1 Sistema de aireación forzada	53
3.5.3.2 Apilamiento material triturado	54
3.5.3.3 Cálculo de la densidad (Método de cuarteo)	54

	pág.
3.5.3.4 Armado de pilas con el material a compostar	55
3.5.3.5 Inoculación de microorganismos en las pilas	55
3.5.3.6 Control de variables: pH, temperatura y humedad	56
3.5.4 Etapa IV	58
3.5.4.1 Análisis de propiedades fisicoquímicos del compost obtenido	58
3.5.4.2 Tamizaje	58
3.5.5 Relación y descripción de maquinaria y equipo para la operación	59
3.5.6 Organigrama administrativo para la operación de la planta de aprovechamiento	59
3.5.7 Herramientas y elementos para la operación de la planta de aprovechamiento	60
3.6 PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO	62
3.6.1 Aireación inducida mediante el Método Beltsville y Rutgers	63
3.6.2 Control de Variables	63
3.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS FISICOQUÍMICOS	67
4. CONCLUSIONES	70
5. RECOMENDACIONES	71
BIBLIOGRAFÍA	72
ANEXOS	77

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Parámetros de aprovechamiento	25
Cuadro 2. Legislación aplicable para el manejo de residuos sólidos orgánicos	26
Cuadro 3. Dimensiones de tubería para el sistema de aeración forzada	34
Cuadro 4. Datos generales de la planta de compostaje	48
Cuadro 5. Rutas	50
Cuadro 6. Relación de equipo para la operación de la planta	59
Cuadro 7. Insumos y elementos para la operación de la planta de Compostaje	59
Cuadro 8. Relación de personal	60
Cuadro 9. Instructivo de uso y mantenimiento de elementos de protección personal	61
Cuadro 10. Resultados de análisis físico-químicos	67

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ubicación de la planta de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos	15
Figura 2. Sólidos orgánicos en la (UTB) A) Recolección, B) Cargue de residuos	31
Figura 3. Recolección de residuos sólidos orgánicos en la plaza de mercado Esmeralda	31
Figura 4. Inoculación de microorganismos en la banda transportadora	32
Figura 5. Armado de pilas A) Pila 1, B) Pila 2, C) Pila 3	33
Figura 6. Esquema de la pila número 1	33
Figura 7. Resultados en la calculadora virtual de caída de presión	35
Figura 8. Perforaciones de la tubería en el sistema de aireación forzada	36
Figura 9. Área de maniobra de vehículos	39
Figura 10. Área de recepción del material orgánico	40
Figura 11. Área de clasificación residuos sólidos orgánicos	40
Figura 12. Área de trituración de residuos sólidos orgánicos	41
Figura 13. Área de compostaje	41
Figura 14. Reptación de talud en el área de compostaje	42
Figura 15. Caseta de maduración y lombricultura	43
Figura 16. Socialización plaza de mercado Esmeralda	44
Figura 17. Socialización plaza de mercado Bolívar	44
Figura 18. Capacitación a la Organización ASOCAMPO	45
Figura 19. Área de Trituración de residuos sólidos orgánicos	46
Figura 20. Limpieza de techos y canaletas metálicas	46
Figura 21. Limpieza y trasiego de materiales	47
Figura 22. Recuperación del talud	48

	pág.
Figura 23. Proceso de compostaje	48
Figura 24. Diagrama del flujo del proceso	49
Figura 25. Tolva número 1	52
Figura 26. Banda transportadora	53
Figura 27. Tolva número 2	54
Figura 28. Transporte de material en carretillas	55
Figura 29. Armado de pilas	55
Figura 30. Inoculación de microorganismos en las pilas	56
Figura 31. Medición del pH	56
Figura 32. Medición de la temperatura	57
Figura 33. Prueba de puño	57
Figura 34. Tamizado del compost	58
Figura 35. Organigrama administrativo	60
Figura 36. Recepción de residuos sólidos orgánicos en la planta de compostaje	62
Figura 37. Calculadora de la relación C/N inicial	63
Figura 38. pH Pila 1- aireación forzada y microorganismos	64
Figura 39. pH Pila 2 - volteo manual y Microorganismos	64
Figura 40. pH Pila 3 - volteo manual sin Microorganismos	65
Figura 41. Temperatura Pila 1 - con aireación forzada y microorganismos	66
Figura 42. Temperatura Pila 2 - volteo manual y Microorganismos	66
Figura 43. Pila 3 - volteo manual y Microorganismos	66

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Levantamiento Planimétrico planta de compostaje la Patojita	77
Anexo B. Perfil planta de composaje la Patojita	78
Anexo C. Control de Variables	79
Anexo D. Control de Inicio y Finalización del Proceso de Compostaje	80
Anexo E. Control de pH y Temperatura en el proceso de compostaje	81
Anexo F. Resultado Análisis de laboratorio	82
Anexo G. Resultados fisicoquímicos de laboratorio Tratamiento 1	83
Anexo H. Resultados fisicoquímicos de laboratorio Tratamiento 2	84
Anexo I. Resultados fisicoquímicos de laboratorio Tratamiento 3	85

RESUMEN

Con el fin de lograr el aprovechamiento de residuos orgánicos en la planta de compostaje la Patojita del municipio de Popayán Cauca, se realizó la evaluación de las instalaciones físicas, labores de mantenimiento de la infraestructura y maquinaria existente. Posteriormente se llevó a cabo un proceso de capacitación y concientización en la fuente de generación dirigido a las plazas de mercado la Esmeralda y Bolívar, seguido de un plan de manejo operativo dirigido a fortalecer la asociación de Recicladores Los Goleros ASOGOLEROS y la Asociación Ambientalista de Popayán ASOCAMPO, encaminado a la comprensión de las etapas del proceso de transformación del material.

Se elaboró abono orgánico con ventilación forzada mediante un soplador y volteos manuales periódicos. En el ensayo se aplicaron tres tratamientos, en donde las variables evaluadas en el proceso de compostaje fueron pH y temperatura, de acuerdo con la NTC 5167. Los mejores resultados se obtuvieron con el tratamiento 2, con residuos de plazas de mercado, viruta, microorganismos y volteo manual.

Palabras clave: Compostaje, residuos de plazas de mercado, propiedades fisicoquímicas.

ABSTRACT

In order to achieve the use of organic waste in the Patojita composting plant in the municipality of Popayán Cauca, the evaluation of the physical facilities, maintenance work of the infrastructure y machinery was carried out. Subsequently, a training y awareness process was carried out in the generation source directed to the market squares Esmeralda y Bolívar, followed by an operational management plan to strengthen the association of Recyclers Lo Goleros ASOGOLEROS and the environmental association of Popayán ASOCAMPO, aimed at understying the stages of the material transformation process.

Organic fertilizer was elaborated with forced ventilation by means of a blower y periodic manual turning y the addiction of specific microorganisms. In the trial three treatments were applied. The variables evaluated were pH, temperature y humidity, on the treatments subjected to tests that allowed verification of compliance with physicochemical parameters established by NTC 5167. The best results was obtained from the treatment 2, in which a mixture of waste marketplace, chip y rumen was used .

Keywords: Composting, waste market places, physical-chemical properties.

INTRODUCCIÓN

En la producción de abono la mayor dificultad se presenta por falta de materia prima proveniente de residuos sólidos orgánicos; una propuesta para superarla es tener en cuenta las fuentes de insumo como lo son las plazas de mercado del barrio Bolívar y La Esmeralda y minimizar los problemas de acumulación creciente, que es causante de inconformidades manifiestas de los comerciantes, según visitas realizadas.

La generación de residuos sólidos en las plazas de mercado es un problema notable y sistemático a través de los años, que se materializa en la creación de factores de riesgo expresados en la acumulación de residuos sólidos orgánicos e inorgánicos de los drenajes y de las carnes, proliferación de insectos como la mosca doméstica y malos olores que agudizan el inconformismo en la ciudadanía en general. La producción de material orgánico es considerable, según el informe de la UNION TEMPORAL TRIPLE A SUROCCIDENTE II (Caicedo *et al.*, 2016) de agosto de 2015 a julio de 2016, donde se reporta una cantidad mensual de 319,17 toneladas provenientes de plazas de mercado, las cuales son dispuestas en el relleno sanitario.

Un adecuado manejo de los residuos y la elaboración del abono orgánico, contribuye a disminuir los efectos secundarios producidos por su descomposición, como son los malos olores, gases lixiviados y contaminación visual; esta alternativa mitiga en parte el problema de tipo social, cultural y económico. El producto contiene elementos fertilizantes para las plantas, en forma orgánica y en menor proporción que los fertilizantes minerales de síntesis, una de las ventajas de su uso es el aporte de nutrientes disponibles, útiles para la nutrición de las plantas (Román, Martínez y Pantoja, 2013).

Por otra parte el desaprovechamiento de la antigua planta residuos orgánicos no ha permitido generar un producto útil para la comunidad, ni fuentes de ingreso que mejoren el bienestar de las familias vecinas a la planta, toda vez que desde hace cuatro años la planta no está en funcionamiento.

La Práctica Profesional tuvo como objetivo contribuir en la evaluación el estado actual de la planta de aprovechamiento, estableciendo un plan de manejo de los residuos orgánicos generados en las plazas de mercado Bolívar y la Esmeralda del municipio de Popayán Cauca para lo cual fue necesario diagnosticar el estado actual de la planta, elaborar un manual operativo para el manejo de residuos sólidos orgánicos y analizar las propiedades físicas y químicas del abono orgánico obtenido.

A largo plazo la producción de abono orgánico permanente contribuye al desarrollo, y mejora la calidad del ambiente en la región.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1 LOCALIZACIÓN

La Planta de Aprovechamiento de Residuos Sólidos Orgánicos del Municipio de Popayán, se localiza al sur occidente del municipio, en la vereda Cajete, Corregimiento de Julumito; limita al norte y al oriente con el barrio Lomas de Granada, al occidente con el Relleno Sanitario en proceso de cierre El Ojito, sobre la vía que conduce al Municipio de El Tambo (Cauca) a 6,7 Km del casco urbano, en las coordenadas geográficas N 02°28.020'; W 076°39.223', a una altura sobre el nivel del mar de 1768 m (ver figura 1).

Figura 1. Ubicación de la planta de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos



Fuente: Google Earth, 2016.

1.2 UNIDAD MUNICIPAL DE ASISTENCIA TÉCNICA AGROPECUARIA UMATA

De acuerdo con la Alcaldía Municipal de Popayán, la misión de la Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria UMATA, consiste en

Prestar servicios de asistencia técnica directa rural de manera regular y continua a los productores agrícolas, pecuarias, forestales y pesqueros mediante la asesoría en la preinversión, producción y comercialización que garantice la viabilidad de las empresas de desarrollo rural, las empresas básicas agropecuarias que se construyan en desarrollo de la reforma agraria y en general de los consorcios y proyectos productivos a escala de los pequeños y medianos productores agropecuarios, dentro de una concepción integral de la extensión rural.

Adicionalmente, como dependencia de la Administración Central del Municipio, tiene asignadas funciones de carácter ambiental, entre las que se tiene diseñar, promover, desarrollar y controlar la gestión ambiental y preparar las medidas que deban tomarse para su adopción en el territorio del municipio, las cuales fueron asignadas mediante el acuerdo 045 de 2007 del concejo municipal por medio del cual se crea el Sistema de Gestión Ambiental Municipal SIGAM, que es el conjunto de orientaciones normas, actividades, recursos, programas e instituciones que regulan y coordinan la gestión ambiental del Municipio de Popayán (Alcaldía Municipal de Popayán, s.f.).

La Alcaldía municipal de Popayán desarrolla planes y programas enfocados a: Proyectos urbanos estratégicos, Sistema de gestión ambiental municipal SIGAM, Desarrollo rural con enfoque territorial, Seguridad alimentaria, Plan estratégico de optimización administrativa, competitividad y productividad, Desarrollo turístico, y, Apoyo estratégico a las apuestas productivas.

1.2.1 Gestión de proyectos específicos. Implementación de modelos productivos en hortalizas y plantas, apoyo a la caña panelera, programas y proyectos productivos y/o agroindustriales, implementación del Plan de desarrollo rural, asistencia técnica en la producción y comercialización de cafés especiales en el sector rural, implementación de modelos productivos ganaderos, mejoramiento a la cadena productiva de la Panela, mejoramiento al incremento de la producción de Tilapia Roja en la zona rural, mejoramiento de los recursos naturales y el empoderamiento social en las microcuencas rurales, Mejoramiento del proceso de compostaje por medio del vivero municipal y la educación ambiental, implementación de sistemas de saneamiento básico y ambiental, implementación y fortalecimiento del sistema de gestión ambiental municipal SIGAM y el mejoramiento de los procesos agropecuarios y ambientales mediante la adopción de modelos que permitan mitigar los impactos generados en el municipio de Popayán Cauca (Alcaldía Municipal de Popayán, s.f.).

1.3 MARCO TEÓRICO

1.3.1 Abono orgánico. El abono orgánico es el material resultante de la descomposición natural de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio, los cuales digieren los materiales, transformándolos en otros benéficos que aportan nutrimentos al suelo y, por tanto, a las plantas que crecen en él. Es un proceso controlado y acelerado de descomposición de los residuos, que puede ser aeróbico o anaerobio, dando lugar a un producto estable de alto valor como mejorador del suelo (Ramos y Terry, 2013).

Los abonos orgánicos tienen altos contenidos de nitrógeno mineral y cantidades significativas de otros elementos nutritivos para las plantas. Dependiendo del nivel aplicado, originan un aumento en los contenidos de materia orgánica del suelo, en la capacidad de retención de humedad y en el pH, también aumentan el potasio disponible, el calcio y el magnesio. En cuanto a las propiedades físicas, mejoran la infiltración de

agua, la estructura del suelo y la conductividad hidráulica; disminuyen la densidad aparente y la tasa de evaporación, así como promueven un mejor estado fitosanitario de las plantas suelo (Ramos y Terry, 2013).

Los abonos orgánicos se han usado desde tiempos remotos y su influencia sobre la fertilidad de los suelos se ha demostrado, aunque su composición química, el aporte de nutrimentos a los cultivos y su efecto en el suelo varían según su procedencia, edad, manejo y contenido de humedad (Romero *et al.*, 2000). Además, el valor de la materia orgánica que contiene ofrece grandes ventajas que difícilmente pueden lograrse con los fertilizantes inorgánicos (López *et al.*, 2001).

Abonos orgánicos derivados de productos vegetales o animales que contienen uno o más elementos (distintos del carbono, hidrógeno y oxígeno), son esenciales para el crecimiento de las plantas. Estos materiales pueden estar sometidos a degradación biológica procesos en condiciones normales de envejecimiento, lluvia, curado al sol, secado al aire, compostaje, descomposición enzimática o anaerobia/aerobia, o cualquier combinación de ellas. Estos materiales no se deben mezclar con materiales sintéticos ni químicamente desde su estado inicial, excepto mediante manipulaciones tales como secado, cocción, picado, molienda, trituración, hidrólisis o granulación (TFI, 2003).

Los abonos orgánicos permiten la acción microbiana para descomponer los materiales orgánicos, de manera que permiten la acción de los microorganismos naturales útiles como hongos y bacterias, sobre el suelo y la planta (Badar y Qureshi, 2015).

1.3.2 Compostaje. La FAO define como compostaje a la mezcla de materia orgánica en descomposición en condiciones aeróbicas, que se emplea para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes (Román, Martínez y Pantoja, 2003). Es decir, consiste en la descomposición biológica de los constituyentes orgánicos de los materiales de desecho, que se produce en condiciones controladas en el que intervienen numerosos y variados microorganismos que requieren de una humedad adecuada y substratos orgánicos heterogéneos en estado sólido (Gómez, 2000).

El proceso de compostaje transcurre a través de dos fases: mesofílica y termofílica; esta última favorece la eliminación de microorganismos patógenos y también facilita las condiciones para degradar ciertos componentes peligrosos. Las fases mencionadas conducen a la producción temporal de fitotoxinas y a la producción de dióxido de carbono, agua, productos minerales y materia orgánica estabilizada. El compost es el remanente que contiene la materia orgánica estabilizada y los minerales. Para obtener un compost que se pueda usar en la agricultura los sólidos orgánicos húmedos son oxidados a formas biológicamente estables como el humus (Gómez, 2000).

El concepto de compostaje a gran escala de una manera metódica, se suele atribuir a Sir Albert Howard y su proceso de Indore en el Instituto de Industria Vegetal en Indore (India

Central), entre los años 1924 y 1931 (Howard, 1935). El concepto básico era utilizar los residuos animales y el suelo nocturno (excrementos humanos), mezclándolos con materiales para neutralizar la acidez, aireación y adición de agua (Epstein, 2011).

El compostaje es un proceso aeróbico natural de materia orgánica, en el que ocurre la biodegradación de materiales frescos a productos orgánicos estables y maduros. Puede ser técnicamente y económicamente viable para la mayoría de las empresas, para convertir los residuos de materia orgánica en una enmienda, a la vez que evita el riesgo de infecciones patógenas a la temperatura termófila alcanzada en el proceso. El compost se ha reportado como un agente supresor para diferentes enfermedades de los cultivos (Ruggieri *et al.*, 2009).

En el proceso de descomposición microbiana, la pobre conductividad térmica de la matriz física, combinada con la alta densidad de sustrato disponible, hace que se acumule calor que es liberado metabólicamente. La acumulación de calor conduce a un aumento característico de la temperatura, por lo cual es una práctica común ventilar las masas de compostaje para liberarlo y evitar así altas temperaturas. El compostaje generalmente se administra como un proceso aeróbico (Palmisano y Barlaz, 1996).

1.3.2.1 Sistemas de compostaje. A continuación se mencionan los sistemas de compostaje de mayor relevancia, de acuerdo con Muñoz y Cotacio (2015), los cuales son fundamentales para la producción de abono orgánico.

Sistemas abiertos: son aquellos en donde el material se encuentra ligero o totalmente expuesto al entorno, no demandan mayores inversiones en infraestructura y su manejo es sencillo. Se consideran las siguientes variantes: apilamiento estático con aire por succión, denominado Sistema Beltsville (aireación negativa), con aire soplado o Sistema Rutgers (ventilación positiva) y de ventilación alternante (succión y soplado); todos ellos implican control de la temperatura.

Estos sistemas fueron originalmente desarrollados para el compostaje aerobio de fangos de aguas residuales, aunque pueden utilizar para fermentar una amplia variedad de residuos orgánicos, incluyendo residuos de jardín o aquellos sólidos urbanos previamente separados. La pila estática aireada consiste en una red de tuberías previamente perforadas para que entre el aire, sobre ellas se coloca la fracción orgánica procesada de los residuos, formando pilas de aproximadamente 2 a 2,5 m de altura. Para controlar los olores, se puede ubicar una capa de compost cribado encima de la pila recién formada.

El aire necesario para la conversión biológica y para el control de la temperatura, se introduce a la pila mediante un inyector de aire. Después de que el material ha sido fermentado durante un periodo de tres o cuatro semanas, se realiza el proceso de curado durante cuatro semanas más. Para mejorar la calidad del producto final, se tritura o criba el compost curado (Jaramillo y Zapata, 2008).

Apilamiento con volteo (dinámico): los volteos en función de la temperatura y la humedad, aireados con maquinaria o de forma manual, permiten diseñar montículos de mayor altura.

Apilamiento con volteo y aireación forzada (Sistema Siloda): es una especie de sistema abierto mixto.

Sistemas cerrados: son utilizados generalmente para el tratamiento de desechos sólidos de tamaño medio o grande, diseñados para reducir el área y tiempo de compostaje y hacer un mejor control de los parámetros del proceso (Muñoz, 2005). Demandan un cierto grado de complejidad en su estructura y operación, requiriendo de reactores un tanto más complejos y dinámicos que permiten procesos de compostaje, aunque sus costos son elevados. Entre ellos se encuentran: los reactores verticales continuos, los cuales pueden encontrarse con alturas de 4 a 10m, donde el material compostable se encuentra en una masa única; en este sistema se controla temperatura, aireación y características de los gases, durante las dos semanas en que ocurre el compostaje. Los reactores horizontales pueden ser estáticos, en los que el tiempo de compostaje suele ser de 15 a 30 días, o de rotación o dinámicos, que constan de un cilindro de 2 a 3m de diámetro, con giros de 2 a 3 rpm, donde los residuos permanecen en el reactor de 24 a 36 horas.

1.3.3 Obtención de abonos orgánicos.

1.3.3.1 Abono orgánico Bocashi. Ha sido utilizado como abono orgánico por los agricultores japoneses desde hace muchos años; “Bocashi” es una palabra japonesa que significa materia orgánica fermentada. Este abono se deja descomponer en un proceso aeróbico de materiales de origen animal o vegetal. Su uso activa y aumenta la cantidad de microorganismos en el suelo, mejora sus características físicas y suple a las plantas con nutrimentos (Ramos y Terry, 2013).

El Bocashi incorpora al suelo materias orgánicas y nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, zinc, cobre y boro, los cuales, mejoran las condiciones físicas y químicas del suelo; estos abonos tienen como objetivo estimular la vida microbiana del suelo y la nutrición de las plantas. Las enmiendas orgánicas varían en su composición química de acuerdo al proceso de elaboración, duración del proceso, actividad biológica y tipos de materiales que se utilicen (Ramos *et al.*, 2013).

La calidad de un abono orgánico se determina a partir de su contenido nutricional y de su capacidad de proveer nutrientes a un cultivo; este contenido está directamente relacionado con las concentraciones de esos nutrientes en los materiales utilizados para su elaboración (Ramos *et al.*, 2013). En la preparación del bocashi, los agricultores japoneses emplean materias orgánicas como torta de soya, semolina de arroz, harina de pescado y suelo de los bosques (contenido de varios microorganismos benéficos que

aceleran la preparación de este abono), como inoculante de microorganismos (Quiñonez, 2016).

Los agricultores japoneses emplean el bocashi para incrementar la diversidad microbiana, para perfeccionar las condiciones físicas y químicas del suelo, evitar sus enfermedades y suplir con nutrientes ayudando al desarrollo de los cultivos (Quiñonez, 2016). Este abono atraviesa un proceso de fermentación de los materiales orgánicos sólidos, húmedos y secos, que por medio del control por un determinado tiempo, generará humus que servirá para los cultivos (Velásquez, 2016).

1.3.3.2 El Lombricompostaje. La lombricultura tuvo su origen en California, EE.UU., se extendió a Europa y finalmente hacia el resto del mundo; aplica normas y técnicas de producción a la especie *Eisenia foetida*, más comúnmente conocida como "lombriz roja californiana", que digieren la materia orgánica provocando su degradación. El producto final es el "lombricompostado", caracterizado por su excelente calidad como abono orgánico, acondicionador de suelos o sustrato de cultivos (Díaz, 2002) con un aumento del volumen de la biomasa de lombriz (Gómez, 2000).

La Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) es conocida y empleada en más del 80% de los criaderos del mundo. La humedad adecuada para su desarrollo es del 60-70% en un rango de temperatura de 12-30°C, pH óptimo de 5-8; la aireación es fundamental para la correcta respiración y desarrollo de las lombrices, cuyo alimento principal es materia orgánica parcial o totalmente descompuesta, constituida por residuos vegetales, estiércoles, frutas, tubérculos y restos de aserraderos.

El lombricompostado es un fertilizante orgánico de buena calidad, cuya característica fundamental es la bioestabilidad, pues no da lugar a fermentación o putrefacción. Se debe tener en cuenta que las temperaturas elevadas, los niveles de pH extremos, al igual que los gases tóxicos que emanan del estiércol durante los procesos de fermentación, son letales para las lombrices, por lo cual el material orgánico empleado como alimento, debe estar total o parcialmente descompuesto (García y Solano, 2005).

Las lombrices se han convertido en el mejor aliado del hombre para combatir la polución que él mismo produce. Estos animales realizan con notable eficiencia la destoxificación de residuos orgánicos contaminados por microorganismos patógenos, parásitos e inclusive metales pesados (Córdoba, 2016).

La lombricultura es una técnica en la que además del abono, se puede obtener proteína animal, pues la lombriz roja californiana se alimenta de la materia orgánica y la convierte en humus o abono natural. El humus, producido por la lombriz, está compuesto principalmente de carbono, oxígeno, nitrógeno e hidrógeno, encontrándose también una gran cantidad de microorganismos como hongos y bacterias. Las cantidades de estos elementos dependerán de las características químicas del sustrato que dieron origen a la

alimentación de lombrices, que pueden criarse a temperaturas entre 20 y 25°C, rango en el que presentan su mayor rendimiento (Yepes y Sánchez, 2008).

1.3.4 Importancia de abonos orgánicos en la agricultura. Actualmente se está dando mayor importancia al uso de alternativas que permitan recuperar los suelos, de forma que se logre una producción óptima sin deterioro del medio. Entre estas alternativas se encuentra el uso de abonos orgánicos, biofertilizantes, abonos verdes y coberturas. Su aplicación ha permitido incrementar los contenidos de materia orgánica del suelo, mejorar su estructura, aumentar la actividad biológica, mejorar la fertilidad del suelo, favorecer el desarrollo radicular y la biomasa de los cultivos y reducir el efecto de las plagas y fitopatógenos sobre la sanidad de los cultivo, lo que puede llegar a incrementar los rendimientos en términos altamente rentables (Soto y Meléndez, 2003).

La agricultura orgánica es una forma de producir sosteniblemente, disminuyendo el uso de fertilizantes y plaguicidas. Resulta importante incrementar la eficiencia de utilización de los fertilizantes para evitar la degradación ambiental; para ello es necesario implementar tecnologías que permitan la aplicación de estos en el sitio y cultivo específico, con el fin de cumplir la demanda del mismo (Ramos y Terry, 2013).

1.3.5 Aplicación en la agricultura urbana. Por si sola, la agricultura urbana no resolverá los problemas ecológicos de las ciudades en crecimiento, aunque contribuye de distintas maneras a que se proteja el medio ambiente. En muchas ciudades, los agricultores urbanos aprovechan los productos orgánicos de desecho para mejorar el suelo, contribuyendo a incrementar las áreas verdes de la ciudad, a reducir la contaminación y a mejorar el microclima y la calidad del aire; incluso el hecho de que una menor cantidad de alimentos tenga que ingresar a la ciudad en camiones, contribuye a la sostenibilidad y tiene un impacto positivo ambiental (Mougeot, 2006).

Con relación a la sostenibilidad ambiental, en todos los sistemas productivos se logra el mejor aprovechamiento de los recursos naturales disponibles y el menor grado de desperdicio por parte de los implicados (reaprovechamiento de residuos sólidos para construcción de parterres, utilización de residuos orgánicos para producción de compost en los compostadores, separación de los residuos, etc. (Ribeiro, Bógus y Watanabe, 2015).

1.3.6 Beneficios para el medio ambiente. Los beneficios que trae consigo la agricultura orgánica, radican en que esta práctica no emplea plaguicidas sintéticos y por lo tanto no existe el riesgo contaminación en las aguas subterráneas y superficiales. Es cuanto a las filtraciones de nitratos, estudios realizados en Alemania y los Países Bajos muestran índices bajos de filtración nitratos, debido a que la agricultura orgánica prohíbe el uso fertilizantes nitrogenados, dando como resultado una escasa presencia de nitrógeno, disminuyendo el daño en los suelos y contaminación en el medio ambiente (El-Hage y Hattam, 2003). Los abonos orgánicos son amigables con el medio ambiente, porque sus ingredientes son naturales; aumentan el contenido de materia orgánica del suelo y son

más baratos. Ingredientes del abono orgánico como la cal, mejoran el nivel de pH del suelo, facilitando la liberación de nutrientes para las plantas (Gómez y Vásquez, s.f.).

1.3.7 Experiencias de las plantas de compostaje. Según un informe elaborado por Tetra Tech (Inc, 2013), los Estados Unidos al igual que la Unión Europea (UE), están en la etapa de resolver problemas de calidad del compost y de asegurar la calidad y la certificación. En contraste, en algunos países de América Latina, las plantas de compostaje son abandonadas por falta de acuerdos políticos y situaciones de tipo social, que pueden tomar mucho más tiempo en ser resueltos que los problemas de tipo técnico.

Para el caso de la Unión Europea, en donde al menos se contabilizan 2500 plantas de compostaje en 18 países que procesan un promedio de 11 millones de toneladas anuales de residuos sólidos orgánicos, y de las cuales muchas son privadas y otras pertenecen al estado, su mayor preocupación es la calidad del producto y que cumpla con la normatividad de la UE. De estas plantas, sus productos son vendidos a grandes y pequeños consumidores verificados con estándares de calidad bien establecidos y avalados con sellos de garantía de calidad.

América Latina cuenta con un inventario importante de plantas de compostaje, de las cuales un número importante no está en operación. De las que operan, la mayoría está enfocada al composteo de residuos de la poda, y la composta es para uso interno del estado. México ha desarrollado más plantas activas y en operación, sin embargo muchas de ellas son aun a nivel experimental y para prácticas escolares, más que para resolver un problema real o aprovechar un recurso en forma sustentable.

1.3.8 Experiencias sobre el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos. Jaramillo y Zapata (2008), relacionan experiencias a nivel mundial, nacional y local.

1.3.8.1 A nivel mundial. En 1997, en Madrid (España) se crea la ley 11 que obliga a recuperar y a realizar la separación en la fuente. De esta manera la población retoma los modelos europeos en materia de reciclaje e inicia la entrega selectiva. “Una vez se ha recolectado la basura, previamente clasificada por los residentes, se lleva a una de las dos plantas de tratamiento; una de estas aprovecha la combustión de los residuos orgánicos para producir energía. Los residuos que no se reciclan se disponen al relleno sanitario”.

Madrid cuenta con tres métodos para el tratamiento de residuos: un relleno sanitario, el cual cuenta con la vigilancia y control ambiental; una planta de recuperación del material, la cual produce abono orgánico, y, una planta que se encarga de recuperar, reciclar y producir energía. Otros países europeos como Alemania, Holanda, Suecia y Bélgica, han reducido la generación de basuras en alto porcentaje, con métodos de reciclado y aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos de forma similar a Madrid.

En Bolivia se plantean estudios de alternativas viables para solucionar el problema que ocasionan los residuos sólidos, tales como la reducción de volumen por trituración, incineración y aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos urbanos; tomando como modelo algunos métodos desarrollados en otros países sobre el aprovechamiento de materiales orgánicos para compost y lombricultivo, han iniciado en la última década con este tipo de tratamientos.

Al igual que todas las comunidades a nivel mundial, Bolivia plantea involucrar a los ciudadanos en este proceso, exigiendo hacer una buena clasificación y separación de residuos desde su origen domiciliario, ubicarlos en recipientes específicos y desarrollar programas educativos, con el fin de que la población participe en el proceso, por medio de la divulgación de normas ambientales, que propenden por la protección del ambiente y una mejor calidad de vida. Las experiencias en compostaje de Bolivia se realizan a partir de la educación a la población, respecto a la necesidad de realizar la separación de los residuos en sus hogares, acompañado de la producción del compost que es repartido entre las familias que hacen parte del programa y otra parte que es comercializada.

En América Latina y del Caribe existen 16 ciudades que albergan a más de 2 millones de habitantes y que hacen que la producción conjunta de residuos sólidos sea de 93000 ton/día. La ciudad que presenta la mayor población es Sao Paulo, cuya producción diaria de residuos sólidos es de 22140 toneladas, seguida de México, Buenos Aires, Rio de Janeiro, Lima, Bogotá, Santiago, Bello Horizonte, Caracas, Salvador, A.M Monterrey, Santo Domingo, Guayaquil, A.M Guatemala, Curitiba y La Habana.

En la mayoría de los países de América Latina, la cantidad de materia orgánica presente en los residuos sólidos urbanos supera el 50% del total generado, de los cuales aproximadamente el 2% recibe tratamiento adecuado para su aprovechamiento, mientras que el resto es confinado en rellenos sanitarios; otro porcentaje es dispuesto inadecuadamente en botaderos o es destinado a la alimentación de cerdos, sin un debido control y procesamiento sanitario. Viendo la necesidad de aprovechar los residuos sólidos orgánicos generados en las ciudades de América Latina para revertir la situación actual del deterioro ambiental y de la falta de oportunidades de empleo, algunas ciudades han tomado como alternativa compostar los residuos orgánicos urbanos generados.

De igual modo, en la ciudad de Rosario (Argentina), en el marco de la política de reducción de los volúmenes de residuos que llegan al relleno sanitario y del aprovechamiento de los residuos reutilizables, la Secretaría de Servicios Públicos municipal a través de la Dirección General de Política Ambiental, puso en marcha un proyecto relacionado con la utilización de residuos verdes, asistido por la Cooperación Técnica Argentino-Alemana a través de un convenio específico en la Gestión Integral de Residuos Sólidos firmado entre la municipalidad de Rosario y la Agencia Alemana GTZ. El proyecto se denomina *Proyecto Residuos Rosario*. Utilizando como materias primas las ramas producto de las podas, hojas y césped provenientes de la limpieza y mantenimiento de los jardines particulares, así como el desmalezado de terreno, y a través de un procedimiento totalmente natural, se genera un abono orgánico vegetal.

Entre los objetivos asociados e igualmente importantes, se encuentran la producción de compost para el abastecimiento del mismo a la Dirección general de Parques y Paseos, que hasta el momento debía comprarlo, y la posibilidad de realizar visitas escolares y de otras instituciones vinculadas al medio ambiente que permitan tomar conciencia sobre la necesidad de reciclar y reutilizar los residuos orgánicos domiciliarios. Para obtener el mejorador de suelos, se construyó una planta piloto de elaboración de compost que se encuentra ubicada en el predio del relleno sanitario Gallegos. Esta ubicación ha permitido continuar centralizando la disposición de los residuos en un solo lugar, además de aprovechar la infraestructura existente.

La empresa Ecuatoriana Compostec S.A se inició el 15 de septiembre de 1997. Antes de comenzar con el proyecto, se realizó un acuerdo con el Municipio para utilizar los terrenos del camal metropolitano y obtener los desechos orgánicos que éste pueda proporcionarle. El proyecto de compostaje incluyó dentro de los objetivos la producción de compost en base a los residuos municipales, dar una alternativa de control a la contaminación por materia orgánica, contribuir al mejoramiento del sistema de manejo de residuos orgánicos y generar empleo.

1.3.8.2 A nivel nacional. Manizales elaboró compost a partir de residuos orgánicos urbanos en el segundo semestre de 1995; en el Jardín Botánico de la Universidad de Caldas y con la colaboración de la Asociación de Recicladores, se realizó un ensayo demostrativo y explicatorio, con el objetivo de obtener compost con base en residuos urbanos bajo las condiciones climáticas locales; en dicho experimento se aplicó la técnica de biodegradación natural bajo la forma de remoción de dunas. Para comparar el tiempo de maduración del compost con relación a la pluviosidad, se destinaron dos áreas para la preparación del abono, una bajo cubierta de invernadero y otra a la intemperie.

En cada área se comparó el testigo con dos acelerantes: Agroplus y estiércol de bovino; se utilizaron dos fuentes de residuos: la plaza de mercado y los restaurantes. El experimento se inició en septiembre de 1995 y finalizó en enero de 1996. En estos cinco meses se obtuvo abono a la intemperie, mientras bajo cubierta de invernadero el tiempo de maduración en promedio fue de cincuenta días; el efecto de los acelerantes en el tiempo de maduración no fue significativo. Los resultados de laboratorio indican altos contenidos de materia orgánica, calcio, magnesio y potasio, además de poseer un pH neutro; estas características permiten recomendar el compost para la fertilización orgánica de los cultivos y para corregir el pH y las enmiendas de calcio y magnesio.

En el departamento del Cauca, la planta de compostaje de INCAUCA es un sistema de tratamiento de residuos industriales de la fabricación de azúcar y alcohol carburante, que comprende residuos de cosecha, cachaza, ceniza de bagazo, bagazo y vinaza. Cuenta con dos plantas de tratamiento: Composmatic y Backhus. La primera con una capacidad instalada de tratamiento de 150 toneladas de residuos sólidos y 50 toneladas de vinaza; la segunda con capacidad de 550 toneladas de residuos sólidos y 150 toneladas de vinaza, para un total de tratamiento de 900 toneladas por día de residuos orgánicos. El tratamiento se realiza en 70 días de digestión de la materia orgánica presente en los

residuos hasta la obtención del producto compost, que es un acondicionador orgánico de suelos. La planta tiene una capacidad instalada de producción de compost de 300 toneladas por día (Incauca, 1996). En la empresa Mayagüez, el compost es un abono orgánico resultante de la mezcla de los subproductos de la molienda de caña y la producción de etanol (vinaza + cachaza), un producto que contribuye a la conservación del medio ambiente y sostenibilidad de las tierras, en tanto que mejora la estructura y fertilidad del suelo, aumentando su capacidad de retención de agua. La producción estimada es de 52,000 toneladas por año.

1.3.8.3 A nivel local. Según el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), que establece la metodología de la Resolución 0754 del 2014, para el municipio de Popayán-Cauca, hay 0% de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos generados en plazas de mercado (Cuadro 1).

Cuadro 1. Parámetros de aprovechamiento

Nº	Parámetro	Resultado
1	Cobertura de rutas selectivas (CObrs) en el último año: $CObrs = (\text{Barrios con disponibilidad de rutas selectivas} / \text{Total de Barrios}) * 100$	100%
2	Aprovechamiento de residuos sólidos (RS) en el último año: $\text{Porcentaje de residuos sólidos aprovechados} = (\text{Toneladas de residuos aprovechados} / (\text{Toneladas de residuos sólidos dispuestos} + \text{Toneladas de residuos aprovechados})) * 100$	7,4%
3	Rechazos en bodegas, centros de acopio y estaciones de clasificación y aprovechamiento, en el último año	No se ha cuantificado
4	Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos generados en plazas de mercado (pm) en el último año: $(\text{Toneladas de residuos Orgánicos aprovechados} / (\text{R.S. orgánicos dispuestos} + \text{R.S. orgánicos aprovechados})) * 100$	0%
5	Población capacitada en temas de separación en la fuente: $(\text{Habitantes capacitados} / \text{habitantes totales}) * 100$	Se realizan campañas educativas por institución de manera separada; no se cuenta con una base de datos unificada que permita determinar el porcentaje de habitantes capacitados. Las Asociaciones de recicladores realizan campañas voz a voz

Fuente. PGIRS.

1.4 ANTECEDENTES

Ordóñez (2007) realizó un trabajo en la planta de compostaje la “Patojita”, en el cual sugirió unas condiciones apropiadas para el manejo del proceso de compostaje de

residuos de galería utilizando un sistema de apilamiento con volteo dinámico; el estudio no contó con la trascendencia necesaria para mejorar este tipo de procesos, además de contar con la mala fortuna del cambio de administración municipal, lo que generó que no hubiera continuidad en el proceso de recolección y clasificación de estos tipos de materiales en las plazas de mercado.

Durante el año 2013, la UMATA transformó en la planta de compostaje y vivero Municipal “La Patojita” un total de 52 toneladas de residuos orgánicos; 27 toneladas de podas recolectadas de las áreas verdes del área urbana, suministradas por la empresa Serviaseo y 25 toneladas de residuos sólidos orgánicos provenientes de galerías; de este proceso se obtuvieron 45,4 toneladas de abono orgánico, de las cuales 15,12 toneladas se distribuyeron de la siguientes manera: 6 toneladas a los beneficiarios de abono orgánico, que son personas dedicadas a las labores de producción agrícola y forestal, 1,5 toneladas a presidentes de junta de acción comunal, con la finalidad de realizar acciones de reforestación y construcción de huerta, 5,4 toneladas a la comunidad campesina para proyectos agrícolas como cultivos de café y hortalizas, 1,55 toneladas para implementación de huerta orgánica en “La Patojita” y jornadas de reforestación en el humedal San Antonio de Padua y en el barrio Alfonso López y 385 kg para arreglo del jardín de la Alcaldía Municipal.

En cuanto a la comercialización del abono, se reporta la venta de 280 kg por un valor de \$64000 durante el 2013. Como producto final remanente del año 2013 y disponible para el año 2014, se contó con 1435 kg de abono orgánico. El resto de material orgánico en proceso de compostaje presente en la planta, se inactivó para realizar su compostaje normal para el año 2014 (Bolaños, Vallejos y Velasco, 2014).

1.5 MARCO LEGAL

Cuadro 2. Legislación aplicable para el manejo de residuos sólidos orgánicos

Norma	Título	Descripción
Ley 99/1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones.	Sistema Nacional Ambiental. Artículo 5º.- Funciones del Ministerio. Corresponde al Ministerio del Medio Ambiente: 32. Establecer mecanismos de concertación con el sector privado para ajustar las actividades de éste a las metas ambientales previstas por el Gobierno; definir los casos en que haya lugar a la celebración de convenios para la ejecución de planes de cumplimiento con empresas públicas o privadas para ajustar tecnologías y mitigar o eliminar factores contaminantes y fijar las reglas para el cumplimiento de los compromisos derivados de dichos convenios. Promover la formulación de planes de reconversión industrial ligados a la implantación de tecnologías ambientalmente sanas y a la realización de actividades de descontaminación, de reciclaje y de reutilización de residuos

Cuadro 2. (Continuación)

Norma	Título	Descripción
Ley 142/1994	Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones	14.24. Modificado por el art. 1 de la Ley 689 de 2001. Servicio público domiciliario de aseo. Es el servicio de recolección municipal de residuos, principalmente sólidos. También se aplicará esta Ley a las actividades complementarias de transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de tales residuos.
Decreto 1713/2002	Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos.	Adicionado por el Art. 1, Decreto Nacional 1505 de 2003 con las siguientes definiciones: Aprovechamiento en el marco de la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Es el proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales, sociales y/o económicos
Ley 1259/2008	Por medio de la cual se instaura en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros; y se dictan otras disposiciones.	Artículo 1. Objeto. La finalidad de la presente ley es crear e implementar el Comparendo Ambiental como instrumento de cultura ciudadana, sobre el adecuado manejo de residuos sólidos y escombros, previendo la afectación del medio ambiente y la salud pública, mediante sanciones pedagógicas y económicas a todas aquellas personas naturales o jurídicas que infrinjan la normatividad existente en materia de residuos sólidos; así como propiciar el fomento de estímulos a las buenas prácticas ambientalistas.
Decreto 2981/2013	Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo	Plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS): Es el instrumento de planeación municipal o regional que contiene un conjunto ordenado de objetivos, metas, programas, proyectos, actividades y recursos definidos por uno o más entes territoriales para el manejo de los residuos sólidos, basado en la política de gestión integral de los mismos, el cual se ejecutará durante un período determinado, basándose en un diagnóstico inicial, en su proyección hacia el futuro y en un plan financiero viable que permita garantizar el mejoramiento continuo del manejo de residuos y la prestación del servicio de aseo a nivel municipal o regional, evaluado a través de la medición de resultados. Corresponde a la entidad territorial la formulación, implementación, evaluación, seguimiento y control y actualización del PGIRS
Resolución 754/2014	Por la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos	Artículo 4. Responsabilidades en la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización del PGIRS. Es responsabilidad de los municipios, distritos, esquemas asociativos territoriales, la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización del PGIRS en el ámbito local o regional, según el caso. La formulación o actualización del PGIRS deberá realizarse con la

Cuadro 2. (Continuación)

Norma	Título	Descripción
Resolución 754/2014	Sólidos	participación de los actores involucrados en la gestión integral de residuos sólidos.
Decreto 596/2016	Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1077 de 2015 en lo relativo con el esquema de aprovechamiento del servicio público de aseo y el régimen transitorio para la formalización de los recicladores de oficio, y se dictan otras disposiciones.	Sección 2. Aprovechamiento en el servicio público de aseo subsección 1. Esquema operativo de la actividad de aprovechamiento Parágrafo. La presentación de los residuos aprovechables, de acuerdo con los avances de la cultura ciudadana y de capacidad de los usuarios para la separación en la fuente, deberá efectuarse con un incremento gradual del nivel de desagregación de conformidad con lo dispuesto en los planes de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS).
Resolución 276/2016	Por la cual se reglamentan los lineamientos del esquema operativo de la actividad de aprovechamiento del servicio público de aseo y del régimen transitorio para la formalización de los recicladores de oficio acorde con lo establecido en el Capítulo 5 del Título 2 de la parte 3 del Decreto número 1077 de 2015 adicionado por el Decreto número 596 del 11 de abril de 2016.	Artículo 2°. Ámbito de Aplicación. La presente resolución aplica a las entidades territoriales, a las personas prestadoras de la actividad de recolección y transporte de residuos no aprovechables, personas prestadoras de la actividad de aprovechamiento incluidas las organizaciones de recicladores de oficio que estén en proceso de formalización, a los usuarios, a la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), a la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA)
NTC 5167	Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo	Esta norma establece los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas o acondicionadores de suelo.

Adaptado de la Legislación aplicable para el manejo de residuos.

2. METODOLOGÍA

La Práctica Profesional se desarrolló en la planta de aprovechamiento “La Patojita”, vivero del municipio de Popayán Cauca, donde se evaluaron los procesos e infraestructura de la planta de manejo de residuos sólidos orgánicos urbanos que se producen en las plazas de mercado Bolívar y Esmeralda.

2.1 ETAPA 1. EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA DE APROVECHAMIENTO

Se realizaron visitas técnicas al vivero municipal “la Patojita”, lugar donde se encuentra la planta, con el fin de tomar el registro fotográfico de la maquinaria, hacer la medición de áreas utilizadas en el proceso de elaboración, evaluar la producción de abono orgánico y determinar las fallas en el funcionamiento.

Se realizó un proceso de identificación del lugar a evaluar, se tomaron los puntos para la geo referenciación mediante la aplicación GPS Essentials en un dispositivo móvil, se abrió la aplicación y se esperó un determinado tiempo para enviarlos al satélite y tomar los puntos que delimita los linderos del vivero municipal la Patojita, donde se encuentra la planta de compostaje. Después de que se tomó cada coordenada, los puntos se exportaron mediante la aplicación GPS Essentials al programa de Google Earth Pro, se creó un polígono y se pudo determinar el área total y cada área existente utilizadas en el proceso de producción de abono orgánico.

Con los datos obtenidos se levantaron dos planos en AUTOCAD, uno que contiene las dimensiones en vista alzada y el segundo donde se muestra el perfil de las áreas de compostación y maquinaria existente, necesarias para la comprensión del proceso.

2.2 ETAPA 2. ALTERNATIVA PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

Esta etapa requirió del análisis del proceso de compostaje, para lo cual fue necesario el apoyo brindado por las organizaciones gubernamentales y sus portales Web en cuanto a la documentación, proyecciones, análisis sectorial y de forma agregada sobre la materia prima o residuos orgánicos que produce la ciudad.

Para la elaboración del manual de manejo de residuos sólidos orgánicos, se realizó un estudio previo tomando referencia experiencias anteriores, desde la selección en la fuente hasta la obtención del abono orgánico en la planta. A continuación se realizó la identificación de los suscriptores con mayor generación de residuos sólidos orgánicos aprovechables de las plazas de mercado Esmeralda y Bolívar, con las que se tuvo un

acercamiento para cerciorarse si tenían conocimiento acerca de la clasificación de los residuos que generan diariamente en su sitio de trabajo. Se plantearon alternativas para la separación en la fuente de residuos orgánicos e inorgánicos.

Se realizaron labores de limpieza y mantenimiento de la planta de compostaje, para lograr un proceso de inicio y reactivación; durante 26 días de labor, se desarrollaron actividades como remoción de la cobertura vegetal en áreas de interés, limpieza y lavado de canales de recolección de aguas lluvias, obras de bioingeniería para mitigar el deslizamiento del talud, arreglo y mantenimiento de la maquinaria existente.

Conjuntamente con la Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria UMATA, se realizó una sensibilización a los comerciantes de las plazas de mercado Esmeralda y Bolívar, con el fin de resaltar la importancia de la clasificación de los residuos sólidos en la fuente de generación. Dos integrantes de la asociación de recicladores del municipio de Popayán denominada Asociación Ambientalista de Popayán (ASOCAMPO), fueron capacitados para el aprovechamiento de residuos sólidos para la obtención del abono orgánico.

Una vez adecuada la planta se realizó la producción de abono orgánico, con el fin de tener la información primaria necesaria para la elaboración del manual operativo, e implementar un proceso técnico para el aprovechamiento de los residuos orgánicos provenientes de las plazas de mercado Esmeralda y Bolívar en la planta la Patojita; para este proceso fueron necesarias las siguientes actividades:

Se instaló un sistema de aireación forzada (método Beltsville y Rutgers), en el área de compostaje de la planta, con cuatro tubos de tubería sanitaria de tráfico pesado PVC de tres pulgadas (3") de un metro de longitud, colocado de manera horizontal, unido por tres T de PVC de 3 pulgadas, a tres tubos de 1.50 m de longitud, los cuales se colocaron de forma vertical. A cada tubo se le realizaron perforaciones de 0.005 m de diámetro con un taladro, sistema que finalmente fue conectado a una sopladora de 7000 RPM y 140 MPH con la que se le inyecta el aire a las pilas de compost.

La jornada de recolección se realizó día viernes en la plaza de mercado Bolívar con la ayuda de las organizaciones ASOGOLEROS y ASOCAMPO; los residuos recolectados en bolsas de polietileno se llevaron a la unidad técnica de basuras (UTB) (Ver figura 2), donde se realizó la selección de material orgánico de los comerciantes que disponen en la góndola; se cargaron el día sábado en un vehículo Ampliroll de propiedad de la empresa de servicio público de aseo ServiAseo y posteriormente se continuó la recolección en la calle 5 con carrera 17, esquina de la plaza de mercado la Esmeralda (Ver figura 3). Los residuos totales fueron trasladados hacia la planta de aprovechamiento la Patojita.

Se realizó la recepción de los residuos en la planta y pesaje de los sacos con su respectivo contenido, además de las materias primas secundarias (viruta y rumen); se

mezclaron los materiales con el fin de mantener la relación carbono 25:1- 35:1 sugerido por el Manual de compostaje del agricultor y se hicieron los cálculos C:N siguiendo la metodología de la Universidad de Cornell (Román, Martínez y Pantoja, 2013).

Figura 2. Sólidos orgánicos en la (UTB) A) Recolección, B) Cargue de residuos



Figura 3. Recolección de residuos sólidos orgánicos en la plaza de mercado Esmeralda



Una vez se calculó la relación C:N, se procedió a mezclar los materiales de manera manual con palas en el área de recepción, colocando una capa de viruta sobre el suelo para que esta absorbiera la humedad de los materiales involucrados en el proceso, se tomó una bolsa de polietileno con el material orgánico y se depositó el contenido sobre la capa de viruta, posteriormente se le agregaron 2 paladas de rumen y 1 de viruta completando la masa de material a compostar; los operarios estuvieron pendientes del material a mezclar, realizando la separación de material inorgánico como plástico, cartón, vasos desechables, bolsas de polietileno, fibras y latas, a los cuales se les determinó su masa.

Con la ayuda de un cronómetro, se tomó el tiempo desde que los residuos entran en la tolva número 1 hasta que finalmente el material es apilado, para establecer la capacidad operativa de la planta de compostaje.

El procesamiento del material se realizó de inmediato; las bolsas fueron separadas en tres partes iguales con el fin de tener tres tratamientos. Se colocaron dos partes del material mezclado en la tolva número 1 de manera manual, por medio de la banda transportadora (Ver figura 4). Al inicio se realizó aspersión con una mezcla de microorganismos en relación de 1 litro de producto en 19 litros de agua. En los dos costados de la banda transportadora se ubicaron operarios que se encargaron de clasificar y separar el material inorgánico, disponiéndolo en barriles plásticos. A la tercera parte restante de la mezcla no se le aplicaron microorganismos.

Figura 4. Inoculación de microorganismos en la banda transportadora



Cuando los residuos finalizaron el recorrido en la banda transportadora, pasaron a la máquina trituradora, donde se redujo el tamaño del material y se homogenizó la mezcla con los microorganismos aplicados. Se realizó el cálculo de la densidad de la mezcla mediante el método de cuarteo, que consistió en colocar sobre el piso de concreto una cantidad de 100 kg, los cuales fueron separados en cuatro partes, tomando dos partes opuestas y descartando las dos restantes; se mezclaron las dos partes y se dividieron en cuatro partes iguales, tomando nuevamente las dos opuestas, mezcla que depositada en un recipiente con volumen conocido, descartando las dos sobrantes.

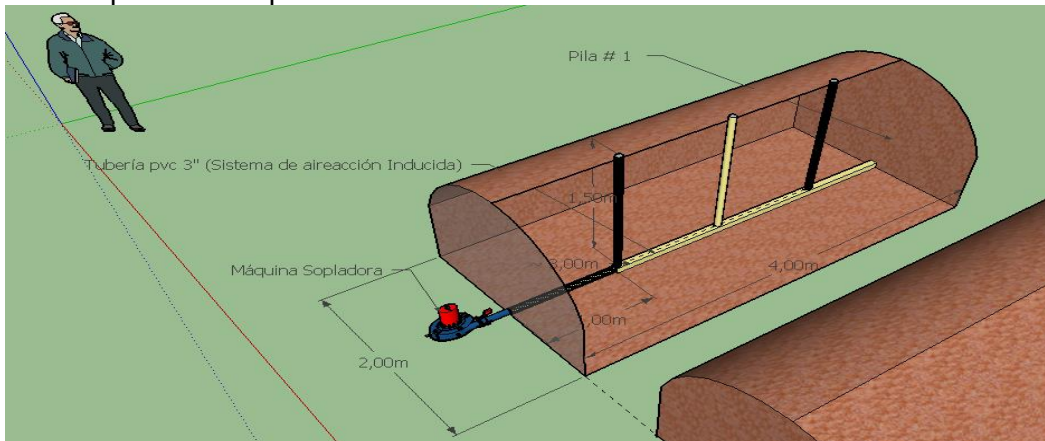
Se realizó el trasiego del material en carretillas y se dispuso en el área de compostaje para la pila 1 y se colocó la mezcla sobre el sistema de aireación inducida. Después de formada la pila, nuevamente se hizo aspersión de microorganismos, medición de variables de temperatura, pH y estimación de la humedad y se cubrió con plástico de polietileno de alta densidad. Para la pila número 2 se aplicaron microorganismos, se tomaron variables y se recubrió. Para la pila número 3 (blanco) se tomaron variables y se cubrió. Las dimensiones de las pilas 1, 2 y 3 fueron 2 m de ancho, 1.5m de alto y 4 m de largo (Ver figura 5).

2.2.1 Pila 1. Con el caudal de aire que proporciona la sopladora, se realizaron los cálculos para determinar el tiempo que tarda el flujo de aire en pasar por el sistema de tuberías para la aireación forzada.

Figura 5. Armado de pilas A) Pila 1, B) Pila 2, C) Pila 3



Figura 6. Esquema de la pila número 1



Para calcular la porosidad del abono orgánico, se calculó el volumen de la pila (determinado de forma longitudinal), con los siguientes datos:

Altura = $R = 1.5 \text{ m}$
Ancho = 2 m
Radio = $r = 1 \text{ m}$
Largo de la pila = 4 m

$$R' = \frac{R + r}{2} = \frac{1\text{m} + 1.5\text{m}}{2} = 1.25 \text{ m}$$

$$\text{Area} = \frac{(R')^2 \times \pi}{2} = \frac{(1.25 \text{ m})^2 \times \pi}{2} = 2.45\text{m}^2$$

$$\text{Volumen de la Pila} = 2.45\text{m}^2 \times 4 \text{ m} = 9.80\text{m}^3$$

$$\text{Porosidad} = 100\% \left(1 - \frac{\rho \text{ Aparente}}{\rho \text{ Real}} \right)$$

$$\text{Porosidad} = 100\% \left(1 - \frac{426,36 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}{632,58 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}} \right) = 32,49\%$$

$$\text{Volumen de Poros} = \text{Volumen de la pila} \times \text{Porosidad}$$

$$\text{Volumen de Poros} = 9.80\text{m}^3 \times 32,49\% = 3.18 \text{ m}^3$$

$$\text{Tiempo estimado de aireacción} = \frac{\text{Volumen de poros}}{\text{Flujo de aire de la sopladora}} = \frac{3.18 \text{ m}^3}{11.2 \frac{\text{m}^3}{\text{min}}} = 0.28 \text{ min}$$

Variación de la presión en la tubería:

$$\Delta H = \text{Presión de inyección de la sopladora} - \text{Presión atmosférica} - (\text{Pérdidas por fricción} + \text{pérdidas locales})$$

Presión de inyección de la sopladora = 45psi (Manual Técnico de la sopladora)

Caída de presión en Tubería

Cuadro 3. Dimensiones de tubería para el sistema de aeración forzada

Tubería	Metros lineales(m)
Te	0.23
Horizontal	4.00
Vertical	4.50
Total	8.73

Los datos se introdujeron en una calculadora virtual de caída de presión del aire en tubería, arrojando una caída de 0.2844 psi.

Figura 7. Resultados en la calculadora virtual de caída de presión

Introducir Datos		Unidades
Grado de Tubería	DIN 2448	
Tamaño de Tubería	DN80	
Presión del Aire	13.1	psi abs
Temperatura del Aire	20	°C
Rango de Flujo de Aire (Real)	(13.5255)	m³/min
Rango de Flujo de Aire (Normal)	(11.2345)	Nm³/min
Longitud de la Tubería [?]	8.73	m

[Mostrar Opciones Avanzadas](#)

Caída de Presión	0.284416	psi
Velocidad del Aire	42.17	m/s
Longitud Equivalente a una Tubería Horizontal	8.73	m
Resultados		

Fuente. Calculadora virtual elaborada por la compañía especialista en vapor.

Pérdidas por fricción de la Tubería

V= Velocidad

D= Diámetro de la tubería = 0.075 m

v= viscosidad del aire a 20°C = $15.10 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

Q= Caudal de aire

A= área de la tubería de 3"

$$Re = \frac{V \times D}{v} = \frac{42.17 \frac{\text{m}}{\text{s}} \times 0.075 \text{ m}}{(15.10 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}})} = 209454$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0.186 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{4.41 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 42.17 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Pérdidas de carga por fricción

f= coeficiente de fricción= 0.0155 (calculadora de Moody Chart)

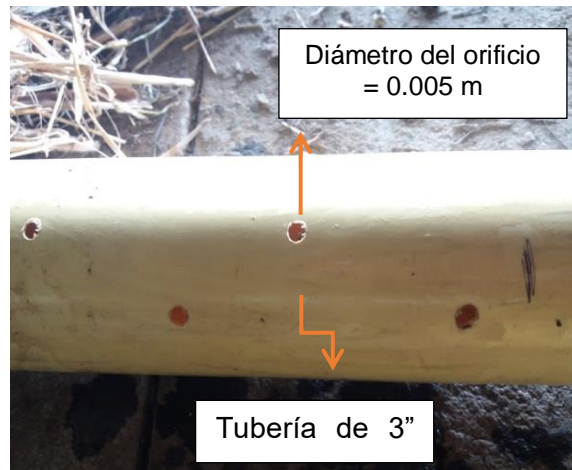
L= Longitud de la tubería=8.73 m

g= Aceleración de la gravedad=9.8 m/s²

$\frac{V^2}{2g}$ = cabeza de velocidad del tramo para un diámetro específico

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g} = 0.0155 \times \frac{8.73 \text{ m}}{0.075 \text{ m}} \times \frac{42.17 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{2 \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 3.88 \text{ m}$$

Figura 8. Perforaciones de la tubería en el sistema de aireación forzada



Orificios totales en 8.73 m de tubería = 340

$$\text{Area de un orificio} = \pi \times r^2 = \pi \times 0.0025^2 = 0.0000196 \text{ m}^2$$

$$\text{Caudal de salida de aire por orificio} = \frac{0.19 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{340} = 5.58 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\begin{aligned} \text{Velocidad de salida por los orificios} &= \frac{\text{Caudal de salida de aire por orificio}}{\text{Area del orificio}} = \frac{5.58 \times 10^{-4} \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0.0000196 \text{ m}^2} \\ &= 28.47 \frac{\text{m}}{\text{s}} \end{aligned}$$

Pérdidas locales de los orificios

K= coeficiente característico para cada accesorio= 0.5

V² = Velocidad de salida de los orificios

g= aceleración de la gravedad

$$hl = \frac{V^2}{2g} \times K = \frac{\left(28.47 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 20.68 \text{ m}$$

La velocidad en un medio poroso se determina por la conductividad hidráulica y se determina de la siguiente manera:

Q: caudal del fluido (m³/s)

k: conductividad hidráulica (m/s)

A: Área transversal (m²)

ΔH: Variación de a presión (m)

ΔL: Longitud en m

$$Q = K \times \text{Area} \times \frac{\Delta H}{\Delta L}$$

ΔH = Presión de inyección de aire – Presión atmosférica – (Perdidas por fricción + Perdidas locales)

$$\Delta H = (45\text{psi} - 14.7 \text{ psi} - (0.28\text{psi} + 0.15\text{psi})) = 29.87\text{psi} = 20.99\text{m}$$

De esta expresión se despeja la conductividad hidráulica:

$$k = \frac{Q}{\left(\text{Area} \times \frac{\Delta H}{\Delta L}\right)} = \frac{0.186 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{6\text{m} \times \frac{20.99\text{m}}{1 \text{ m}}} = 1.48 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$t = \frac{d}{k} = \frac{1 \text{ m}}{1.48 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 675.67\text{s} = 11.26 \text{ min}$$

La máquina sopladora fue prendida para el tratamiento 1 con una frecuencia diaria de 12 min para 2074.1 kg y un volumen de 9.8 m³, con el fin de proporcionar O₂ a los

microorganismos aerobios involucrados en el proceso. Para brindar O₂ a los tratamientos 2 y 3 se realizó volteo manual con pala, una vez por semana.

Los microorganismos específicos fueron aplicados con una frecuencia de una vez por semana en dosis y proporción igual que en las etapas anteriores para el tratamiento 1 y 2.

2.3 ETAPA 3. ANÁLISIS DEL ABONO OBTENIDO A PARTIR DE RESIDUOS GENERADOS DE PLAZA DE MERCADO

En la fase de maduración se tamizado se tomaron tres muestras de compost de 1000 g, una de cada tratamiento, se depositaron en bolsas plásticas con cierre hermético, se marcaron con los datos de la compostera, fecha, nombre de la persona a cargo, localización y se enviaron al Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT y al laboratorio de análisis ambiental, para el análisis físico químico del producto final.

Los resultados de las muestras fueron analizados e interpretados de acuerdo a la NTC 5167 (Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo).

3. RESULTADOS

3.1 EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL

3.1.1 Infraestructura física. La planta de compostaje presenta cinco áreas principales, sobre las cuales se ha edificado una infraestructura física sin uso por falta de continuidad del proceso de compostaje; se evidenció un aprovechamiento mínimo de esta infraestructura y de los espacios, para producir material vegetal de ornamentación y forestal, áreas que se encuentran descritas en el levantamiento planimétrico y los perfiles de la planta de compostaje (ver anexos A y B). La capacidad operativa de la planta es de 2,95 ton/h de residuos orgánicos.

3.1.1.1 Área de maniobras de vehículos. Esta área tiene 54.07 m², la cual se encuentra a la entrada de la planta sobre la vía que conduce a El Tambo, con cerramiento en alambre de púas. Presenta una superficie de cemento asfáltico y sobre ella cobertura vegetal; según el concepto de ingeniería civil, se encuentra en buen estado y apta para la operación requerida en el manejo y depósito del material orgánico (ver figura 9).

Figura 9. Área de maniobra de vehículos



3.1.1.2 Área de recepción de material orgánico. El área de recepción tiene 22.82 m² y presenta una cubierta de zinc y estructura metálica; tres de las diagonales que se encuentran uniendo las columnas con la cercha de la cubierta, presentan daño (figura 10). La superficie cuenta con un piso en concreto de 3000 psi y al final de la misma tiene un muro en concreto de 3000 psi, el cual presenta tubos de filtración de agua y un canal transversal con dimensiones (4.9x0.20x0.25) para la recolección de aguas lluvias y líquidos escurridos del materia orgánico descargado.

3.1.1.3 Área de clasificación e inoculación de residuos sólidos orgánicos. El área de clasificación tiene 144.10 m², cuenta con un piso de placas en concreto de 3000psi en buen estado, excepto una placa de (1.5x1.5) que presenta deformación debido al cambio

de la estabilidad del suelo. En esta área se encuentra la tolva 1, construida en ángulo de $1\frac{1}{2}$ por 1/8 y lámina Colrol calibre 14. Junto a ella está la banda transportadora con una longitud de 14.69 m; cuenta con un chasis, transmisión y un motor reductor de 5HP para un funcionamiento de 12 rpm, a una velocidad de 0.26 m/s, la cual se encuentra fuera de servicio. Este equipo traslada el producto de la tolva 1 a la 2.

Figura 10. Área de recepción del material orgánico



Esta área tiene una estructura metálica y cubierta en zinc en regular estado, tres hojas de zinc que conforman la cubierta se encuentran con perforaciones. Al final del área tiene un muro en mampostería con columnas y una viga, cuenta con tubos de filtración de aguas de escorrentía por el lavado y de aguas lluvias (Ver figura 11).

Figura 11. Área de clasificación residuos sólidos orgánicos



3.1.1.4 Área de trituración de residuos. El área de trituración (Ver figura 12) tiene 18.96 m², el piso es de concreto de 3000 psi, donde se tiene instalada la máquina trituradora con un sistema de dos motores que constan de 98 martillos cada uno, con sus respectivos separadores, ejes y chumaceras, activados con un motor. El molino triturador de residuos

se encuentra fuera de funcionamiento. Estos equipos se soportan por pilares en concreto de 3000psi con dimensiones de 0.73 x 0.16 x 0.76. La estructura y la cubierta de zinc del área de clasificación alcanzan a cubrir el área de trituración.

Figura 12. Área de trituración de residuos sólidos orgánicos



3.1.1.5 Área de Compostaje. El área de compostaje tiene 459.84 m², cuenta con un piso de placas en concreto de 3000psi, se aprecian grietas en algunos sectores, estructura metálica con cubierta en zinc, con canales de recolección de aguas lluvias y un tanque de almacenamiento de 2.000 litros; 15 hojas de zinc de la cubierta presentan un alto grado de deterioro, se evidencian perforaciones y una de ellas no se encuentra. En la zona lateral se presenta un talud con un suelo arcilloso color rojizo y se observa deslizamiento de material a causa de la inestabilidad del suelo; para la corrección de la inestabilidad del talud, se observa que se plantaron cinco árboles de pino (*Pinus patula*) (Ver figura 13).

Figura 13. Área de compostaje



Finalmente, las canaletas en concreto para la recolección de lixiviados de 0.60 x 0.02 x 150.6 con una pendiente de 0,1%, se encuentran obstruidos por la acumulación de arcilla, que se genera por el continuo deslizamiento del talud. Los continuos desprendimientos de arcilla condicionan su funcionalidad (Ver figura 14)

Figura 14. Reptación de talud en el área de compostaje



3.2 INFRAESTRUCTURA FÍSICA DEL VIVERO FORESTAL

La infraestructura del vivero forestal se encuentra en regular estado y requiere de un mantenimiento urgente para evitar su continuo deterioro y su posterior colapso.

Casa bodega: actualmente cuenta con servicio de energía, tiene suministro de agua, su infraestructura es en piso de concreto y baldosa, techo de tejas de fibrocemento y paredes en ladrillo; se subdivide en área de recepción, baño general, lavadero, cocina, bodegas de almacenamiento de herramientas, equipos e insumos agropecuarios. Se complementa con una losa en concreto para de lavado de equipos y herramientas, ubicada en el área verde al ingreso de la unidad agropecuaria, y en la misma área un punto ecológico para la recepción de residuos sólidos. La vivienda presenta un sistema rudimentario de cosecha de aguas lluvias, que consta de canales colectores ubicados en todo el perímetro del techo; no se evidencia funcionalidad por tener el canal que conecta con el tanque de 2000 litros por fuera, una alternativa favorable para garantizar el flujo de agua que se utiliza en las labores diarias de trabajo y la humedad que requieren las pilas de compostaje.

Invernadero de germinación: estructura en guadua, bordeada con polisombra como protector lateral y sin cubierta.

Invernadero de crecimiento 1: estructura en guadua, presenta un cubrimiento perimetral en plástico y cubierta en polisombra, la cual protege las plántulas ornamentales y forestales que se encuentran en etapa de crecimiento. La infraestructura está en regular estado.

Invernadero de crecimiento 2: estructura en guadua, tiene protección lateral en plástico transparente y cubierta en polisombra; se encuentra en regular estado por falta de mantenimiento.

Caseta de empacado de bolsas para plántulas: el piso está conformado por una losa en concreto, la estructura de las columnas y el soporte del techo son metálicas, cubierta en tejas de fibrocemento, tiene canaletas de recolección de aguas lluvias y dos tanques de almacenamiento de 2.000 litros, ubicado a un costado lateral sobre un tanque de concreto.

Estación meteorológica: tiene una estructura de concreto y ladrillo con encerramiento de malla metálica eslabonada.

Área verde: conformada por pasto grama y jardín de plantas ornamentales, arbustivas y algunos árboles a su alrededor.

3.2.1 Zona de lombricultura. Presenta dos áreas separadas para maduración y lombricultura. Tiene una losa de concreto con sus respectivas canaletas de lixiviados (0,60x0, 02x82,6), estructura metálica y techo de zinc. Una losa adicional ubicada al ingreso de la caseta principal se encuentra sin techo y su estructura metálica está colapsada (Ver figura 15).

Figura 15. Caseta de maduración y lombricultura



3.3 SENSIBILIZACIÓN A LOS COMERCIANTES DE LAS PLAZAS MERCADO ESMERALDA Y BOLÍVAR

Las actividades fueron propuestas partiendo de un programa de aprovechamiento dirigido por la UMATA, con asesoría de la Asociación de recicladores de oficio Los Goleros; el programa contempla la reactivación de la planta de compostaje “La Patojita” ubicada en el vivero municipal, la cual consiste en una prueba piloto con materia prima proveniente de la plaza de mercado la Esmeralda y el barrio Bolívar. La socialización se realizó en la plazas de mercado Esmeralda y Bolívar la cual fue dirigida principalmente a los comerciantes que trabajan en ella, representantes de cada sector (frutas, hortalizas,

graneros, expendio de carne y administración de plaza), con el fin de informar acerca del proyecto en curso de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos. En la reunión se dio a conocer el proceso de diagnóstico, caracterización y estrategias planteadas, de tal forma que los líderes de los comerciantes y la comunidad participaran en el proceso.

Se propuso dotar de sacos de polietileno a los locales comerciales destinados a productos agrícolas, que se encuentran dentro y fuera de la plaza de mercado; esto debido a que son las que producen casi la totalidad de los residuos orgánicos. Se sabe, por el estudio de diagnóstico previo, que la actividad comercial de productos agrícolas produce muy pocos residuos inorgánicos, por lo general algunas cajas de cartón y bolsas plásticas; mientras que la producción de orgánicos es casi total (Ver figura 16).

Figura 16. Socialización plaza de mercado Esmeralda



3.3.1 Socialización plaza de mercado Bolívar. Con el fin dar a conocer el proyecto de prueba piloto en la planta de compostaje la Patojita, se socializó a los funcionarios en cabeza del administrador de la plaza de mercado Bolívar, la importancia de la clasificación y selección desde la fuente de residuos orgánicos, dando a conocer el impacto del proyecto en el marco de aprovechamiento, según el decreto 596 de 2016.

Figura 17. Socialización plaza de mercado Bolívar



3.3.2 Socialización actividades en la planta de aprovechamiento, dirigida a los Recicladores de oficio de las organizaciones ASOCAMPO. El proyecto de prueba piloto involucró operativamente a la organización “ASOGOLEROS” y la asociación ASOCAMPO; con el fin de llevar a cabo el proceso, se socializa y se capacita al personal de ASOCAMPO en el manejo de residuos sólidos orgánicos en la planta de compostaje la Patojita, proceso que ayuda a fortalecer y dignificar la labor de los recicladores de oficio, a quienes se les forma como líderes, capaces de continuar el proceso en el tiempo.

Figura 18. Capacitación a la Organización ASOCAMPO



Una vez se inician los procesos, se realiza una inducción del manejo de variables de control en el proceso como temperatura, pH y humedad.

3.4 MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA DE LA PLANTA DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS LA PATOJITA

Se realizó el mantenimiento y adecuaciones a las áreas de la planta de compostaje, con un equipo conformado por Asociación de Recicladores Los Goleros ASOGOLEROS y Asociación Ambientalista de Popayán ASOCAMPO.

3.4.1 Adecuación y optimización de las áreas de la planta de compostaje.

3.4.1.1 Área de Maniobras de vehículos y Recepción de residuos sólidos orgánicos. Se realizó la remoción de aproximadamente 43 m² de cobertura vegetal de las dos áreas, la limpieza del canal transversal de 4.9 x 0.20 x 0.25 m el cual se encontraba con acumulación de material arcilloso, impidiendo el drenaje de agua lluvia y los líquidos escurridos.

3.4.1.2 Área de clasificación e inoculación. Se adecuaron 144.10 m², recolección de residuos orgánicos e inorgánicos, barrido, lavado, traslado de material como; barriles plásticos, varillas metálicas, bultos, guaduas y motocultores.

3.4.1.3 Área de trituración. Se realizó la remoción de musgos de los pisos de concreto, deshierba y lavado de 18.96 m², además del asesoramiento para la restauración y puesta en marcha de la máquina trituradora (Ver figura 19).

Figura 19. Área de Trituración de residuos sólidos orgánicos



3.4.1.4 Área de Compostaje. Adecuación de 459,84m² del área de compostaje y transformación de residuos orgánicos, en donde se hicieron actividades de trasiego de materiales y armado de sistema de aireación inducida.

3.4.1.5 Mantenimiento de techos. La planta tiene un área de 699,79 m², los cuales se encontraban en condiciones de abandono evidenciado por el deterioro y acumulación de hojas, oxidación, desprendimientos y goteras en techos; el equipo de trabajo desarrolló labores de barrido, desalojo de material acumulado y lavado de las hojas, lodos y desechos encima de las tejas de zinc (Ver figura 20).

Figura 20. Limpieza de techos y canaletas metálicas



Se ajustaron las hojas de zinc correspondiente al techo del área de clasificación e inoculación y compostaje. Se preparó una pasta con poliestireno expandido y gasolina, material pastoso que se aplicó en quince hojas de zinc que presentaban perforaciones en

dichas áreas. Se realizó la limpieza perimetral de las áreas de la planta de compostaje; los alrededores de la planta se encontraban invadidos de hierba y maleza, que habían copado tanto el exterior como el interior de las áreas construidas, deteriorando la estructura.

En las áreas perimetrales de los techos de la planta correspondientes a 134.8 m lineales se realizó la limpieza, destape y reaseguramiento de canaletas metálicas.

Se realizó el proceso de guadañado, desmalezado, corte de rastrojo, arreglo y mantenimiento de árboles y arbustos, correspondiente a 755 m².

3.4.2 Desalojo de material de desecho, basura, escombros y tierra. Se retiraron materiales ajenos a las actividades propias de la planta, como material arcilloso, mediante el cargue y carretilleo (Ver figura 21).

Figura 21. Limpieza y trasiego de materiales



3.4.2.1 Muro de contención. Con el fin de minimizar el deslizamiento del talud en el área de compostaje, se implementaron obras de bioingeniería usando postes y tablonés que ayudan a la conservación del talud (Ver figura 22).

3.5 PLAN DE MANEJO OPERATIVO (P.M.O)

El plan de manejo operativo se articula dentro del esquema de aprovechamiento en el marco de la política pública del plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), y contiene la información de la planta (Ver cuadro 4) y sobre los aspectos operativos del procesamiento y transformación de residuos sólidos orgánicos generados en las plazas de mercado Esmeralda y Bolívar de la ciudad de Popayán (Ver figura 23). El plan de operación sigue los procesos de: Recolección, Cargue, Transporte, Descargue, Recepción y Pesaje, Clasificación, Inoculación, Trituración, Armado de pilas, Control de

variables y posibles líquidos de escurridos generados en la planta de compostaje y Maduración y Tamizaje (Ver figura 24).

Figura 22. Recuperación del talud



Cuadro 4. Datos generales de la planta de compostaje

Nombre de la Empresa	Planta de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos la Patojita
Representante legal	Rosalba Joaqui Joaqui
Responsable del P.M.O	Luperli Yamileth Dorado Maca
Dirección	Vereda Cajete
Fecha de inicio de operaciones	18 de julio del 2014
Actividad de la empresa	Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos
Cantidad de personal	9

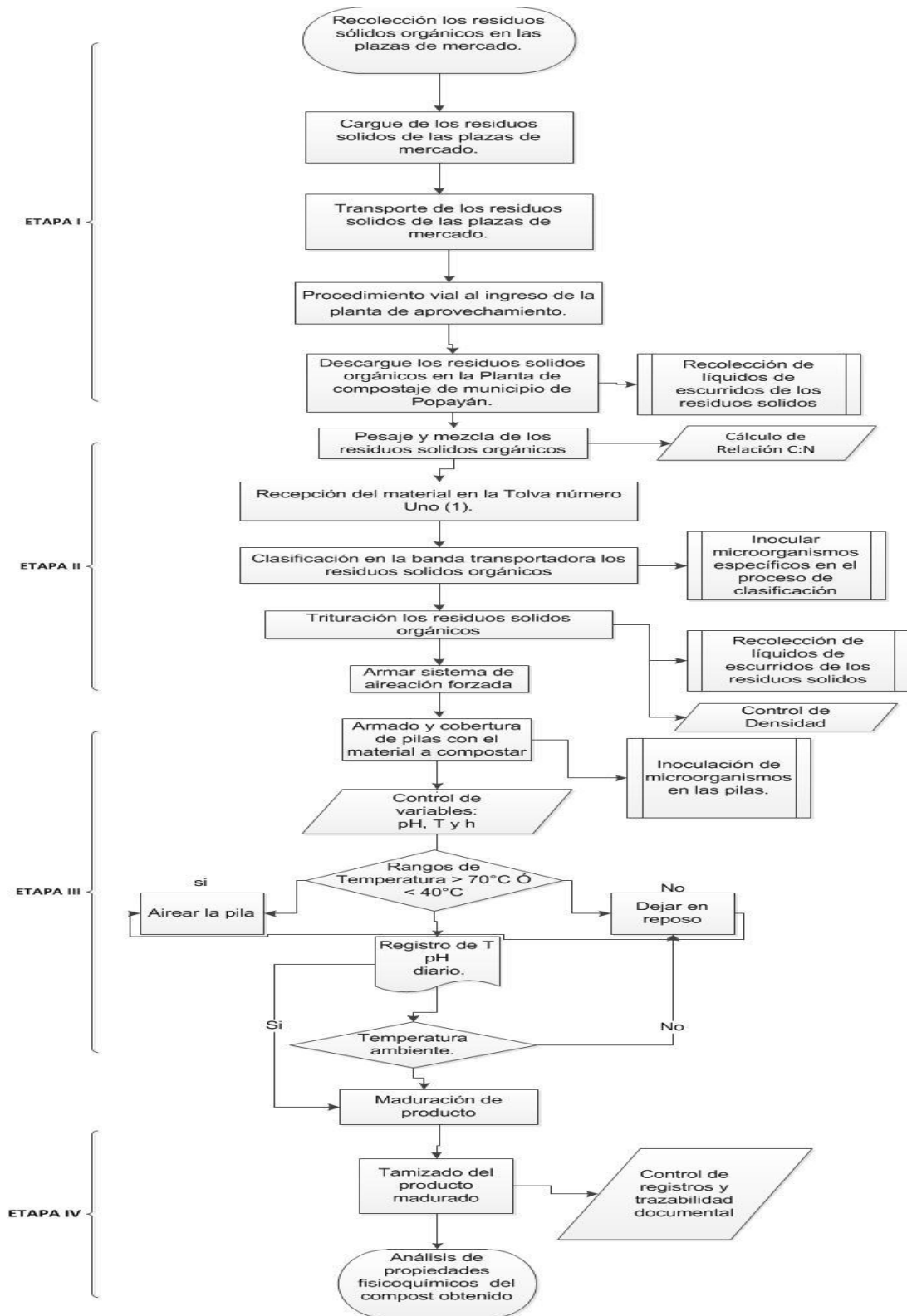
Figura 23. Proceso de compostaje



3.5.1 Etapa I.

Objetivo: recolectar, cargar y transportar los residuos sólidos orgánicos provenientes de las plazas de mercado Esmeralda y Bolívar hasta la planta de compostaje la Patojita.

Figura 24. Diagrama del flujo del proceso



3.5.1.1 Recolección.

Responsable. Operarios de recolección.

Descripción de Actividades. Previa capacitación de la separación de los residuos orgánicos en la fuente se inicia el proceso de recolección. La actividad de recolección se llevará a cabo diariamente en los horarios entre 8:00 a.m. – 4:00 p.m. en los días establecidos según el cuadro 5.

Cuadro 5. Rutas

Plaza/Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado
Esmeralda	X	X	X	X	X	X
Bolívar	X	X	X	X	X	X

El personal operativo portará elementos de protección personal guantes, gafas y tapabocas para iniciar labores y en caso de lluvia, también portará capa. Se encargará de recolectar los residuos orgánicos a los locales comerciales de productos agrícolas ubicados en las plazas de mercado, según los puntos establecidos en cada una de ellas.

El operario deber revisar en la fuente los residuos no aprovechables en el proceso, descartando su recolección; se debe identificar y llevar un reporte de la novedad, para mejorar la trazabilidad del proceso de aprovechamiento y fortalecer los procesos educativos de capacitación.

El vehículo tipo Ampliroll proveniente de la planta la Patojita, debe desplazarse hacia el punto de cargue de residuos de acuerdo a la ruta establecida. Una vez los operarios realicen la recolección, proceden a disponer los residuos en el vehículo transportador para llevarlos hacia la planta de aprovechamiento la “Patojita”.

3.5.1.2 Cargue.

Responsable. Operarios de cargue

Descripción de Actividades. La actividad de cargue de los residuos orgánicos no debe sobre pasar las dos horas en cada plaza de mercado; el vehículo debe estacionarse en el punto de cargue de residuos estratégicamente en la plaza de mercado, observando todos los procedimientos viales y normativos, de tal manera que no cause obstrucción en la vía.

Los operarios proceden a cargar los residuos orgánicos en el vehículo recolector.

3.5.1.3 Procedimiento vial al ingreso de la planta de aprovechamiento.

Responsable. Operarios de cargue, supervisor de la planta y vigilante.

Descripción de Actividades. El operario asignado identificará cuando llegue el vehículo a la planta de aprovechamiento, se dirigirá hacia el cerco metálico, retirando el candado para dar ingreso al vehículo que será recibido por un operario, quien con las paletas de pare y siga dentro de la planta de compostaje, da señales para un ingreso seguro.

3.1.5.4 Descargue y pesaje.

Responsables. Conductor, operarios de recolección y el supervisor de la planta de aprovechamiento.

Descripción de actividades. El vehículo deberá dirigirse al área de recepción del material, realizando una maniobra de tal forma de que en reversa y una vez estacionado, abre la compuerta y levanta la caja, depositando los residuos orgánicos en el área de recepción. En el proceso de descargue los operarios deben verificar la presencia de residuos inorgánicos para posterior descarte, los cuales serán dispuestos en recipientes ubicados en el área de recepción, separados y entregados al relleno sanitario Los Picachos.

Los residuos orgánicos serán pesados en su totalidad, con la ayuda de una báscula de uso rudo con capacidad de 200 kg en la estructura metálica del área y registrados en la tabla de control de inicio y finalización del proceso de compostaje (Anexo D).

La velocidad de desplazamiento dentro del predio no podrá ser superior a los 10 km/hora. Una vez descargados los residuos, desde la cabina el conductor accionará el engranaje del vehículo Ampliroll, con el fin de colocar la caja de forma horizontal sobre él, posteriormente procede a retirarse de la planta de compostaje.

En el proceso de recepción del material, los escurridos serán drenados en el cárcamo por un canal con medidas 4.9 x 0.20 x 0.30 m, y llevados con una pendiente del 8% a un tanque de recolección de 2000 L. El líquido es usado para humedecer las pilas de compostaje.

3.5.2 Etapa II.

Objetivo: mezclar, clasificar, inocular y triturar los materiales destinados al proceso de compostación.

3.5.2.1 Mezcla de los materiales.

Responsables. Operario encargado

Descripción de actividades. El operario procede a sacar el contenido de las bolsas provenientes de las plazas mercado. Los residuos inorgánicos generados en el proceso son separados y dispuestos en recipientes.

3.5.2.2 Relación Carbono Nitrógeno (C:N). El total de los residuos orgánicos será el 70%; el 30% restante es la cantidad de rumen que se debe agregar en el proceso. Se debe hacer el registro de las cantidades mezcladas para determinar la relación C:N inicial (Anexo D). Se mezcla un saco de residuos orgánicos, cuya masa promedio es 24 kg, con dos paladas de rumen y una de viruta de madera.

3.5.2.3 Recepción del material en la tolva 1.

Responsables. Operario y supervisor de la planta de aprovechamiento.

Descripción de actividades. Una vez se encuentren mezclados los materiales, estos se colocan de manera manual con una pala en la tolva 1.

Figura 25. Tolva número 1



3.5.2.4 Clasificación e inoculación en la banda transportadora.

Responsable. Operarios de clasificación y supervisor de planta de aprovechamiento.

Descripción de actividades. Un operario se ubica al inicio de la banda transportadora, con el fin de sostener la bomba de aspersión con la dilución de los microorganismos, un

litro de producto en 19 litros de agua; de manera uniforme se aplica la mezcla sobre los residuos provenientes de la tolva 1, desde donde se transportan los residuos de la mezcla por la banda transportadora hasta la máquina trituradora.

En el recorrido de la banda transportadora (Ver figura 26), se ubicará un operario a cada lado para retirar inorgánicos como plástico, piedras, vidrio entre otros, descartando en barriles plásticos posibles residuos que en el momento de separación en la fuente no fueron dispuestos en un lugar diferente.

Figura 26. Banda transportadora



3.5.2.5 Trituración los residuos sólidos orgánicos.

Responsables. Operarios de clasificación y supervisor de la planta de aprovechamiento de residuos orgánicos.

Descripción de actividades. En el proceso de trituración, el material pasa por la tolva 2 que en su parte inferior cuenta con dos molinos de martillo, los cuales disminuyen el tamaño de partícula hasta aproximadamente 5 cm (Ver figura 27), con el fin tener mejores resultados en cuanto a la relación del tiempo en la velocidad de descomposición.

3.5.3 Etapa III.

Objetivo: Preparar, armar, inocular y controlar el sistema de compostaje.

3.5.3.1 Sistema de aireación forzada.

Responsable. Operario de compostaje y coordinador de planta de aprovechamiento.

Figura 27. Tolva número 2



Descripción de actividades. El operario encargado debe instalar un sistema de aireación forzada; éste debe adecuarse en el área de compostaje de la planta, con cuatro tubos de tubería sanitaria de tráfico pesado PVC de tres pulgadas (3") de un metro de longitud, puesto de manera horizontal, unido por tres T de PVC de 3" a tres tubos de una longitud de 1.50 m, los cuales se colocan de forma vertical. A cada tubo se le realizan perforaciones de 0.005 m de diámetro con un taladro, sistema que finalmente se conectará a una sopladora de 7000 RPM (Revoluciones Por Minuto) y 140 MPH (Millas por Hora) con la que se le inyectará el aire a las pilas.

3.5.3.2 Apilamiento material triturado.

Responsable. Operario de recepción y supervisor de la planta de aprovechamiento.

Descripción de actividades. Fijar una carretilla en la parte inferior de la máquina trituradora, para recepcionar el material.

El material es transportado en carretillas hacia el área de compostaje. Verificar que los líquidos escurridos del proceso sean canalizados en el tanque de recolección; si existen vertimientos, tomar acciones correctivas en el proceso.

3.5.3.3 Cálculo de la densidad (Método de cuarteo). . Con el fin de obtener una muestra significativa para el cálculo de la densidad del material triturado, se toman 100 kg, se parte en cuatro partes iguales y se toman dos partes opuestas, las dos sobrantes se descartan.

Una vez se tenga la muestra se deposita en un recipiente con volumen conocido y finalmente se determina la masa de la mezcla, consignado el valor en el formato presentado en el Anexo D.

Figura 28. Transporte de material en carretillas



3.5.3.4 Armado de pilas con el material a compostar.

Responsable. Operarios y coordinador de planta de aprovechamiento.

Descripción de actividades. El material es dispuesto manualmente mediante paleo, sobre el sistema de aireación forzada previamente armado, formando pilas de 4x2x1.5m.

Figura 29. Armado de pilas



3.5.3.5 Inoculación de microorganismos en las pilas.

Responsable. Operarios y coordinador de planta de aprovechamiento.

Descripción de actividades. Se aplican microorganismos eficientes en una mezcla de 1 litro de producto en 19 litros de agua, mediante una bomba de aspersión, sobre el material a compostar.

Se toman medidas de pH y temperatura iniciales, las cuales son registradas en el formato presentado en el Anexo C; finalmente, la pila es recubierta con plástico de polietileno de alta densidad, con el fin de ayudar a conservar la temperatura además de controlar posibles vectores y olores en el proceso.

Figura 30. Inoculación de microorganismos en las pilas



3.5.3.6 Control de variables: pH, temperatura y humedad.

Responsable. Operario encargado de medir variables y coordinador de planta de aprovechamiento.

Descripción de actividades.

Medición de pH: se toma una muestra de 1 gr de material en proceso de compostación, disuelto en 10 ml de agua destilada, se agita la mezcla por 10 minutos y se deja precipitar.

Figura 31. Medición del pH



Se sumerge el potenciómetro en la solución sin que la membrana del electrodo toque la superficie del recipiente, hasta que se estabilice y arroje un valor, que posteriormente es registrado en el formato respectivo (Anexo C). Cada vez que se tome la medida, el potenciómetro se debe calibrar con soluciones buffer 4 y 6.8.

Medición de Temperatura: en los extremos y en el centro de la pila se abren agujeros a una profundidad de aproximadamente 0.75 m, en los cuales se introduce una sonda que tiene una termocupla conectada a un multímetro, que arrojará el valor de la temperatura del material en proceso de compostaje, valor que será registrado en el Anexo C.

Figura 32. Medición de la temperatura



Estimación de la Humedad: mediante la prueba del puño se determina la humedad. Este método consiste en tomar la cantidad del sustrato posible en el puño de una mano; se le aplica fuerza normal, deben salir por lo menos de 3 a 5 gotas los 20 primeros días, en los días restantes hasta el proceso de maduración no debe existir goteo.

Figura 33. Prueba de puño



3.5.4 Etapa IV.

Objetivo. Controlar variables y analizar propiedades fisicoquímicas del abono orgánico obtenido.

3.5.4.1 Análisis de propiedades fisicoquímicos del compost obtenido.

Responsable. Operario encargado y coordinador de planta de aprovechamiento.

Descripción de actividades. Se tamiza una muestra de 1000 gr de producto obtenido, que se deposita en una bolsa plástica con cierre hermético. Se envían las muestras a un laboratorio que cuente con las herramientas necesarias para la identificación de sus componentes.

Los valores obtenidos en el laboratorio son comparados y analizados con la NTC 5167 (Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo).

3.5.4.2 Tamizaje.

Responsable. Operario encargado.

Descripción de actividades. Se coloca plástico sobre la losa de concreto, en el área destinada para producto madurado; éste se coloca sobre la malla y de manera manual se procede a tamizar el producto. Se calcula la masa del producto tamizado, consignando el valor en el formato correspondiente (Anexo D).

Figura 34. Tamizado del compost



3.5.5 Relación y descripción de maquinaria y equipo para la operación. Con el ánimo de garantizar el aprovechamiento de residuos orgánicos de manera permanente e ininterrumpida, la organización operadora de la planta destinará la maquinaria relacionada en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Relación de equipo para la operación de la planta

Equipo	Cantidad	Descripción
Banda transportadora	1	Cuenta con un chasis, banda, transmisión y un motor reductor de 5 hp para un funcionamiento de 12 RPM. Este equipo traslada dosifica el producto a la Tolva 1
Molino de martillos	2	Consta de 98 martillos cada uno con sus respectivos separadores, ejes y chumaceras, activados con un motor.
Motor	1	25 HP marca Weg, 2600 rpm, donde se da el proceso final a este producto.
Turbina	1	Proporciona 7000 rpm e inyecta 140 MPH.
Báscula	1	Realiza el pesaje de la materia prima y producto terminado; capacidad para 200 Kg.
Tolva 1	1	Surtidora y dosificadora de producto a banda transportadora, construida en ángulo de 1 ½ por 1/8" y lámina Colrol calibre 14.
Tolva 2	1	Del recibo surtidora del producto a molino de martillos, construida en ángulo de 1 ½ por 1/8" y lámina de acero inoxidable calibre 18 y 14.
Caja eléctrica	1	Caja eléctrica o totalizadora para la protección y manejo de la maquinaria.

La planta de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos operará en jornadas de 8 horas, de lunes a viernes, con la maquinaria que la planta de compostaje dispondrá para tal fin; en todo caso, el horario de operación debe estar en función de la jornada de recolección de residuos y la operación de la planta de compostaje.

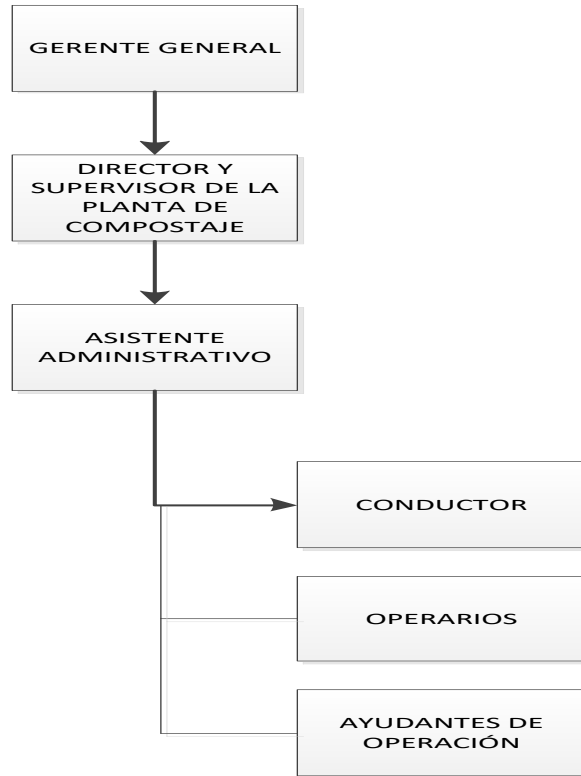
La organización es autónoma en definir los horarios de operación, siempre que garantice el funcionamiento adecuado del sistema. Así mismo, durante la operación diaria de la planta, se deberá mantener en suficiente cantidad en el almacén, los siguientes insumos necesarios para la operación (Ver cuadro 7).

Cuadro 7. Insumos y elementos para la operación de la planta de Compostaje

Microorganismos	Insumos para control de plagas
Plástico de polietileno de alta densidad	Cal para control de olores
Energía y aceites para la maquinaria	Refacciones más usadas en la maquinaria (Bandas, arandelas y tornillos)
Botiquín de primeros auxilios	Motobombas para el manejo de líquidos escurridos

3.5.6 Organigrama administrativo para la operación de la planta de aprovechamiento. Ver figura 35.

Figura 35. Organigrama administrativo



En el cuadro 8 se indica el personal requerido por la asociación para realizar las actividades inherentes a la operación de la planta de aprovechamiento; no obstante, la cantidad de personal podrá variar en función de las necesidades reales de operación. En todo caso el operador garantizará el adecuado funcionamiento del sistema de acuerdo a los mejores estándares de calidad y eficiencia.

Cuadro 8. Relación de personal

Cargo	Cantidad
Gerente General	1
Director	1
Supervisor de la planta	1
Conductor	1
Operarios	3
Ayudantes de operación	2

3.5.7 Herramientas y elementos para la operación de la planta de aprovechamiento.

Se considera necesario contar con paletas de pare y siga, conos de seguridad, palas, bascula, carretillas, barriles plásticos, bomba de aspersion, escoba y recogedor, manguera para lavado, escalera.

Cuadro 9. Instructivo de uso y mantenimiento de elementos de protección personal

INSTRUCTIVO DE USO Y MANTENIMIENTO IDS PLANTA DE COMPOSTAJE LA PATOJITA		
ELEMENTO DE PROTECCION PERSONAL	INSTRUCCIONES DE USO	MANTENIMIENTO
CASCO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los cascos protegen contra objetos que puedan caer. 2. Los cascos llevan dispositivos incorporados para montar orejeras de protección auditiva. 3. Los cascos se utilizan directamente sobre la cabeza. El único dispositivo que se puede utilizar por debajo del casco es la "Monja". 4. En el área de recepción y trituración, se debe utilizar el casco. 5. Se recomienda cambiarlos cada 5 años o cuando se presenten fisuras, decoloración o deformación. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. El casco debe lavarse con agua y jabón suave. Nunca se debe utilizar otros productos como: gasolina, varsol o ACPM. 2. Se debe inspeccionar el casco diariamente en busca de cualquier deterioro. En caso de encontrar fisuras, decoloración o deformación, el casco se debe cambiar. 3. En caso que el tafilete se deteriore, debe solicitar de inmediato su reemplazo.
PROTECCION FACIAL Y VISUAL	<ol style="list-style-type: none"> 1. El protector ocular o pantalla facial protege los ojos y la cara contra partículas de polvo, golpes o rasguños. El protector facial debe estar montado en el casco de seguridad para que pueda ser usado con facilidad. 2. En el area de recepción, clasificación y trituración y compostaje se debe utilizar siempre la protección visual. 3. Los lentes de seguridad deben utilizarse con cordón. 4. Los lentes claros deben utilizarse en el horario de 6:00 p.m. a 6:00 a.m. o cuando las condiciones climáticas así lo 	<ol style="list-style-type: none"> 1. La protección visual y las gafas se deben lavar con agua y jabón suave. 2. Se debe Solicitar cambio de los lentes o de la pantalla facial cuando estos elementos se encuentren deteriorados como son los rayones. 3. Los elementos de protección facial y visual se deben inspeccionar diariamente antes del uso
PROTECCION AUDITIVA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Para prevenir la pérdida de capacidad se usan los protectores auditivos que pueden ser tapones o de copa. 2. Los protectores de copas sólo son eficaces si se colocan bien apretados contra la cabeza. Cualquier separación entre la cabeza y los aros de las orejeras reducirá su eficacia notablemente. 3. Los tapones tienen el riesgo de causar infección cuando no se mantienen limpios o no se desechan cuando corresponda. 4. Los protectores auditivos se deberán usar en el area de trituración, cuando se este procesando. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los tapones auditivos de copa se deben limpiar regularmente, evitando el uso de productos como la gasolina, varsol o ACPM. 2. Los tapones auditivos de inserción tipo silicona o reusables, se deben lavar con agua y jabón suave. 3. Los tapones auditivos de espuma se deben cambiar diariamente, o varias veces al día si presentan suciedad de polvo o grasa
PROTECCION RESPIRATORIA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los tapabocas deberan usarse en el momento de recolección, cargue y descargue así mimos las máscaras respiratorias para material particulado se usaran en el area de recepción y compostaje, además de cuando se ejecuten labores de barrido y mantenimiento de la planta de compostaje. 2. El personal que tenga barba o 24 horas sin afeitarse no debe utilizar ninguno de los tipos de protección respiratoria, ya que la mascara no sellaría correctamente. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nunca deje las máscaras respiratorias en el lugar donde se encuentre el contaminante. 2. Deje siempre las máscaras en bolsas plásticas y almacenadas en un lugar adecuado. 3. Cuando sienta algún tipo de olor del contaminante debe cambiar inmediatamente la máscara respiratoria. 4. Cualquier molestia que sienta debe informarla inmediatamente al supervisor
PROTECCION DE MANOS	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los guantes de nitrilo debe usarse en el area de recepción, trituración y compostaje, así como los guantes anticorte en el area de clasificación. 2. Los guantes de vaqueta se utilizan para actividades de amarre, manipulación de objetos y cargas 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Los guantes se deben inspeccionar antes de cada uso. 2. En caso de encontrar los guantes en mal estado, rotos o sueltos, se debe solicitar cambio inmediatamente. 3. Los guantes se pueden lavar con agua y jabón suave.
PROTECCION DE CUERPO	<ol style="list-style-type: none"> 1. Todo el personal de roll diario debe utilizar el overol suministrado por la empresa. No se permite el uso de overoles suministrados por otras empresas. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. En el lavado de la ropa de trabajo se debe evitar el uso de gasolina o ACPM.
PROTECCION DE LOS PIES	<ol style="list-style-type: none"> 1. Todo el personal que opere en la planta de tener botas con puntera de acero dieléctrica 3. El personal que realiza recolección, cargue y descargue usara bota en caucho caña alta 4. El personal . De aseo usar bota en cauco común para aseo y bota en cuero con puntera para otras labores 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Las botas se deben limpiar exteriormente con productos adecuados para cada tipo botas.
PROTECCION LUMBAR	<ol style="list-style-type: none"> El personal de recolección, cargue, descargue, trituración y compostaje deberán usar faja lumbar. 	<ol style="list-style-type: none"> la faja se puede lavar con agua y javón suave.

Recomendaciones para el conductor:

Tener todos los elementos del kit de carretera.

Verificar el estado del vehículo antes de iniciar la ruta de recolección.

Verificar vigencia del SOAT, tecno mecánica y seguro todo riesgo.

Velocidad máxima permitida en el perímetro urbano de la ciudad de Popayán es de 30 km/h y en carretera máximo 80 km/h, la cual por prevención no se deberá alcanzar.

Se prohíbe llevar pasajeros en el volcó del vehículo y personas particulares ajenas a la operación.

El Conductor para realizar las maniobras en reversa debe tener en cuenta lo siguiente:

Mantener en completa limpieza el espejo retrovisor.

Velar por la sostenibilidad permanente del espejo retrovisor.

Mantener el vidrio de su ventana abierto.

Verificar que la señal auditiva de reversa del vehículo este en excelentes condiciones y funcional.

Apagar el radio de transistores o cualquier otro elemento que genere ruido al interior de la cabina.

Detenerse sí por un instante pierde de vista a los operarios.

Una vez descargados los residuos, desde la cabina el conductor accionará el engrane del vehículo Ampliroll con el fin de colocar la caja de forma horizontal sobre él, posteriormente procede a retirarse de la planta de compostaje.

3.6 PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO

Se coordinó la logística de transporte de los residuos sólidos orgánicos para la plaza de mercado Bolívar y Esmeralda hasta la planta de compostaje (ver figura 36).

Figura 36. Recepción de residuos sólidos orgánicos en la planta de compostaje



Una vez los residuos fueron descargados, cada bolsa con el material orgánico se pesó; ingresaron 3330 kg de residuos sólidos orgánicos de las dos plazas de mercado, 2250 kg de rumen y 642 kg de viruta de madera. Teniendo la masa y los valores de porcentaje de agua, carbono y nitrógeno de los tres materiales, se calculó la relación C:N, dando como resultado 33.55:1 (ver figura 37), en el proceso de recepción se obtuvo un porcentaje de pérdida de 0.64% y en el área de clasificación 0.27%, aprovechando un total de 6165 kg para el compostaje.

Figura 37. Calculadora de la relación C/N inicial

Calculate C/N Ratio For Three Materials

This calculation solves for the carbon to nitrogen ratio of up to three materials. Enter the mass of each material (wet weight), percentage of carbon, percentage of nitrogen, and percentage of moisture, then click on the calculate button. If you have less than three materials be sure to enter zeroes in the fields for the missing materials.

Note - Use whole numbers

Ingredient	% H2O	Weight	% Carbon	% Nitrogen	C/N Ratio
Rumen	45	2250	4	5	
Viruta de madera	8	642	300	0.1	
R.S.O	70	3330	61	1	
				Result:	33.54894111762

Calculate Reset

Según O’Ryan & Riffo (2007), el tamaño de las partículas debe favorecer la actividad de los microorganismos y la tasa de descomposición, siendo un tamaño óptimo de partícula de 2 a 5 cm; en la prueba piloto se obtuvo un tamaño estimado del material de 5 cm. Muñoz y Cotacio (2015) afirman que materiales de tamaño menor pueden causar compactación, menor aireación y por tanto menor actividad microbiana, retardando el proceso.

Se obtuvo una densidad en el área de trituración de 631.58 kg/m³, además de una caracterización del material de las plazas, donde se evidenciaron los residuos más comunes como restos de cosechas y cultivos (tallos, fibras, cutículas, cáscaras, rastrojos, frutas).

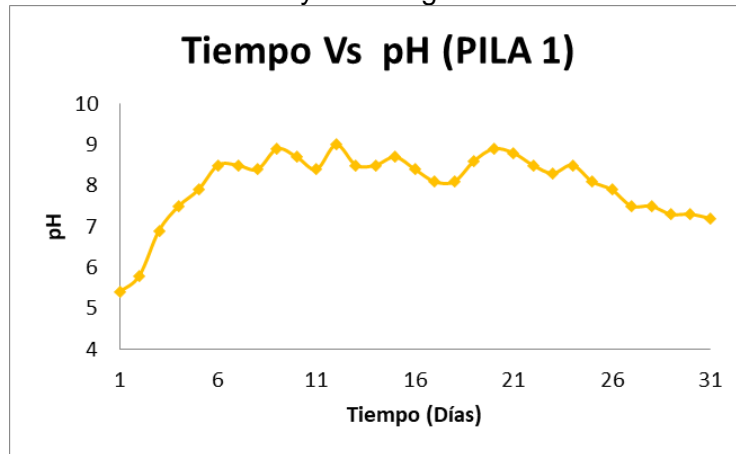
3.6.1 Aireación inducida mediante el Método Beltsville y Rutgers. Se usó una sopladora de 400 CFM y 7000 RPM, el tiempo a airear la pila fue estimado en 11.26 min por día para una pila de 9.8m³.

3.6.2 Control de Variables.

pH: se midió diariamente para los tres tratamientos (figuras 38, 39 y 40; Anexo E).

Se hicieron lecturas a las tres pilas cada 24 horas. Para la pila 1 durante los 31 días de la descomposición, se encontró una estabilización del pH a partir del día 25 como se muestra en la figura 38.

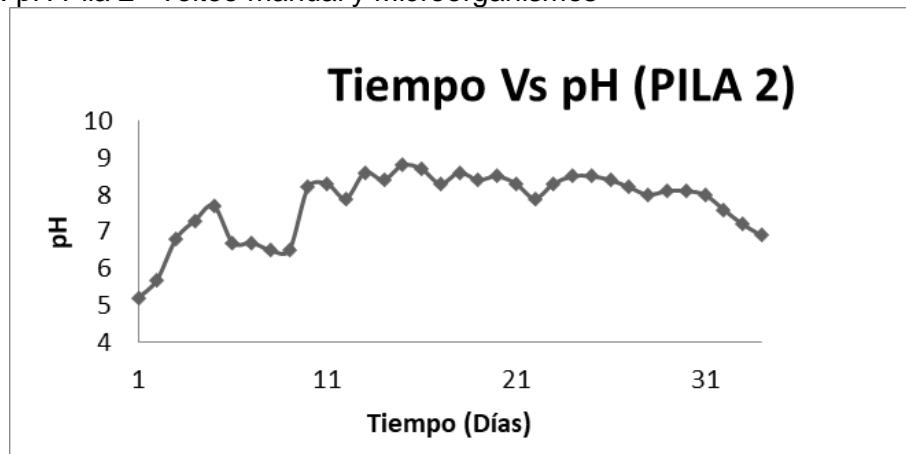
Figura 38. pH Pila 1- aireación forzada y microorganismos



Para las pilas se obtuvo un pH final de 7.2, 6.9 y 7,4 respectivaemnte; los valores están cercanos a la neutralidad y se encuentran dentro de los parámetros óptimos definidos por Román, Martínez y Pantoja (2013), en el que establecen un rango ideal de 4.5-8.5. Villada y Torres (2013) sugieren un valor entre 5.5 y 8.

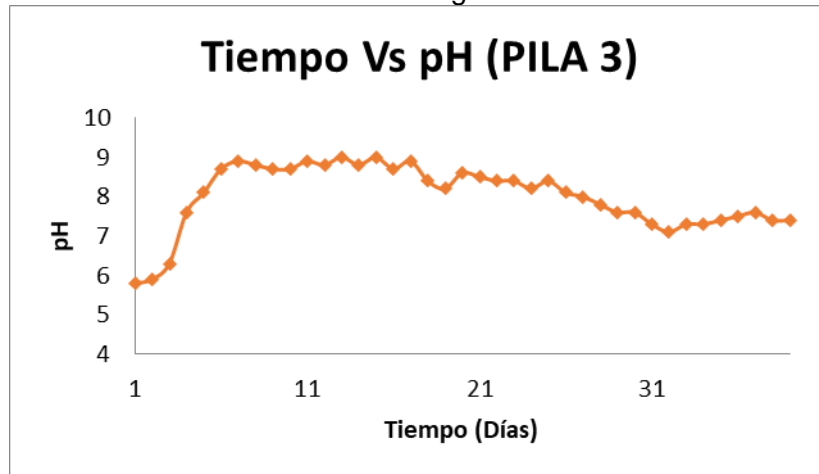
Los valores finales obtenidos según los análisis de laboratorio (Anexo F) para la pila 1, 2 y 3, fue de 7.55, 7.51 y 7.89 respectivamente; según Campos, Brenes y Jiménez (2016) si el pH se mantiene por encima de 7,5 o cercano a este valor, se puede afirmar que hay suficiente descomposición; adicionalmente, los valores de pH cumplen con lo establecido por la NTC 5167 (4 – 9).

Figura 39. pH Pila 2 - volteo manual y Microorganismos



Para la pila 2, la lectura del pH fue cada 24 horas durante los 34 días; se encontró una estabilización a partir del día 28, aunque entre los días 5 y 10 se presentó un descenso. Según Román, Martínez y Pantoja (2013), la descomposición de compuestos solubles como azúcares produce ácidos orgánicos, por tanto el pH puede bajar durante una fase que dura entre 2 y 8 días.

Figura 40. pH Pila 3 - volteo manual sin Microorganismos



Para la pila 3, la fase de estabilización empezó a los 31 días, similar a la pila 1 con sistema de aireación forzada y microorganismos.

En general, los tres tratamientos presentaron un incremento de pH desde el inicio del proceso hasta los días 5, 6 y 7; según Román, Martínez y Pantoja (2013), los microorganismos presentes en el proceso de compostación actúan transformando el nitrógeno en amoníaco, razón por la cual el pH del medio presenta un incremento de 8,7 a 9.

Temperatura: para los tres tratamientos, la temperatura mostró el pico más alto en 67-71°C entre los 11 y 12 días de conformadas las pilas, tiempo suficiente para que bacterias infecciosas y otros microorganismos provenientes del rumen sean eliminadas del compostaje. Según Rodríguez *et al.* (2011), la temperatura óptima de crecimiento para la bacteria *Salmonella* sp es de 5-47°C; cuando la temperatura se eleva hasta los 72°C, pueden bastar solo 15 segundos para su eliminación. Román, Martínez y Pantoja (2013) sugieren una temperatura de eliminación de la *Salmonella* y *Escherichia coli* de 55°C y 65°C con un tiempo de exposición entre 1 y 20 minutos respectivamente; para los tres tratamientos, las temperaturas en la fase termofílica se mantuvieron mayores a 55°C entre 10 y 13 días.

La pila 1 empezó la estabilización de la temperatura a los 22 días, finalizando a 25°C, la pila 2 a los 27 días finalizando con 21°C y la pila 3 a los 26 días finalizando con 26°C.

Figura 41. Temperatura Pila 1 - con aireación forzada y microorganismos

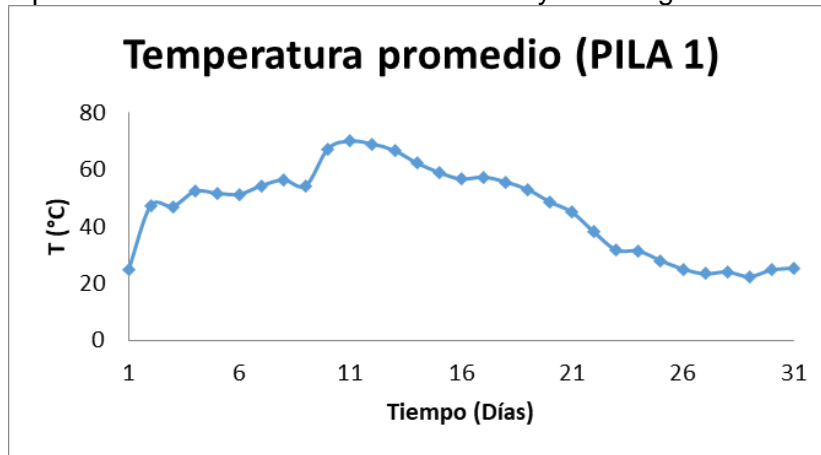


Figura 42. Temperatura Pila 2 - volteo manual y Microorganismos

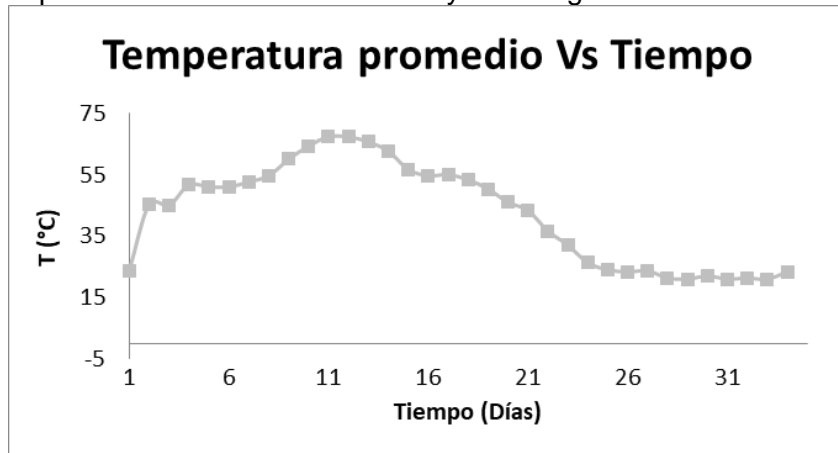
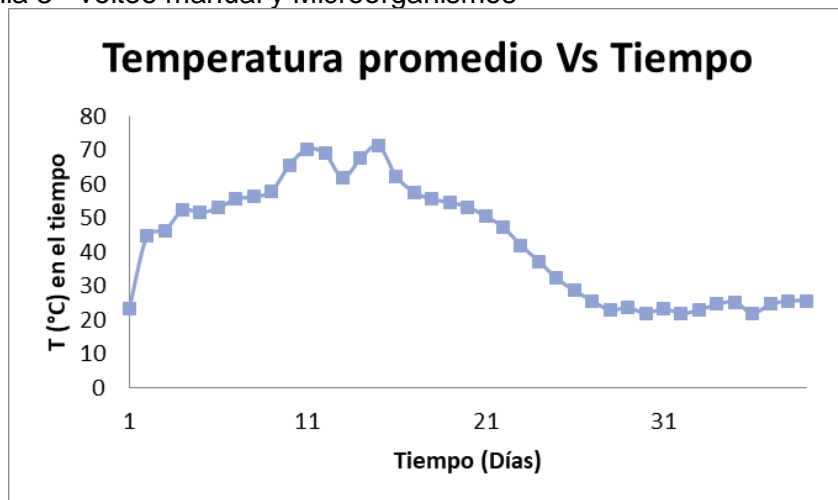


Figura 43. Pila 3 - volteo manual y Microorganismos



3.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS FÍSICOQUÍMICOS

Cuadro 10. Resultados de análisis físico-químicos

DESCRIPCION	UNIDAD	COMPOST 1	COMPOST 2	COMPOST 3	VALORES SUGERIDOS POR LA NTC 5167	COMPOST 1 CUMPLE	COMPOST 2 CUMPLE	COMPOST 3 CUMPLE
p.H	-	7,55	7,51	7,89	(4-9)	X	X	X
DENSIDAD	g/cm ³	0,43	0,43	0,43	Máximo 0,6 g/cm ³	X	X	X
HUMEDAD	%	31,79	22,99	31,17	maximo 35%	X	X	X
CARBONO ORGÁNICO OXIDABLE TOTAL	%	8,39	7,85	6,94	>15%	NC	NC	NC
MATERIA ORGÁNICA	%	19,19	17,96	15,87	>15%	X	X	X
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	ds/m	4,69	12,16	9,53	Reportar	-	-	-
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC)	meq/100g	7,8	18,5	16,5	mínimo 30 cmol(+) Kg (meq/100g)	NC	NC	NC
N	%	5,84	10,23	8,54	>1%	X	X	X
P	%	0,0334	0,0362	0,0259	>1%	NC	NC	NC
K	%	0,75	0,84	0,83	>1%	NC	NC	NC
C/N	-	1,44	0,77	0,81	-	-	-	-
Ca	%	0,27	0,33	0,3	-	-	-	-
Mg	%	0,0747	0,079	0,1	-	-	-	-
S	%	0,11	0,12	0,08	-	-	-	-
Na	%	0,1	0,14	0,032	-	-	-	-
Fe	%	0,000147	0,000168	0,000246	-	-	-	-
Mn	p.p.m	22,9	24,2	22,8	-	-	-	-
Cu	p.p.m	0,4	0,4	0,6	-	-	-	-
Zn	p.p.m	4	4,9	5,2	-	-	-	-
B	p.p.m	21,7	21,4	7,2	-	-	-	-

NC: No Cumple

El mejor resultado para humedad se obtuvo en el tratamiento 2 con 22,99%, cumpliendo con NTC 5167, en la cual establece un porcentaje máximo del 35%. Moriones y Montes (2017) reportan resultados de 20,1% cercanos al tratamiento 2 y en cumplimiento con la normativa.

Los valores obtenidos para la conductividad eléctrica en los tres tratamientos se encuentran entre 4,69 - 12,16 ds/m, siendo más alto el valor para el tratamiento 3; los valores coinciden con los obtenidos por Moriones y Montes (2017), los cuales se encuentran entre 11 y 14,2 ds/m; la conductividad eléctrica en el proceso asciende por la

mineralización de la materia orgánica, la cual aumenta la concentración de los nutrientes (Cardozo y González, 2017).

Los valores para carbono orgánico oxidable estuvieron en un rango de 6,94 y 8,39, similares a los obtenidos en sus tratamientos. Estos resultados se encuentran por debajo del 15%, valor establecido por la NTC 5167. En la investigación realizada por Cardozo y González (2017), se obtuvieron valores menores al 10%, atribuidos a que agregaron restos de poda en menor porcentaje, los cuales presentan mayor contenido de carbono.

El tratamiento 1 tuvo mayor contenido de materia orgánica con un 19,19%, cercanos a los que reportan Moriones y Montes (2017), cuyos valores se encontraron entre 18,98 y 24,6%, en concordancia con lo exigido por la NTC 5167 que recomienda un 15%. En el progreso de compostaje, el contenido de materia orgánica disminuye debido a su mineralización y a la pérdida de carbono en forma de dióxido de carbono (Cardozo y González, 2017).

Para los macronutrientes N, P y K, el mayor contenido de N se encontró en el tratamiento 2, con un valor de 10,23; en cuanto a P y K, los tres tratamientos no superaron el 1%, cumpliendo con la recomendación de la Norma Técnica Colombiana 5167, P con valores entre 0,026 y 0,036%, K en un rango de 0,75 a 0,83%. Castillo, Quarín e Iglesias (2000) reportan en su investigación valores de P y K por debajo del 1% con materias primas provenientes de residuos de cocina. Los contenidos de P y K pueden aumentar durante el proceso de compostaje (Cardozo y González, 2017); los valores encontrados en el presente informe se encuentran dentro de los rangos que establecidos por Román, Martínez y Pantoja (2013), que establecen un contenido de P(0,1-1)% y K(0,3-1)%, asegurando que el contenido en nutrientes del compost tiene una gran variabilidad, ya que depende de los materiales de origen.

La mayor relación de C/N se obtuvo en el tratamiento 1, con un valor de 1,44, la relación es baja, pues Moriones y Montes (2017) obtuvieron en su investigación valores entre 7 y 9; adicionalmente reportan que para otros investigadores una relación C/N por debajo de 20 es un indicador de madurez del compost aceptable. El estudio realizado por Oviedo, Rebellón y Lozada (2014) reporta que el incremento en la frecuencia de volteo disminuyó el contenido de nutrientes (N_{Total} , P_{Total} y K_{Total}) y del carbono orgánico total (COT) y por ende el valor agronómico del producto; no obstante, se favoreció la disminución de sustancias fitotóxicas alcanzando menores valores de conductividad eléctrica, lo cual coincide con los resultados que se obtuvieron en la planta la Patojita para los tres tratamientos.

Los mayores porcentajes para los macronutrientes se obtuvieron en el tratamiento 1, para Ca con un valor de 0,33%, Mg en el tratamiento 3 con un valor de 0,1% y S 0,12% (Azzaz, Hamad y Hassan (2009) obtuvieron valores similares en su estudio de las características fisicoquímicas, para Ca un valor de 0,17% y Mg un valor de 0,69. Los micronutrientes son requeridos en cantidades muy pequeñas, pero generalmente son importantes para el

metabolismo vegetal y animal (Román, Martínez y Pantoja 2013). Los mayores valores obtenidos en el presente estudio para micronutrientes fue Fe 0,000246% en el tratamiento 3; Na 0,14% en el tratamiento 2; Mn 24,2 ppm en el tratamiento 2; Cu 0,6 ppm en el tratamiento 3; Zn 5,2 ppm en el tratamiento 3 y B 21,7 ppm en el tratamiento 1. Moriones y Montes (2017) obtuvieron en su investigación valores altos en comparación a lo obtenido de Fe 0,68%; Mn 778 ppm; Cu 36 ppm; Zn 305, valores de Na 0,12% y B 27 ppm contrastan con lo obtenido.

Finalmente, el abono orgánico fue tamizado en la planta de compostaje, obteniendo un rendimiento del 36%, en el cual se obtuvieron 2200 kg en total como resultado de los 3 tratamientos. El producto es relativamente homogéneo, de color marrón oscuro y olor a tierra, se obtuvieron rendimientos similares del compostaje a partir del tamizaje según los reportados por Muñoz y Cotacio (2015) en su investigación, con un valor de 39%.

4. CONCLUSIONES

La capacitación, selección y concientización en la fuente, permitió un aprovechamiento del 99,1 % del total de residuos provenientes de las plazas Esmeralda y Bolívar.

Con el apoyo de la asociación de recicladores los Goleros ASOGOLEROS y la asociación ambientalista de Popayán ASOCAMPO, se aplicaron procesos técnicos de operatividad, y se mejoró la infraestructura y maquinaria de la planta de compostaje de Popayán.

Según la caracterización fisicoquímica, el tratamiento 2 de la mezcla de residuos de la plaza de mercado, rumen y viruta, haciendo el volteo por semana y la adición de microorganismos específicos, fue el de mejor resultado.

Los resultados del análisis fisicoquímico de producto final, presentan humedad de 22,99%, materia orgánica de 19,19%, nitrógeno 10,23% valores que se encuentran dentro de lo establecido por la NTC 5167; los valores que no están dentro de los parámetros, se atribuyen al tipo de materia prima utilizada en el compostaje.

Aunque los tratamientos analizados no cumplen en su totalidad con lo establecido en la NTC 5167, todas las muestras analizadas son fértiles y aportan significativamente un gran contenido de macro y micronutrientes.

5. RECOMENDACIONES

Para darle continuidad al proceso se pueden establecer convenios a mediano plazo entre la Unidad de asistencia técnica agropecuaria (UMATA) y las asociaciones de recicladores de Popayán, para que los cambios administrativos no afecten el funcionamiento y producción de abono orgánico en la planta.

Continuar con la investigación del sistema de aireación forzada, ya que permite menor desgaste físico, humano y económico en la planta de compostaje.

Analizar continuamente las propiedades fisicoquímicas del producto final, con miras a la certificación ICA del producto y de la planta.

BIBLIOGRAFÍA

ALCALDÍA MUNICIPIO DE POPAYÁN CAUCA. Información al ciudadano. Unidad Municipal De Asistencia Técnica Agropecuaria Umata [en línea]. Sitio Oficial de Popayán: 2016 [citado 16, marzo, 2017]. Disponible en internet en: <http://popayan.gov.co/ciudadanos/informacion-al-ciudadano/preguntas-frecuentes/unidad-municipal-de-asistencia-tecnica-agropecuaria-umata>

AZZAZ, N.A., HAMAD, E.A. y HASSAN, N. El componente químico y las características vegetativas y de rendimiento del hinojo Plantas tratadas con abono orgánico y biofertilizante en lugar de fertilizante mineral'. Revista australiana de ciencias básicas y aplicadas, Egipto: 2009, 9 p.

BADAR, R. y QURESHI, S.A. Utilización de residuos agrícolas compostados como abonos orgánicos para la promoción del crecimiento de las plantas de girasol. En: Journal of Pharmacognosy y Phytochemistry. Pakistán: 2015, 4 p. -ISBN: 2349-8234.

BOLAÑOS, E., VALLEJOS, M. y VELASCO, J. Informe del Estado de los Recursos Naturales y del Medio Ambiente de Popayán Vigencia 2013. Popayán: 2014, 46 p.

CAICEDO, F.I. y CIFUENTES, A. Interventoría y control de calidad de la prestación de servicio público de aseo en el municipio de Popayán. Informe de interventoría: N°14. Popayán: 2016.

CAMPOS, R.; BRENES, L. y JIMÉNEZ, M.F. Evaluación técnica de dos métodos de compostaje para el tratamiento de residuos sólidos biodegradables domiciliarios y su uso en huertas caseras, Tecnología en Marcha, 26 Encuentro de Investigación y Extensión. Costa Rica: 2016, 8 p.

CARDOZO, C.F y GONZÁLEZ, J.J. Propuesta para la producción de abono orgánico mediante el compostaje de los residuos sólidos del municipio el rosal, Cundinamarca. Bogotá D.C: 2017,107 p.

CASTILLO, A.E.; QUARÍN, S.H. e IGLESIAS, M. Caracterización química y física de compost de lombrices elaborados a partir de residuos orgánicos puros y combinados, Agricultura Técnica, Corrientes: 2000, 60 p.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 142 de 1994. Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. El Honorable Congreso de la República. Bogotá D.C.: 11, julio, 1994.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 99 de 1993. Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones. El Honorable Congreso de la República. Bogotá D.C.: 22, diciembre, 1993.

_____. CONTRALORÍA MUNICIPAL DE POPAYÁN. Informe del estado de los recursos naturales y del medio ambiente de Popayán vigencia 2013. Popayán: 2013, 51p.

_____. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Ley 1259 de 2008. Por la cual se instaure en el territorio nacional la aplicación del comparendo ambiental a los infractores de las normas de aseo, limpieza y recolección de escombros; y se dictan otras disposiciones. El Ministerio. Bogotá D.C.: 19, diciembre, 2008.

_____. _____. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Decreto 2981 de 2013. Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo. Diario Oficial 49010 de diciembre 20 de 2013. Bogotá D.C.: 20, diciembre, 2013.

_____. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Por el cual se reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Diario Oficial 44.893. Bogotá D.C.: 7, agosto, 2002.

_____. MINISTERIO DE VIVIENDA CIUDAD Y TERRITORIO. Resolución 276 de 2016. Por la cual se reglamentan los lineamientos del esquema operativo de la actividad de aprovechamiento del servicio público de aseo y del régimen transitorio para la formalización de los recicladores de oficio acorde con lo establecido en el Capítulo 5 del Título 2 de la parte 3 del Decreto número 1077 de 2015 adicionado por el Decreto número 596 del 11 de abril de 2016. Diario Oficial 49.866. Bogotá D.C.: 29, abril, 2016.

_____. _____. Decreto 596 de 2016. Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1077 de 2015 en lo relativo con el esquema de aprovechamiento del servicio público de aseo y el régimen transitorio para la formalización de los recicladores de oficio, y se dictan otras disposiciones. El Ministerio. Bogotá D.C.: 11, abril, 2016.

_____. _____. MINISTERIO DE DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 754 de 2014. Por la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Diario Oficial 49.352. Bogotá D.C.: 25, noviembre, 2014.

COMITÉ DE TECNOLOGÍA Y CALIDAD DE PRODUCTOS DEL INSTITUTO DE FERTILIZANTES. Washington, D.C.: 2003. 62p.

COOPERACIÓN SUIZA EN AMÉRICA CENTRAL. PYME rural, SAG, PRONAGR, ASOPROL. Serie Producción Orgánica de hortalizas de clima templado, Abonos orgánicos. Honduras: s.f., 8 p.

CÓRDOBA, T.M. Eficiencia del Lombricompostaje en la biorremediación de suelos degradados por la minería a cielo abierto en el municipio de Unión panamericana, Departamento del Chocó. Manizales: 2016, 61 p.

EL-HAGE, N. y HATTAM, C. Agricultura Orgánica, ambiente y seguridad alimentaria. Roma: 2003. 253 p. ISBN 9253048190.

EPSTEIN, E. Industrial Composting: Environmental Engineering y Facilities Management. Estados Unidos: Press, CRC, 2011. 338 p. ISBN 9781439845325.

ESTADOS UNIDOS. AGENCIA PARA EL DESARROLLO INTERNACIONAL. Experiencias internacionales en el composteo de residuos sólidos orgánicos. México, D.F.: 2013. 10 p.

GARCÍA, C. y SOLANO, F. Cría de la lombriz de tierra una alternativa ecológica y rentable. Ubaté. 2005, 316p.

GÓMEZ, Jairo. Abonos Orgánicos. Santiago de Cali, Colombia: 2000, 107 p.

ICONTEC INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN ICONTEC. NTC 5167. Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. El Instituto. Bogotá D.C.: 23, marzo, 2011.

INC, T.T.E. Experiencias internacionales en el composteo de residuos sólidos orgánicos. México: 2013, 91 p.

INCAUCA, Producción de compost [En línea]. Cali, Colombia: 1996 [citado noviembre, 2017] Disponible en internet en: http://www.incauca.com/wp-content/uploads/2016/05/PROCESOS_ESPANOL.pdf. 1996.

JARAMILLO, G. y ZAPATA, L. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia Medellín.: 2008, 116 p.

LÓPEZ, J.D. y ESTRADA, A.D. Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz [en línea]. México: 2001 citado 12, mayo, 2017] Disponible en internet ne: [http:// https://chapingo.mx/terra/contenido/19/4/art293-299.pdf](http://https://chapingo.mx/terra/contenido/19/4/art293-299.pdf)

MORIONES, R. y MONTES, R. Aporte de *tithonia diversifolia* en abonos orgánicos: efecto en producción y suelo en Cauca, Colombia, Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 2017, 11 p.

MOUGEOT, L. Agricultura urbana para el desarrollo sostenible. Ottawa, Canadá: 2006, 110 p.

MUÑOZ, M. y COTACIO, E.J. Evaluación de diferentes tiempos de ventilación en compostaje, utilizando un sistema de inyección de aire a presión en la finca la Rejoya de la Universidad del Cauca. Universidad del Cauca. Facultad de ciencias agropecuarias. Departamento de Agropecuaria. Popayán: 2015, 74 p.

OVIEDO, E.R.O.; REBELLÓN, L.F.M. y LOZADA, P.T. Influencia de la frecuencia de volteo para el control de la humedad de los sustratos en el compostaje de biorresiduos de origen municipal. En: Revista internacional de contaminación ambiental, México: 2014, 10 p.

PALMISANO, A.C. y BARLAZ, M.A. Microbiología de Residuos Sólidos. New York. CRC Press, 1996. 240p. ISBN 084-93-8361-7.

QUIÑONEZ, J.C. Propuesta para la creación de una planta de tratamiento de desechos sólidos del cantón Quinde, provincia de Esmeraldas. Facultad de ciencias económicas. Provincia de esmeraldas. 2016, 163 p.

RAMOS, D. y TERRY, E. Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bocashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. En: Cultivos Tropicales, 2014, vol. 35, no. 4, pp. 52-59. ISSN 1819-4087.

RIBEIRO, Silvana María; BÓGUS, Claudia María y WADA, Helena Akemi. Agricultura Urbana Agroecológica en la Perspectiva de la Promoción de la Salud. São Paulo, Brasil: 2014, 15 p.

RODRÍGUEZ, J.A.S.; JIMÉNEZ, S.S.; NAVARRO, R.M. y VILLAREJO, M.L.J. Patógenos emergentes en la línea de sacrificio de porcino. Madrid: 2011, 224 p.

ROMÁN, P.; MARTÍNEZ, M. y PANTOJA, A. Manual de compostaje del agricultor. Santiago de Chile: 2013, 112p. ISBN 978-92-5-307844-8.

RUGGIERI, L., CADENA, E., MARTÍNEZ, B. Recuperación de desechos orgánicos en la industria vitivinícola española. Análisis técnico, económico y ambiental del proceso de compostaje. En: Revista de la producción más limpia. 2009, 10 p.

SOTO, G. y MELÉNDEZ, G. Taller de abonos orgánicos. Sabanilla, Costa Rica: 2003, 20 p.

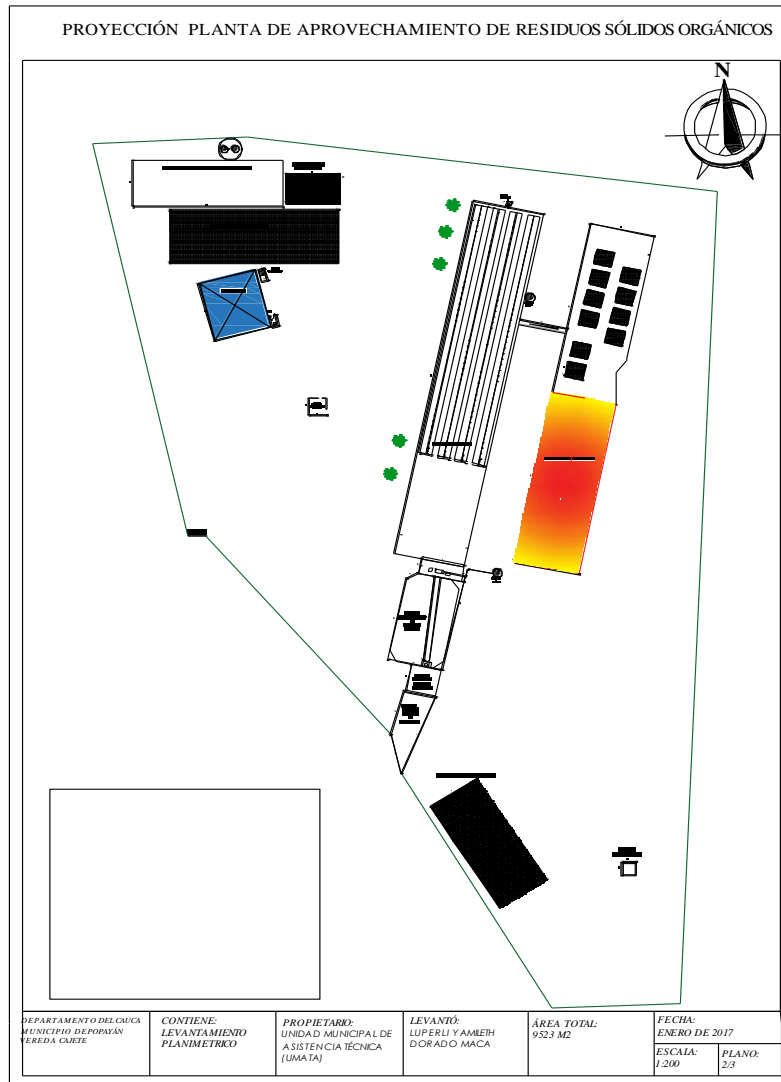
VELÁSQUEZ, C. Proyecto de factibilidad para la implementación de una planta procesadora de abono orgánico tipo Bocashi, parroquia santa Cecilia, cantón lago Agrio, provincia de Sucumbios. Universidad nacional de Loja. Facultad de administración y producción agropecuaria. Loja. 2016, 135 p.

VILLADA, L.A.S. y TORRES, J.A.A. Manual de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos a través de Sistemas de Compostaje y Lombricultura en el Valle de Aburra., Medellín: 2013, 88 p.

YEPES, S.; MONTOYA, L. y Sánchez, F. Valorización de residuos agroindustriales en Medellín y el sur del valle del Aburrá, Colombia. Medellín: 2008. 10 p

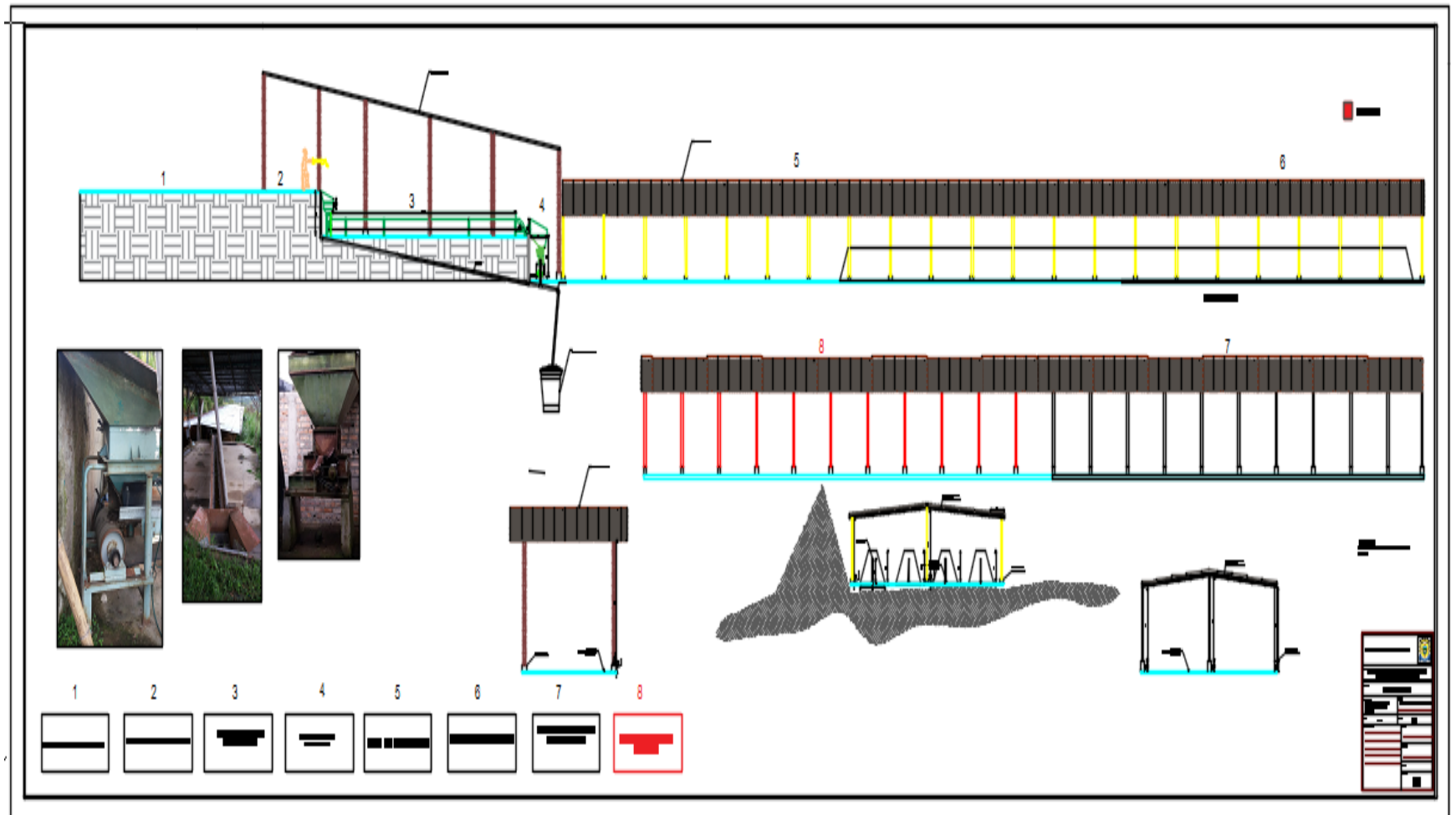
ANEXOS

ANEXO A. Levantamiento Planimétrico planta de compostaje la Patojita



Zona	Area (m2)
Vivero Forestal	
Casa bodega	20,35
Invernadero de germinación	263,20
Invernadero de crecimiento 1	45,24
Invernadero de crecimiento 2	192,90
Empacado de bolsas para plántulas	202,53
Estación Meteorológica No. 2 del Municipio de Popayán	5,52
Planta de compostaje	
Maniobras de vehículos	54,07
Recibo de Residuos Orgánicos	22,82
Clasificación de residuos sólidos	144,10
Trituración de residuos	18,96
Compostaje	459,84
Maduración de compostaje y lombricultura	285,56
Zona de secado y afinado	331,34

ANEXO B. Perfil planta de composaje la Patojita



ANEXO C. Control de Variables

CONTROL DE HUMEDAD, pH Y TEMPERATURA					
Fecha de inicio (DD/MM/AA)		Pila # ____			
Fecha de maduración (DD/MM/AA)					
Día	Humedad %	pH	T1	T2	T3
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
31					
32					
33					
34					
35					
36					
37					
38					
39					
40					

ANEXO D. Control de Inicio y Finalización del Proceso de Compostaje

CONTROL DE INICIO Y FINALIZACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE											PAGINA 1 de _		
CONVENIO													
PILA	Entrada de material	TIPO DE MATERIAL (Kg)							inoculación de microorganismos		Salida de maduración		
	FECHA (DD/MM/AA)	R.S.O (plaza de mercado)	Rumen	Viruta de madera	Otros	Kg Totales	ρ_i	C:N _i	Cantidad en l	Volteo y/o aireación	FECHA (DD/MM/AA)	Kg egresados	ρ
1													
2													
3													
4													
5													
6													
7													
8													
9													
10													
Responsable:													
Verificador:													

ANEXO E. Control de pH y Temperatura en el proceso de compostaje

Pila 1 (Aireación forzada y microorganismos)	Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31								
	p.H	5,4	5,8	6,9	7,5	7,9	8,5	8,5	8,4	8,9	8,7	8,4	9	8,5	8,5	8,7	8,4	8,1	8,1	8,6	8,9	8,8	8,5	8,3	8,5	8,1	7,9	7,5	7,5	7,3	7,3	7,2								
	T1	23	45	46	49	51	50	52	54	55	64	65	67	66	60	58	56	56	54	53	47	45	37	33	31	27	24	24	23	22	23	24								
	T2	25	48	47	55	50	51	55	58	52	70	73	69	65	62	59	55	59	57	54	48	46	40	30	30	28	25	23	25	23	25	26								
	T3	26	49	48	53	54	53	56	57	56	68	72	71	69	65	60	59	57	56	52	51	44	37	32	33	29	26	23	24	22	26	26								
	Temperatura promedio	25	47	47	52	52	51	54	56	54	67	70	69	67	62	59	57	57	56	53	49	45	38	32	31	28	25	23	24	22	25	25								
Pila 2 (Volteo manual y Microorganismos)	Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34					
	p.H	5,2	5,7	6,8	7,3	7,7	6,7	6,7	6,5	6,5	8,2	8,3	7,9	8,6	8,4	8,8	8,7	8,3	8,6	8,4	8,5	8,3	7,9	8,3	8,5	8,5	8,4	8,2	8	8,1	8,1	8	7,6	7,2	6,9					
	T1	22	43	44	50	49	52	51	53	55	61	66	65	64	63	55	53	54	51	50	45	42	36	30	26	23	23	23	21	20	22	22	23	21	23					
	T2	24	46	45	53	51	50	53	55	54	67	68	67	66	61	57	54	56	54	50	47	45	37	34	28	25	24	24	23	22	23	21	20	22	24					
	T3	25	47	46	52	53	51	54	56	53	65	68	70	67	64	58	57	55	55	51	46	43	37	32	25	24	23	24	20	21	21	20	21	20	23					
	Temperatura promedio	24	45	45	52	51	51	53	55	60	64	67	67	66	63	57	55	55	53	50	46	43	37	32	26	24	23	24	21	21	22	21	21	21	23					
Pila 3 (Volteo manual, sin microorganismos)	Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	p.H	5,8	5,9	6,3	7,6	8,1	8,7	8,9	8,8	8,7	8,7	8,9	8,8	9	8,8	9	8,7	8,9	8,4	8,2	8,6	8,5	8,4	8,4	8,2	8,4	8,1	8	7,8	7,6	7,6	7,3	7,1	7,3	7,3	7,4	7,5	7,6	7,4	7,4
	T1	23	45	47	55	50	53	53	58	59	64	69	68	60	69	70	62	59	57	56	53	50	46	43	37	30	30	26	24	25	22	23	23	24	26	26	23	25	26	26
	T2	24	42	46	49	51	52	56	54	57	66	72	67	65	68	73	64	56	54	53	53	51	47	42	36	34	28	24	23	22	23	23	22	23	25	26	21	23	24	24
	T3	23	47	46	53	54	54	58	57	58	67	70	72	61	66	71	61	58	56	55	54	51	49	41	39	33	28	27	22	24	21	24	21	22	23	24	22	26	27	27
	Temperatura promedio	23	45	46	52	52	53	56	56	58	66	70	69	62	68	71	62	58	56	55	53	51	47	42	37	32	29	26	23	24	22	23	22	23	25	25	22	25	26	26

ANEXO F. Resultado Análisis de laboratorio

Resultados de la solicitud de análisis S2017-192



Laboratorio de servicios analíticos

INFORME DE ENSAYOS

Solicitante: Forrajes Tropicales - Michael Peters

Fecha de muestreo: 11/27/2017

Observaciones: Compost. Jhon Freddy Gutierrez Ext. 3250.

Muestras traídas a LSA por Gustavo Ospinal

Número serial: S2017-192

Fecha recepción de muestras: 11/29/2017

Numero de muestras: 3

Procedencia: Popayán - Cauca

Entrega de resultados: 12/12/2017

Tipo de análisis: Suelo

TABLA DE RESULTADOS

#	Descripcion	pH (Un)	P-Brayll (mg/kg)	C Oxid (g/kg)	MO (g/kg)	Ca (cmol/k g)	Mg (cmol/k g)	K (cmol/k g)	Al (cmol/k g)	Na (cmol/k g)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	B (mg/kg)	S (mg/kg)
1	Compost 1	7.55	334	83.9	192	13.8	6.14	19.2	< LCM	4.34	1.47	22.9	0.384	4.02	21.7	1167
2	Compost 2	7.51	363	78.5	180	16.7	6.46	21.5	< LCM	5.94	1.68	24.2	0.421	4.88	21.4	1207
3	Compost 3	7.89	260	69.4	159	14.9	8.53	21.3	< LCM	1.40	2.46	22.8	0.626	5.16	7.18	800

Notas:

1. Los resultados presentes en este informe, se refieren únicamente a las muestras ensayadas.
2. Este informe no debe ser alterado ni total ni parcialmente.
3. El laboratorio de servicios analíticos, no efectúa ningún tipo de muestreo de campo ya que el usuario es quien suministra las muestras.
4. Los valores iguales a cero corresponden a resultados que se encuentran por debajo de los límites de cuantificación del método.
5. LCM: Límite de Cuantificación del Método.

Autoriza:

Gonzalo Antonio Borrero Tamayo
Coordinador Laboratorio Servicios Analíticos

ANEXO G. Resultados fisicoquímicos de laboratorio Tratamiento 1

Jueves 25 de Enero del 2018

CERTIFICADO DE ANALISIS

VERSION No. 06

No. C.T. 0000274
 Cliente: 900752602-5 Asociación de Recicladores Los Galeros
 Dirección: Planta de Aprovechamiento la Patojita (Popayán-Cau)
 Ordenador: LUPERLI YANILETH DORADO MACHA
 Teléfonos: 3207233129
 E-mail: lupardonado@unibcauca.edu.co



Página 1 de 1

Lugar Muestra:	MUESTRA # 1			
Muestra:	OTROS			
Datos de la Muestra:	COMPOST			
Muestreador:	CLIENTE			
Empaque:	PLÁSTICO			
Fecha Recepción:	Viernes 5 de Enero del 2018			
Fecha Ensayo desde:	Viernes 5 de Enero del 2018	Hasta:	Martes 30 de Enero del 2018	
Norma	OTROS	Para Muestra Codificada	OTROS	
Análisis	Método	Resultado	Expresado En	Valor Máximo
NITROGENO	ASTM D 5373-08	5.84	%	
CONDUCTIVIDAD	SM25108	4890	µs/cm	
HUMEDAD	HTC 5167	31,79	%	
CIC (CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICA SODIO)	ACETATO DE SODIO	7.8	meq Na/100g	
SODIO	SM31118	222.18	mg/kg	

(*) Análisis Subcontratado (Δ) Análisis Acreditado

Personal que intervino en la realización de los análisis:
 Analista Stephanie Mosquera
 Para conductividad se preparó una solución al 40% p/v

LOS ANTERIORES RESULTADOS SON VALIDOS UNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA.
 Este Informe no puede reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito de ANALISIS AMBIENTAL.

DIEGO FERNANDO FRANCO M.
 QUIMICO-MT-PC 1960
 DIRECTOR TÉCNICO LABORATORIO

ANEXO H. Resultados fisicoquímicos de laboratorio Tratamiento 2

Jueves 25 de Enero del 2018

CERTIFICADO DE ANALISIS

VERSIÓN No. 06

No. O.T. 0000275

Cliente: 900752802-5 Asociación de Rededores Los Galeros

Dirección: Planta de Aprovechamiento la Patojita (Popayán-Cau)

Ordenador: LUPERLI YANILETH DORADO MACA

Teléfonos: 3207233129

E-mail: luptadorado@unicauca.edu.co



Página 1 de 1

Lugar Muestreo:	MUESTRA # 2				
Muestra:	OTROS				
Datos de la Muestra:	COMPOST				
Muestrador:	CLIENTE				
Empaque:	PLÁSTICO				
Fecha Recepción:	Viernes 5 de Enero del 2018		Hasta: Martes 30 de Enero del 2018		
Fecha Ensayo desde:	Viernes 5 de Enero del 2018				
Norma	OTROS	Para Muestra Codificada	OTROS		
	Análisis	Método	Resultado	Expresado En	Valor Máximo
	NITRÓGENO	ASTM D 5373-08	18.23	%	
	CONDUCTIVIDAD	SM2510B	12160	U _s /cm	
	HUMEDAD	NTC 5167	22,99	%	
	CIC (CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICA SODIO)	ACETATO DE SODIO	18.5	mEq Na/100g	
	SODIO	SM311B	1103.60	mg/Kg	

(*) Análisis Subcontratado (Δ) Análisis Acreditado

Personal que intervino en la realización de los análisis:
 Analista Stephanie Mosquera
 Para conductividad se preparó una solución al 40% p/v

LOS ANTERIORES RESULTADOS SON VALIDOS UNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA.
 Este Informe no puede reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito de ANALISIS AMBIENTAL.



DIEGO FERNANDO FRANCO M.
 QUIMICO MT-PO 1960
 DIRECTOR TÉCNICO LABORATORIO

T

ANEXO I. Resultados fisicoquímicos de laboratorio Tratamiento 3

Jueves 25 de Enero del 2018

CERTIFICADO DE ANALISIS VERSION No. 08



No. O.T.: 0000276
 Cliente: 900752602-5 Asociación de Recicladores Los Galeros
 Dirección: Planta de Aprovechamiento la Patojita (Popeyán-Cau)
 Ordenador: LUPERLI YAPILETH DORADO MACA
 Teléfonos: 3207233129
 E-mail: lupitadonado@unicauca.edu.co

Página 1 de 1

Lugar Muestreo:	MUESTRA # 3				
Muestra:	OTROS				
Datos de la Muestra:	COMPOST				
Muestreador:	CLIENTE				
Empaque:	PLÁSTICO				
Fecha Recepción:	Viernes 5 de Enero del 2018		Hasta: Martes 30 de Enero del 2018		
Fecha Ensayo desde:	Viernes 5 de Enero del 2018				
Norma	OTROS	Para Muestra Codificada	OTROS		
Análisis	Método	Resultado	Expresado En	Valor Máximo	
NITRÓGENO	ASTM D 5373-08	8.54	%		
CONDUCTIVIDAD	SH25186	9530	µs/cm		
HUMEDAD	NTC 5167	31,17	%		
CIC (CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICA SODIO)	ACETATO DE SODIO	16.5	mEq Na/100g		
SODIO	SH3118	903.49	mg/Kg		

(*) Análisis Subcontratado (Δ) Análisis Acreditado

Personal que intervino en la realización de los análisis:
 Analista Stephanie Mosquera
 Para conductividad se preparó una solución al 40% p/v

LOS ANTERIORES RESULTADOS SON VALIDOS UNICAMENTE PARA LA MUESTRA ANALIZADA.
 Este Informe no puede reproducirse parcialmente sin la aprobación por escrito de ANALISIS AMBIENTAL.



DIEGO FERNANDO FRANCO M.
 QUÍMICO MT-PC 1960
 DIRECTOR TÉCNICO LABORATORIO