

PROPUESTA PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO MEDIANTE EL
COMPOSTAJE DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO EL
ROSAL, CUNDINAMARCA

CRISTHIAN FELIPE NINCO CARDOZO
JENNIFER JOHANNA SÁNCHEZ GONZÁLEZ

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2017

PROPUESTA PARA LA PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO MEDIANTE EL
COMPOSTAJE DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO EL ROSAL,
CUNDINAMARCA

CRISTHIAN FELIPE NINCO CARDOZO
JENNIFER JOHANNA SÁNCHEZ GONZÁLEZ

Proyecto integral de grado para optar el título de
INGENIERO QUÍMICO

Director
Ing. DARWIN CHAPARRO
Ingeniero Civil

Codirector
Ing. MARTHA LUCÍA MALAGÓN MICÁN
Ingeniera Química

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2017

Nota de aceptación:

Ingeniera Elizabeth Torres
presidente del jurado

Ingeniera Diana Cuesta, jurado

Ingeniera Martha Malagón, jurado

Bogotá D.C., 13 de marzo de 2017

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académico y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García-Peña

Decano general Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director Programa de Ingeniería Química

Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y los docentes no son responsables por las ideas y conceptos emitidos en el presente documento. Estos corresponden únicamente al autor.

A Dios por darme la sabiduría y ser el guía en mi proyecto durante esta carrera. A mis padres Alirio Ninco y Lucelida Cardozo por sus consejos, educación, compañía, confianza y ayuda en el desarrollo de este proyecto; a mis hermanos por acompañarme en la realización de este logro.

A Dios por ser mi guía espiritual, a mi madre Nohora por todo lo que soy, a mi padre, hermanos y abuela, que me apoyan y me acompañan incondicionalmente, a mi hija Victoria por ser fuerte y ser mi luz en todo momento, a mi compañero de vida, David que ha sido el bastón de apoyo y el mejor cómplice, finalmente, a mi compañero de trabajo de grado y todos mis amigos de carrera que de una u otra forma fueron ayudantes, consejeros y el mejor equipo.

AGRADECIMIENTOS

En la elaboración del presente trabajo de grado, agradecemos a:

Dios por guiarnos en la realización de este proyecto.

La Universidad América por permitirnos estudiar en sus instalaciones y a sus docentes por compartir sus conocimientos contribuyendo en el proceso intelectual y moral durante nuestra formación como ingenieros químicos.

La ingeniera, Martha Lucia Malagón, codirectora del trabajo, por darnos sus conocimientos, experiencia y colaboración en el tema.

El ingeniero Darwin Chaparro, director del trabajo y gerente de la empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo El Rosal S.A. E.SP. por permitir desarrollar el proyecto con la empresa de aseo del municipio El Rosal.

A las demás personas que hicieron parte en la realización del proyecto.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	22
OBJETIVOS	23
1. GENERALIDADES	24
1.1 RESIDUOS	24
1.1.1 Clasificación de los residuos sólidos.	24
1.1.1.1 Según su origen	24
1.1.1.2 Según su composición	25
1.1.1.3 Según su impacto al medio ambiente	26
1.1.2 Composición de los residuos sólidos	26
1.1.3 Composición de los residuos sólidos urbanos	27
1.1.4 Propiedades físicas y químicas de los RSU	28
1.1.4.1 Peso específico	28
1.1.4.2 Contenido de humedad	29
1.1.4.3 Tamaño de partícula y distribución del tamaño	31
1.1.4.4 Capacidad de campo	31
1.1.4.5 Análisis elemental de los componentes de residuos sólidos	31
1.1.4.6 Nutrientes esenciales	31
1.2 COMPOSTAJE	31
1.2.1 El proceso de compostaje	31
1.2.1.1 Mesófila I	32
1.2.1.2 Termófila	32
1.2.1.3 Mesófila II	32
1.2.1.4 Maduración	32
1.2.2 Microbiología del proceso de compostaje	32
1.2.3 Parámetros que afectan el diseño y funcionamiento del proceso del compostaje	33
1.2.3.1 Tamaño de partícula	33
1.2.3.2 Relación Carbono/ Nitrógeno	33
1.2.3.3 Nutrientes	34
1.2.3.4 Materia Orgánica	34
1.2.3.5 Conductividad eléctrica	34
1.2.3.6 Temperatura	35
1.2.3.7 Humedad	35
1.2.3.8 pH	35
1.2.3.9 Mezcla/Volteo	35
1.3 MICROORGANISMOS EFICIENTES (EM)	36
1.3.1 Bacterias ácido lácticas	36
1.3.2 Levaduras	36

1.3.3 Composición del EM	37
2. DIAGNÓSTICO	38
2.1 INFORMACIÓN GENERAL DEL MUNICIPIO	38
2.2 GENERACIÓN DE RESIDUOS EN EL MUNICIPIO	39
2.3 DESARROLLO DEL DIAGNÓSTICO	41
2.3.1 Técnica de muestreo	41
2.3.2 Socialización	42
2.3.3 Recolección de los residuos	43
2.3.4 Disposición de los residuos y toma de la muestra	43
2.3.5 Caracterización fisicoquímica de la muestra	44
2.3.6 Análisis de resultados del diagnóstico	45
3. DESARROLLO EXPERIMENTAL	47
3.1 ADECUACIÓN DEL TERRENO	47
3.2 RECOLECCIÓN DE LOS RESIDUOS	48
3.3 FORMACIÓN DE LAS PILAS	48
3.3.1 Balance de materia	49
3.3.2 Adecuación de las pilas de compostaje	54
3.4 SEGUIMIENTO Y CONTROL DE LOS PARÁMETROS DEL COMPOSTAJE	56
3.4.1 Toma de muestras	56
3.4.2 Control de humedad	57
3.4.3 Control de pH	58
3.4.4 Control de temperatura	58
3.4.5 Volteos	59
3.5 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DEL COMPOSTAJE	60
3.5.1 Temperatura interna de la pila	60
3.5.2 Humedad	63
3.5.3 pH	65
3.5.4 Rendimiento abono/materia prima	67
3.5.5 Análisis de los resultados del producto final	68
4. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS	71
4.1 RECOLECCIÓN EN LA FUENTE	71
4.2 DIMENSIÓN DE LA PLANTA	71
4.3 RECEPCIÓN Y SEPARACIÓN DE LOS RESIDUOS	73
4.4 FORMACIÓN Y ADECUACIÓN DE LAS PILAS	75
4.5 CONTROL DEL PROCESO	76
4.6 ADECUACIÓN Y EMPAQUE DEL ABONO OBTENIDO	78
5. EVALUACIÓN FINANCIERA	80
5.1 INVERSIÓN	80
5.1.1 Costos de adecuación del terreno	80
5.1.2 Inversión en equipos	80
5.1.3 Capital de trabajo.	81

5.2 EGRESOS	81
5.2.1 Insumos.	81
5.2.2 Mano de obra.	82
5.2.3 Depreciación.	83
5.2.4 Costos de servicios industriales	83
5.2.5 Costos de mantenimiento de equipos	84
5.2.6 Costos de producto	84
5.3 INGRESOS	85
5.4 FLUJO DE CAJA NETO	85
5.5 INDICADORES	85
5.5.1 Valor presente neto (VPN).	86
5.5.2 Tasa interna de retorno (TIR)	86
6. CONCLUSIONES	88
7. RECOMENDACIONES	89
BIBLIOGRAFÍA	90
ANEXOS	93

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Componentes y tipos de residuos sólidos urbanos.	27
Tabla 2. Distribución de los componentes en los residuos sólidos urbanos.	28
Tabla 3. Datos típicos sobre peso específico para residuos domésticos, comerciales, industriales y agrícolas.	29
Tabla 4. Datos típicos sobre la humedad para residuos domésticos, comerciales, industriales y agrícolas.	30
Tabla 5. Contenido de nitrógeno y relaciones C/N de materias compostables (base seca).	33
Tabla 6. Barrios del municipio de El Rosal.	39
Tabla 7. Generación de residuos del municipio El Rosal.	40
Tabla 8. Dimensiones de las pilas en el diagnóstico.	44
Tabla 9. Caracterización fisicoquímica de la muestra.	45
Tabla 10. Distribución de las pilas de compostaje.	49
Tabla 11. Balance de materia para el tratamiento 1.	54
Tabla 12. Balance de materia para el tratamiento 2.	54
Tabla 13. Distribución de la cal en las pilas	55
Tabla 14. Dimensiones de las pilas de compostaje.	55
Tabla 15. Días de volteos.	60
Tabla 16. Temperaturas requeridas para la eliminación de algunos patógenos	63
Tabla 17. Rendimiento abono/materia prima de los tratamientos.	67
Tabla 18. Comparación de los parámetros fisicoquímicos.	68
Tabla 19. Medidas de la planta de compostaje.	73
Tabla 20. Adecuación del terreno.	80
Tabla 21. Equipos y maquinaria necesaria.	81
Tabla 22. Costo de aditivos para el año 2016.	81
Tabla 23. Proyección de insumos.	82
Tabla 24. Costos mano de obra primer año.	82
Tabla 25. Costos mano de obra segundo año.	82
Tabla 26. Costos mano de obra tercer año.	83
Tabla 27. Costos mano de obra cuarto año.	83
Tabla 28. Costos mano de obra quinto año.	83
Tabla 29. Depreciación de equipos y terreno.	83
Tabla 30. Costos de servicios industriales.	84
Tabla 31. Costos de mantenimiento.	84
Tabla 32. Costos del producto.	84
Tabla 33. Ingresos de la planta.	85
Tabla 34. Flujo de caja.	87

LISTA DE GRÁFICAS

	pág.
Gráfico 1. Porcentaje de generación de los diferentes tipos de residuos	40
Gráfico 2. Comportamiento de la temperatura en el tratamiento 1	61
Gráfico 3. Comportamiento de la temperatura en el tratamiento 2	62
Gráfico 4. Comportamiento de la humedad en el tratamiento 1	64
Gráfico 5. Comportamiento de la humedad en el tratamiento 2	65
Gráfico 6. Comportamiento del pH en el tratamiento 1	66
Gráfico 7. Comportamiento del pH en el tratamiento 2	66

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de El Rosal	38
Figura 2. Diagrama de flujo generalizado sobre el desarrollo del diagnóstico	41
Figura 3. Muestreo conglomerado geográfico aleatorio del municipio El Rosal	42
Figura 4. Técnica de muestreo.	44
Figura 5. Montaje del área del proceso	56
Figura 6. Colector de residuos	68
Figura 7. Montaje de la planta de compostaje	73
Figura 8. Zaranda vibratoria.	78

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Tipos de clasificación de los residuos sólidos.	24
Cuadro 2. Composición del inóculo EM.	37
Cuadro 3. Conformación de los tratamientos.	49

LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Disposición de los residuos sólidos.	43
Imagen 2. Estado final del terreno.	47
Imagen 3. Medición de la humedad	58
Imagen 4. Medición del pH	58
Imagen 5. Medición de la temperatura	59
Imagen 6. Producto final	67
Imagen 7. Banda transportadora	74
Imagen 8. Trituradora TDV24AR de Penagos & Cia. S.A.S.	75
Imagen 9. Balanza	75
Imagen 10. Mini cargador	76
Imagen 11. pHmetro	77
Imagen 12. Higrómetro	77
Imagen 13. Termocupla	78
Imagen 14. Sacos de polipropileno y cosedora	79

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Balance en estado estacionario.	49
Ecuación 2. Balance general relación C/N de la pila de compostaje.	50
Ecuación 3. Balance masa total de la pila de compostaje.	50
Ecuación 4. Balance relación C/N de la pila de compostaje.	50
Ecuación 5. Balance masa del aditivo general de la pila de compostaje.	50
Ecuación 6. Balance masa del tratamiento 1 ensayo 1.	50
Ecuación 7. Balance masa del tratamiento 2 ensayo 1.	51
Ecuación 8. Balance masa del tratamiento 1 ensayo 2.	51
Ecuación 9. Balance masa del tratamiento 2 ensayo 2.	52
Ecuación 10. Balance masa del tratamiento 1 ensayo 3.	53
Ecuación 11. Balance masa del tratamiento 2 ensayo 3.	53
Ecuación 12. Densidad de los residuos.	55
Ecuación 13. Volumen de la pila	55
Ecuación 14. Longitud de la unidad de compostaje	72
Ecuación 15. Área de espacios	72
Ecuación 16. Área de almacenamiento	72
Ecuación 17. Área de total	73
Ecuación 18. VPN	86
Ecuación 19. TIR	86
Ecuación 20. Margen de rentabilidad	86

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Volante y folleto utilizados en la socialización	93
Anexo B. Resultados de la caracterización fisicoquímica de los residuos sólidos orgánicos	94
Anexo C. Datos registrados	95
Anexo D. Resultados fisicoquímicos de los abonos obtenidos	97
Anexo E. Formato de control del proceso de compostaje	99
Anexo F. Cotizaciones de los equipos	100

GLOSARIO

BIODEGRADACIÓN: es aquel proceso de descomposición molecular y natural de una sustancia o compuesto orgánico realizado por bacterias, hongos, protozoos y otros organismos. La degradación se puede llevar a cabo por vía aeróbica (presencia de oxígeno) o por vía anaeróbica (ausencia de oxígeno).

COMPOST: es aquel material orgánico obtenido de la descomposición de restos vegetales y animales, el cual brinda al suelo, nutrientes que contribuyen a las funciones biológicas.

COMPOSTAJE: es el proceso de descomposición biológica en el que se transforman la materia orgánica degradable en un producto (compost) maduro, estables y rico en nutrientes para el suelo.

DIAGNÓSTICO DE RESIDUOS: el o los resultados obtenidos después de un análisis o estudio de los residuos y tiene como finalidad reflejar el estado en el que se encuentre los residuos para proceder a un tratamiento determinado.

HUMIFICACIÓN: es un conjunto de procesos químicos, físicos y microbiológicos que transforman la materia orgánica en humus.

HUMUS: es la capa superior del suelo de un terreno compuesto por materias orgánicas (animales y vegetales) en descomposición. Se caracteriza por tener un color oscuro debido al gran contenido de carbono.

MUESTREO ALEATORIO POR CONGLOMERADOS: se divide la población en varios grupos de características parecidas entre ellos y luego se analizan completamente algunos de los grupos, descartando los demás. Requiere una muestra más grande, pero suele simplificar la recogida de muestras. Frecuentemente los conglomerados se aplican a zonas geográficas.

PILA DE COMPOSTAJE: es el conjunto de residuos sólidos orgánicos dispuestas unos sobre otros a modo de pilar o columna.

TÉCNICA DE VOLTEO: consiste en voltear las pilas del compostaje de manera manual o mecánica en forma regular para que la aireación sea adecuada.

RESUMEN

El aumento progresivo de los residuos sólidos ha generado una preocupación en la disposición de estos lo que conlleva a la aplicación de tecnologías totalmente amigables con el medio ambiente aprovechando la disponibilidad de esta materia prima y a la vez contribuya en la generación de un producto de interés siendo una de ellas el compostaje. A partir de esta problemática surge este proyecto con el fin de realizar una propuesta para la producción de abono orgánico mediante el compostaje de residuos sólidos orgánicos del municipio El Rosal, Cundinamarca. Como primera medida, se realiza un diagnóstico de los residuos sólidos, teniendo en cuenta la información disponible en el Plan de Gestión de Residuos Sólidos (PGIRS), en el cual consta de los siguientes pasos: el tipo de muestreo, socialización con las viviendas participantes, recolección de los residuos, disposición de los residuos, toma de la muestra y caracterización de la muestra; con la finalidad de ajustar los parámetros iniciales para dar inicio el proceso de compostaje.

Después se realiza un desarrollo experimental que consiste en una serie etapas; en primer lugar se inicia con la adecuación del terreno en donde se desarrolla el proceso teniendo en cuenta la cantidad recolectada en el diagnóstico, en segundo lugar se procede con la recolección de los residuos durante 3 semanas generando una cantidad total de 886 kg de residuos sólidos, luego se conforman las pilas donde se distribuye la cantidad recolectada en dos tratamientos de la siguiente forma: tratamiento 1 (residuos+aserrín+EM) y tratamiento 2 (residuos+restos de poda+EM); de modo que cada semana de recolección es un ensayo para cada tratamiento dando un total de 3 ensayos con el propósito de demostrar la influencia de la relación C/N en el proceso del compostaje y en el producto final. En último lugar se desarrolla la medición y control de los parámetros que influyen en el proceso tales como la temperatura interna de la pila, pH, humedad, temperatura ambiente y volteos; el proceso se da por terminado en 52 días al comprobar que las pilas llegan a la temperatura ambiente.

Una vez obtenido el producto, se toman muestras de los terceros ensayos de los tratamientos por lo que presentan un mejor comportamiento en cuanto a los parámetros mencionados anteriormente, con el fin de analizar la evaluar la calidad del abono obtenido con respecto con la norma técnica Colombia NTC 5167; dando como resultado que el abono está por debajo de los requisitos exigidos por ésta; por las difíciles condiciones climáticas y el terreno que no fue el adecuado debido a que falto acondicionamiento de la infraestructura para cubrir lluvias, obteniendo un abono con exceso de humedad, abriendo la posibilidad de agregar otra operación unitaria al final del proceso como secado en caso de tener una infraestructura deficiente.

Por último, se elabora la evaluación financiera del proyecto utilizando indicadores económicos como el valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR) teniendo en cuenta los costos de inversión, directos e indirectos, con el objetivo de determinar la viabilidad y rentabilidad del proyecto para el municipio El Rosal.

Palabras clave: compostaje, abono orgánico, residuos sólidos orgánicos, pila, El Rosal, microorganismos eficientes (EM).

INTRODUCCIÓN

En el municipio de El Rosal, Cundinamarca; actualmente cerca de 4.659 viviendas según el DANE, dejan cerca de 250 toneladas por mes de residuos sólidos los cuales son arrojados al relleno sanitario nuevo Mondoñedo.

Debido a la cantidad de residuos sólidos mensuales arrojados actualmente el ministerio de vivienda propone que, si la administración municipal no hace un control de residuos con su separación y aprovechamiento de residuos, el municipio incurre a la siguiente falta:

El Decreto 2981 del 20 de diciembre de 2013 establece que "los municipios y distritos, deberán elaborar, implementar y mantener actualizado un plan municipal o distrital para la gestión integral de residuos o desechos sólidos (PGIRS) en el ámbito local y/o regional según el caso, en el marco de la gestión integral de los residuos, el presente decreto y la metodología para la elaboración de los PGIRS".

Las alternativas para el tratamiento de residuos sólidos urbanos son los procesos térmicos los cuales involucran la incineración, pirolisis y desgasificación; o conversiones biológicas y químicas como son la lombricultura, biogeneración anaeróbica y transformación química (procesos de hidrolisis), por la generación de un producto de interés se decidió por el proceso de compostaje.

Se busca junto con la empresa de acueducto, alcantarillado y aseo S.A. E.S.P. del municipio del Rosal, Cundinamarca, desarrollar un proyecto el cual consiste en producir abono orgánico (Compost) proveniente de los residuos arrojados por los habitantes del municipio.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una propuesta para la obtención del abono orgánico mediante el compostaje de los residuos sólidos en el municipio El Rosal, Cundinamarca.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar el estado actual de los residuos sólidos orgánicos generados.
- Determinar las condiciones de producción en el proceso de compostaje por medio de un desarrollo experimental.
- Establecer los requerimientos técnicos del proceso.
- Realizar la evaluación financiera del proyecto.

1. GENERALIDADES

1.1 RESIDUOS

Los residuos son aquellos materiales, sustancias o elementos en cualquier estado físico resultante de actividades domésticas, industriales, institucionales, comerciales, de servicios y de consumo que se desechan después de su utilización. Los residuos son susceptibles de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien con valor económico o de disposición final¹

1.1.1 Clasificación de los residuos sólidos. Los residuos sólidos se pueden clasificar en distintas formas de acuerdo a unas características. En el cuadro 1 se muestra la clasificación de los residuos sólidos según su fuente generadora, su composición e impacto que genera con el medio ambiente.

Cuadro 1. Tipos de clasificación de los residuos sólidos.

Tipo de clasificación	Tipo de residuos
Según su origen	Residencial, comercial, institucional, construcción y demolición, servicios, industriales, industrial y agrícolas.
Según su composición	Inorgánicos y orgánicos.
Según su impacto al medio ambiente	Peligrosos y no peligrosos (aprovechables, no aprovechables y orgánicos biodegradables).

Fuente: TCHOBANOGLIOUS, George; THEISEN, Hilary y VIGIL, Samuel. Gestión integral de residuos sólidos. Editorial: McGraw Hill, Volumen I, España, 1994. p. 45-57.

1.1.1.1 Según su origen. El origen de los residuos es un parámetro muy importante debido a que sus propiedades y características están definidas por las actividades o lugar que los origina siendo estos los siguientes:

- **Residencial:** Son aquellos residuos originados por los domicilios particulares como los hogares unifamiliares y multifamiliares; y actividades domésticas. Estos se generan en mayor abundancia y contienen residuos de comida, papel, plásticos, latas, textiles, madera, vidrio, cartón, residuos de jardín, madera, cerámica, metales féreos, aluminio y suciedad².

¹ COLOMBIA. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Decreto 1713 (6, octubre, 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. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2002. 13 p.

² TCHOBANOGLIOUS, George; THEISEN, Hilary y VIGIL, Samuel. Gestión integral de residuos sólidos. Editorial: McGraw Hill, Volumen I, España, 1994. 55 p.

- **Comercial:** Son aquellos generados por actividades propias del comercio como restaurantes, tiendas, mercados, talleres, centros comerciales, oficinas, hoteles, bares, imprenta y el resto de sector de servicios. Están conformados por residuos de papel, comida, vidrios, metales, plásticos, latas y residuos peligrosos³.
- **Institucionales:** Son aquellos residuos producidos en colegios, universidades, cárceles, hospitales y centros gubernamentales. Los residuos sólidos institucionales son similares a los residuos comerciales⁴.
- **Construcción y demolición:** Son aquellos residuos formados por las zonas de expansión, remodelación, mantenimiento de vías e incluyen escombros, hormigón, yeso, madera, acero⁵.
- **Servicios:** Los residuos sólidos de servicios son aquellos causados por los barridos o limpieza de calles y mantenimientos de áreas de recreación⁶ dentro las cuales están presentes residuos vegetales, animales, cartón, residuos de jardín.
- **Industriales:** Son aquellos residuos provenientes de los procesos industriales de transformación de materias primas, fabricación de productos de interés o productos intermedios, envasado y empaquetamiento de los mismos⁷.
- **Agrícolas:** En este grupo están incluidos los residuos generados por el sector primario de la economía como la pesca, agricultura, ganadería, crianza de animales para el matadero, entre otros⁸.

1.1.1.2 Según su composición.

- **Residuos orgánicos:** Son residuos de origen biológico, se descomponen naturalmente y tienen la característica que se degradan rápidamente para transformarse en otro tipo de materia orgánica como fertilizante o abono orgánico⁹.
- **Residuos inorgánicos:** Son residuos de origen industrial o algún proceso artificial donde sus características químicas y físicas sufren una descomposición muy lenta

³ Ibid., p. 48.

⁴ Ibid., p. 50.

⁵ Ibid., p. 50.

⁶ BEJARANO BEJARANO, Eugenia Pilar y DELGADILLO ACOSTA, Sandra Mónica. Evaluación de un tratamiento para la producción de compost a partir de residuos orgánicos provenientes del rancho de comidas del establecimiento carcelario de Bogotá "la modelo" por medio de la utilización de microorganismos eficientes (EM). Trabajo de grado Ingeniero Ambiental y sanitario. Bogotá D.C.: Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, 2007. 7 p.

⁷ TCHOBANOGLIOUS, Op. cit., p. 51.

⁸ Ibid., p. 55.

⁹ BEJARANO, Op. cit., p. 6.

e incluso su transformación es imposible. Algunos pueden ser contaminantes y peligrosos¹⁰.

1.1.1.3 Según su impacto al medio ambiente.

- **Residuos peligrosos:** Son aquellos materiales, elementos o sustancias que por sus características radioactivas, inflamables, corrosivas e infecciosas ocasionan un riesgo para la salud humana y medio ambiente¹¹.
- **Residuos no peligrosos:** Son aquellos desechos o elementos que no presentan un riesgo para la salud humana y el medio ambiente lo cuales se pueden dividir en aprovechables, no aprovechables y orgánicos biodegradables¹².
 - a) **Residuos aprovechables:** Son aquellos desechos que no tienen ningún valor para quien lo origine, pero se puede reincorporar en un proceso productivo como el reciclaje. En este grupo pertenecen todo tipo de papel, plástico y metales¹³.
 - b) **Residuos no aprovechables:** Son todos los residuos que no pueden ser reutilizados o reincorporar en un proceso productivo y no presentan un peligro para el medio ambiente ni para el ser humano. En este grupo se encuentra cerámicas, papel tissue (papel higiénico, servilletas, pañales, toalla de sanitarios), huesos, materiales de embalaje y empaques sucios y papeles encerados, plastificados y metalizados¹⁴.
 - c) **Residuos orgánicos biodegradables:** Son residuos que se pueden transformar en otro tipo de materia orgánica, esta transformación se logra mediante el proceso de compostaje o lombricultura a partir de residuos de comida y materiales vegetales¹⁵.

1.1.2 Composición de los residuos sólidos. La composición es un parámetro importante para describir los componentes individuales que constituyen el conjunto de residuos sólidos y su distribución relativa usualmente en porcentaje de peso¹⁶.

Los factores que influyen en la composición de los residuos son diversos lo cual es imprescindible examinar su composición debido a que aportará con la implementación de opciones de manejo integral, así mismo determinar el sistema de tratamiento. La composición de los residuos es cada vez más heterogénea,

¹⁰ Ibid., p. 7.

¹¹ COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Decreto 2676 (22, diciembre, 2000). Por el cual se reglamenta la gestión integral de residuos hospitalarios y similares. Bogotá D.C., 2000. 5 p.

¹² Ibid., p. 5.

¹³ Ibid., p. 5.

¹⁴ Ibid., p. 5.

¹⁵ Ibid., p. 5.

¹⁶ TCHOBANOGLOUS, Op. cit. 55 p.

voluminosa y con objetos contaminantes dificultando su manejo. A continuación, se muestra, cuadro 2, los componentes típicos en los residuos sólidos urbanos.

Tabla 1. Componentes y tipos de residuos sólidos urbanos.

Componente	Tipo de residuos
Residuos orgánicos	Residuos de comida, manipulación, preparación, cocción, consumo de comida, excretas de animales y residuos vegetales o de jardín.
Papel	Periódicos, papel de alta calidad, revistas, papel mezclado y otro papel no utilizable.
Cartón	Cartón (reciclable y contaminado)
Plásticos	PET, plásticos de películas, otros plásticos (PVC)
Textiles	Ropa, telas
Goma	Todas las clases de productos de goma excluyendo los neumáticos de vehículos.
Cuero	Zapatos, abrigos, chaquetas, tapicería.
Madera	Palos de maderas, materiales residuales de construcción
Misceláneos	Pañales y toallas desechables.
Vidrio	Vidrio de recipientes, vidrio plano, otros materiales de vidrios no de recipientes.
Metales férreos	Latas, aparatos, coches, hierro y acero
Metales no férreos	Recipientes de bebidas, aluminio secundario (chapas, marco de ventanas y contrapuerta)
Residuos especiales	Pilas domésticas, baterías, tóner.
Residuos peligrosos	Jeringas, agujas, betún, residuos biológicos, cortos punzantes.
Barrido de calles	Suciedad, material mezclado.
Otros	No se encuentran dentro de la clasificación anterior.

Fuente Modificado por los autores de TCHOBANOGLIOUS, George; THEISEN, Hilary y VIGIL, Samuel. Gestión integral de residuos sólidos. Editorial: McGraw Hill, España, 1994.

1.1.3 Composición de los residuos sólidos urbanos (RSU). Se entiende por residuos sólidos urbanos como los generados por los domicilios particulares, oficinas, comercios, instituciones, servicios y no tengan características de peligrosos. En la tabla 1 incluye las estimaciones aproximadas de porcentaje en peso de cada componente en la distribución de los RSU¹⁷.

¹⁷ Ibid., p. 55.

Tabla 2. Distribución de los componentes en los residuos sólidos urbanos.

Componente	Porcentaje en peso	
	Rango	Típico
Domésticos y comerciales, excluyendo residuos especiales y peligrosos.	50-75	62
Especiales (artículos voluminosos, electrodomésticos de consumo, bienes de línea blanca, residuos de jardín recogidos separadamente, baterías, pilas, aceite y neumáticos)	3-12	5
Peligrosos	0,01-1,0	0,1
Institucionales	3-5	3,4
Construcción y demolición	8-20	14
Servicios municipales		
Limpiezas de calles	2-5	3,8
Árboles y paisajismo	2-5	3
Parques y zonas de recreo	1,5-3	2
Sumideros	0,5-1,2	0,7
Fangos de plantas de tratamientos	3-8	6
Total		100

Fuente TCHOBANOGLIOUS, George; THEISEN, Hilary y VIGIL, Samuel. Gestión integral de Residuos Sólidos. Editorial: McGraw Hill, Volumen II, España, 1994. p. 56.

1.1.4 Propiedades físicas y químicas de los RSU. Según con las propiedades físicas, químicas y biológicas que tengan los RSU se selecciona el sistema de tratamiento siendo estas propiedades importantes para el manejo integral de los residuos¹⁸.

1.1.4.1 Peso Específico. Esta propiedad se define como el peso de una sustancia, material o componente por unidad de volumen siendo sus unidades internacionales en kg/m³ y está dado para desechos no compactos. Depende de factores como la localización, el tiempo de almacenamiento y estación del año¹⁹. Se puede estimar que en el caso de los países de América Latina y del Caribe alcanza valores de 125 a 250 kg/m³ ²⁰. En la tabla 3, se observa el peso específico de los residuos domésticos, urbanos, de jardín, comerciales, construcción y demolición, industriales y agrícolas.

¹⁸ Ibid., p. 81.

¹⁹ Ibid., p. 84.

²⁰ JARAMILLO, Jorge. Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú, 2002. 6 p.

Tabla 3. Datos típicos sobre peso específico para residuos domésticos, comerciales, industriales y agrícolas.

Tipos de residuos	Peso Unitario (kg/m ³)	
	Rango	Típico
Domésticos (no compactos)		
Residuos de comida mezclados	131-481	291
Papel	42-131	89
Cartón	42-80	50
Plásticos	42-131	65
Residuos de jardín	59-225	101
Madera	131-320	237
Vidrio	160-481	196
Aluminio	65-240	160
Basuras	89-181	131
Comerciales		
Residuos de comida (húmedos)	475-950	540
Aparatos	148-202	181
Cajas de madera	110-160	110
Podas de madera	101-181	148
Industriales		
Aserrín	101-350	291
Madera (mezclada)	400-676	498
Agrícolas		
Agrícolas (mezclados)	400-751	561
Residuos de frutas (mezclados)	249-751	359
Estiércol (húmedo)	899-1050	1000
Residuos de vegetales (mezclados)	202-700	359

Fuente Modificado por los autores de TCHOBANOGLIOUS, George; THEISEN, Hilary y VIGIL, Samuel. Gestión integral de Residuos Sólidos. Editorial: McGraw Hill, Volumen II, España, 1994. p. 82-83.

1.1.4.2 Contenido de humedad. El contenido de humedad de los residuos es aquella relación entre el peso de agua contenida en el material o muestra y el peso del material o muestra; se puede expresar en dos formas, porcentaje en peso húmedo o porcentaje en peso seco. En el caso de los países de América Latina y del Caribe, los residuos contienen una humedad de 35 a 55%²¹. La ecuación para el método peso – húmedo está dada por²²:

$$M = \frac{(w - d)}{d} * 100$$

Donde

²¹ Ibid., p. 6.

²² TCHOBANOGLIOUS, Op. cit. 55 p

M: contenido de humedad en porcentaje.

w: Peso de la muestra recogida (kg).

d: Peso de la muestra recogida después de secarse a 105°C (kg).

A continuación, se muestra los datos típicos sobre la humedad para los diferentes tipos de residuos.

Tabla 4. Datos típicos sobre la humedad para residuos domésticos, comerciales, industriales y agrícolas.

Tipos de residuos	Contenido en humedad, porcentaje en peso	
	Rango	Típico
Domésticos (no compactos)		
Residuos de comida mezclados	50-80	70
Papel	4-10	6
Cartón	4-8	5
Plásticos	1-4	2
Residuos de jardín	30-80	60
Madera	15-40	20
Vidrio	1-4	2
Aluminio	2-4	2
Basuras	89-181	31
Comerciales		
Residuos de comida (húmedos)	50-80	70
Aparatos	0-2	1
Cajas de madera	10-30	20
Podas de madera	20-80	5
Industriales		
Serrín	10-40	20
Madera (mezclada)	30-60	25
Agrícolas		
Agrícolas (mezclados)	40-80	50
Residuos de frutas (mezclados)	60-90	75
Estiércol (húmedo)	75-96	94
Residuos de vegetales (mezclados)	60-9	75

Fuente Modificado por los autores de TCHOBANOGLIOUS, George; THEISEN, Hilary y VIGIL, Samuel. Gestión integral de Residuos Sólidos. Editorial: McGraw Hill, Volumen II, España, 1994. p. 82-83.

1.1.4.3 Tamaño de partícula y distribución del tamaño. Estas propiedades son importantes en los procesos de recuperación de materiales. El tamaño medio de los componentes individuales en los RSU está entre 178 y 203 mm²³.

1.1.4.4 Capacidad de campo. Hace referencia al contenido de humedad que puede retener una muestra de residuo bajo la acción de la fuerza gravitacional. Este es un parámetro importante que determina la producción de lixiviados porque el exceso de agua sobre la capacidad de campo se producirá en forma de agua²⁴.

1.1.4.5 Análisis elemental de los componentes de residuos sólidos. Para procesos que incluyan procesos térmicos, compostaje o la disposición final de rellenos sanitarios se debe definir el porcentaje en peso de carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), azufre (S) y ceniza²⁵.

1.1.4.6 Nutrientes esenciales. En los sistemas de transformación de la fracción orgánica para la producción de abono orgánico, alcoholes y metano; la información de los nutrientes esenciales y otros elementos del material residual es importante debido a la disponibilidad de estos nutrientes por los microorganismos, dentro de los cuales se encuentran P, K, Se, B, Zn, Mn, Fe, Cu, Co, Mo, Mg, Na y Ca²⁶.

1.2 COMPOSTAJE

El compostaje es un proceso biológico y aeróbico; donde deben controlarse ciertas condiciones para lograr que el proceso sea eficiente, con pérdida mínima de emisiones y nutrientes, asegurándose de la obtención de un producto final de características conocidas y adecuadas para su destino. Una definición más actualizada sobre el término es la siguiente: “Descomposición biológica y estabilización de un sustrato orgánico, bajo condiciones que permitan el desarrollo de temperaturas en el rango termófilo como resultado del proceso biológico aerobio exotérmico, para producir un producto final más estable libre de patógenos y semillas, y que pueda ser aplicado al suelo de forma beneficiosa”²⁷.

1.2.1 El proceso de compostaje. El compostaje presenta cuatro periodos que están definidos de acuerdo al progreso de la temperatura, siendo estos:

²³ Ibid., p. 86.

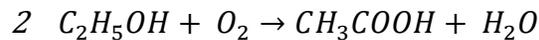
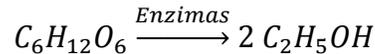
²⁴ Ibid., p. 86.

²⁵ Ibid., p. 92. MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS): Título F. Sistema de aseo urbano. Bogotá D.C., Colombia, 2012. 45 p.

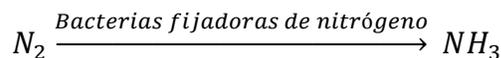
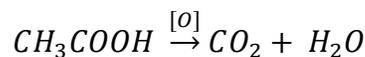
²⁶ Ibid., p. 100.

²⁷ CASTELLS, Xavier Elías; CAMPOS, Elena y FLOTATS, Xavier. PROCESOS BIOLÓGICOS: la digestión anaerobia y el compostaje. En: Compostaje. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2012. 658 p.

1.2.1.1 Mesófila I. En esta fase del proceso predominan los microorganismos mesófilos y la temperatura inicia desde la temperatura ambiente hasta alcanzar los 40°C. Aquí los microorganismos empiezan a degradar elementos como proteínas y azúcares, el pH disminuye debido a la generación de ácidos grasos entre el intervalo de 5,0 a 5,5²⁸.



1.2.1.2 Termófila. En este periodo el rango de temperatura se encuentra entre 40°C y 70°C predominando los microorganismos termófilos. A los 60°C los hongos termófilos desaparecen quedando las bacterias esporógenas y actinomicetos. Los microorganismos descomponen a la celulosa y hemicelulosa y el pH aumenta debido a que los ácidos grasos se consumen y el nitrógeno se transforma en amoníaco²⁹.



1.2.1.3 Mesófila II. También conocida como etapa de enfriamiento donde la temperatura comienza a disminuir gradualmente hasta llegar los 40°C, los microorganismos mesófilos se reactivan como los hongos termófilos que continúan degradando parte de la celulosa como la lignina y el pH desciende levemente³⁰.



1.2.1.4 Maduración. En esta fase la temperatura comienza a descender desde los 40°C hasta la temperatura ambiente, disminuye la población microbiana y el pH oscila entre 7 y 8³¹.

1.2.2 Microbiología del proceso de compostaje. En el proceso de compostaje está conformado por diversas poblaciones microbianas sobresaliendo las bacterias, hongos y actinomicetos que descomponen la materia orgánica en presencia de oxígeno a un producto estable. La predominación de los diferentes tipos de microorganismos depende de las condiciones ambientales y nutricionales en que se

²⁸ BEJARANO, Óp. cit. p. 14.

²⁹ Ibid., p. 14.

³⁰ Ibid., p. 14.

³¹ Ibid., p. 14.

encuentra la pila de compostaje como en las primeras etapas donde dominan las bacterias mesofílicas y termofílicas; y en las últimas etapas predominan los hongos y actinomicetos. Dichos microorganismos se alimentan de la materia orgánica y crecen de tejido celular mediante el nitrógeno, fósforo, parte del carbono y otros nutrientes³². Además, el carbono funciona como fuente de energía la cual se quema y se elimina como dióxido de carbono.

1.2.3 Parámetros que afectan el diseño y funcionamiento del proceso del compostaje. Es importante controlar los factores que afectan al proceso de compostaje para conseguir un producto de óptima calidad y bajos costos, los cuales vienen dados desde la naturaleza y condición inicial del sustrato hasta las variables de seguimientos durante el proceso³³:

1.2.3.1 Tamaño de partícula. El tamaño del sustrato es un factor que influye en el progreso del compostaje puesto que a mayores cortes o heridas tenga el material acelera la reacción, es decir a menor tamaño de partícula incrementa la velocidad de reacción durante el proceso. Se aconseja un tamaño entre 25 y 27 mm³⁴.

1.2.3.2 Relación Carbono/ Nitrógeno. Es un factor primordial en el proceso de compostaje, esto se debe a que la mayoría del nitrógeno orgánico estará disponible pero no la mayoría del carbono orgánico será biodegradable. El rango aconsejable en los residuos orgánicos está entre 20 y 25 a 1³⁵. Cabe resaltar que relaciones más bajas produce amoníaco y frena el metabolismo biológico, y relaciones altas, el nitrógeno sería un nutriente limitado. En la tabla se muestra el contenido de nitrógeno y las relaciones C/N de materiales compostables.

Tabla 5. Contenido de nitrógeno y relaciones C/N de materias compostables (base seca)

Material	Porcentaje N	Relación C/N
Residuos de procesamiento de comida		
Residuos de fruta	1,52	34,8
Residuos mezclados de mataderos	7-10	2
Piel de patatas	1,5	25
Estiércoles		
Estiércol de vaca	1,7	18
Estiércol de caballo	2,3	25
Estiércol de cerdo	3,75	20

³² TCHOBANOGLIOUS, Op. cit. p. 771

³³ Ibid., p. 771.

³⁴ Ibid., p. 772.

³⁵ Ibid., p. 773.

Tabla 5. (Continuación)

Material	Porcentaje N	Relación C/N
Estiércoles		
Estiércol de aves de corral	6,3	15
Estiércol de oveja	3,75	22
Madera y paja		
Residuos de aserraderos	0,13	170
Paja de avena	1,05	48
Serrín	0,10	200-500
Paja de trigo	0,3	128
Madera (pino)	0,07	723
Papel		
Papel mezclado	0,25	173
Papel de periódico	0,05	983
Papel marrón	0,01	4490
Revistas comerciales	0,07	470
Correo basura	0,17	223
Residuos de jardín		
Recortes de césped	2,15	20,1
Hojas (caídas recientemente)	0,5-1,0	40-80

Fuente Modificado por los autores de TCHOBANOGLIOUS, George; THEISEN, Hilary y VIGIL, Samuel. Gestión integral de Residuos Sólidos. Editorial: McGraw Hill, Volumen II, España, 1994. 775 p.

1.2.3.3 Nutrientes. Los nutrientes inorgánicos necesarios para los microorganismos son el potasio, cinc, calcio, magnesio, hierro, entre otros; y los nutrientes orgánicos como factor de crecimiento son los aminoácidos, vitaminas y bases nitrogenadas. Además, es fundamental para el desarrollo de los microorganismos, plantas y suelo macronutrientes como el carbono, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre³⁶.

1.2.3.4 Materia Orgánica. El contenido de la materia orgánica es un parámetro fundamental para definir la calidad del compost. En el progreso del compostaje, el contenido de materia orgánica disminuye debido a su mineralización y a la pérdida de carbono en forma de dióxido de carbono³⁷.

1.2.3.5 Conductividad eléctrica. La conductividad eléctrica en el proceso asciende por la mineralización de la materia orgánica la cual aumenta la concentración de los nutrientes³⁸.

³⁶ CAMPITELLI, Paola, et al. Compostaje. Obtención de abonos de calidad para plantas. Argentina. Editorial Brujas, 2014. 37 p.

³⁷ Ibid., p. 37.

³⁸ Ibid., p. 38.

1.2.3.6 Temperatura. La temperatura viene dada de acuerdo a la progresión del proceso y tiene una relación directa con la degradación de la materia orgánica. Este factor determina el grado de la estabilización del proceso debido que pequeñas variaciones en esta variable afecta la actividad microbiana. Se recomienda que la temperatura deba mantenerse entre 50 y 55°C durante los primeros días y entre 55 y 60°C para el resto periodo de compostaje activo³⁹.

1.2.3.7 Humedad. Este parámetro influye en la biodegradación de los componentes puesto que el agua es el medio de transporte para los nutrientes de los microorganismos y lugar donde suceden las reacciones biológicas del proceso. El contenido de humedad óptimo durante el compostaje debe estar entre el 40 y 60%⁴⁰. Si el contenido de humedad excede el rango recomendado el agua llenará los espacios vacíos de la pila produciendo compactación de esta y por ende generando la putrefacción de los residuos, pero si está por debajo del rango producirá que la transformación de los residuos orgánicos a compost sea más lenta y la actividad microbiana descienda⁴¹.

Para determinar la humedad se debe seguir el método del puño el cual consiste en estrujar un puñado de los componentes a compostar, si alcanza a salir una gota de agua el contenido es el apropiado. En caso que los materiales estén muy secos, hay que adicionar agua y volver a comprobar mediante el método. Si tiene exceso de humedad, hay que añadir material seco⁴².

1.2.3.8 pH. Al igual que la temperatura, el pH viene dado por el progreso del proceso teniendo una influencia en las actividades microbianas. Inicialmente, el pH de los residuos se encuentra entre 5 y 7; en la primera etapa, mesófila I, el microorganismo mesófilos se reproducen así causando la subida de la temperatura y produciendo ácidos orgánicos simples la cual es la causa que el pH cae a 5 o menos. Después en la etapa termófila y mesófila II, el pH incrementa a 8 u 8,5 y finalmente en la etapa de enfriamiento el pH llega a un valor de 7 u 8⁴³.

1.2.3.9 Mezcla/Volteo. La aireación es indispensable para garantizar el oxígeno para los microorganismos debido a que el proceso es aerobio. La cantidad de oxígeno va disminuyendo desde el exterior al interior de la pila. Una baja aireación a la pila provoca la sustitución de los microorganismos aerobios por anaerobios causando retardo en la descomposición de los residuos y en la generación de malos olores⁴⁴. También un exceso en la aireación de la pila provoca la pérdida de humedad y por consiguiente la reducción de la actividad dinámica de los

³⁹ TCHOBANOGLIOUS, Op. cit. p. 772.

⁴⁰ CAMPITELLI, Op. Cit. p. 40.

⁴¹ MARTÍNEZ, Op. cit. p. 27

⁴² Ibid., p. 27.

⁴³ TCHOBANOGLIOUS, Op. cit. p. 779.

⁴⁴ MORENO, Joaquín; MORAL, Raúl. Compostaje. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2007. 99 p.

microorganismos. Adicionalmente en todo el proceso se deben realizar volteos, iniciando cada dos días y cuando empiece la fase termófila cada 3 o 4 días⁴⁵.

1.3 MICROORGANISMOS EFICIENTES (EM)

La tecnología del EM es un cultivo de microorganismos beneficiosos sin alguna modificación genética, obtenidos propiamente de la naturaleza. Estos se caracterizan por sus efectos positivos en el medio ambiente como mejorando las condiciones del suelo y hace posible la transformación de los residuos sólidos orgánicos a abonos orgánicos de excelente calidad así evitando la generación de malos olores y la proliferación de insectos. Esta tecnología fue desarrollada por el Doctor Teruo Higa, PhD, profesor de horticultura de la Universidad Ryukyus en Okinawa, Japón. Dentro del cultivo se encuentra tres grupos principales de microorganismos que son bacterias fotosintéticas, bacterias ácido lácticas y levaduras⁴⁶.

El proceso de compostaje por si mismo junto con los microorganismos que contenga la materia orgánica dura aproximadamente entre 3 a 6 meses por lo cual es necesario el uso de esta tecnología⁴⁷ lo que ayuda a disminuir el tiempo del proceso, incrementar la solubilidad de nutrientes y generar ácidos grasos⁴⁸.

1.3.1 Bacterias ácido lácticas. Son aquellos microorganismos que producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos como celulosa y lignina sintetizados por las bacterias fotosintéticas. El ácido láctico es un compuesto que se caracteriza por ser altamente esterilizantes eliminado microorganismo patógenos y mejorando la transformación de la materia orgánica. Las bacterias ácido lácticas favorecen la fermentación y la transformación de algunos componentes como lignina y celulosa⁴⁹. La bacteria ácido láctica que se encuentra dentro de esta tecnología EM es *Lactobacillus sp.*

1.3.2 Levaduras. Estos microorganismos producen sustancias antimicrobianas y benéficas para el crecimiento de las plantas partiendo de aminoácidos y azúcares generados por las bacterias fotosintéticas, la materia orgánica o raíces de las plantas. Las sustancias bioactivas generadas por las levaduras como hormonas y enzimas promueven la división celular de las plantas⁵⁰. La levadura que se encuentra dentro dicha tecnología es *Saccharomyces sp.*

⁴⁵ TCHOBANOGLIOUS, Op. cit. p. 777.

⁴⁶ FUNDASES. Fundación de asesorías para el sector rural. Tecnología EM. Bogotá D.C., 2005. p 2.

⁴⁷ RIVERA, Jesús. Evaluación de microorganismos eficaces en procesos de compostaje de residuos de maleza. Universidad Cesar Vallejo. Lima, Perú. 2011., p.15.

⁴⁸ SANABRIA ORTIZ, Natalia y SEGURA AMADOR, Yessica Andrea. Propuesta de producción de abono orgánico mediante un proceso de compostaje con los residuos sólidos orgánicos del municipio de Silvania. Universidad de América. Bogotá, 2010. p. 41

⁴⁹ Ibid., p. 16.

⁵⁰ Ibid., p. 17.

1.3.3 Composición del EM. La Fundación de asesorías para el sector rural, FUNDASES, es el productor exclusivo para Colombia de la tecnología EM mediante acuerdos vigentes escritos con EMRO. El inóculo microbiano, EM, para el compostaje tiene una vida útil de 70 días y la siguiente composición⁵¹:

Cuadro 2. Composición del inóculo EM.

Microorganismo	Concentración
<i>Lactobacillus casei</i>	1,0*10 ⁶ UFC/mL
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	2,0*10 ⁴ UFC/mL
<i>Rhodopseudomona palustris</i>	2,5*10 ⁶ UFC/mL

Fuente INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). Resolución 0000334., Bogotá, 04 de febrero de 2009. p. 2.

Se debe inocular la pila de compostaje a razón de 2 litros de EM por cada tonelada de material inicialmente mediante un equipo de aspersion adecuado y el material debe estar fresco y bien picado para que los microorganismos hagan efecto en las cortadas de este y así acelerar la transformación a abono orgánico. Se debe mezclar 1 litro de EM por cada 9 litros de agua y durante los volteos se realiza una reinoculación de 1 litro de EM por cada tonelada del material inicial.

⁵¹ INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA). Resolución 0000334., Bogotá, 04 de febrero de 2009. p. 2.

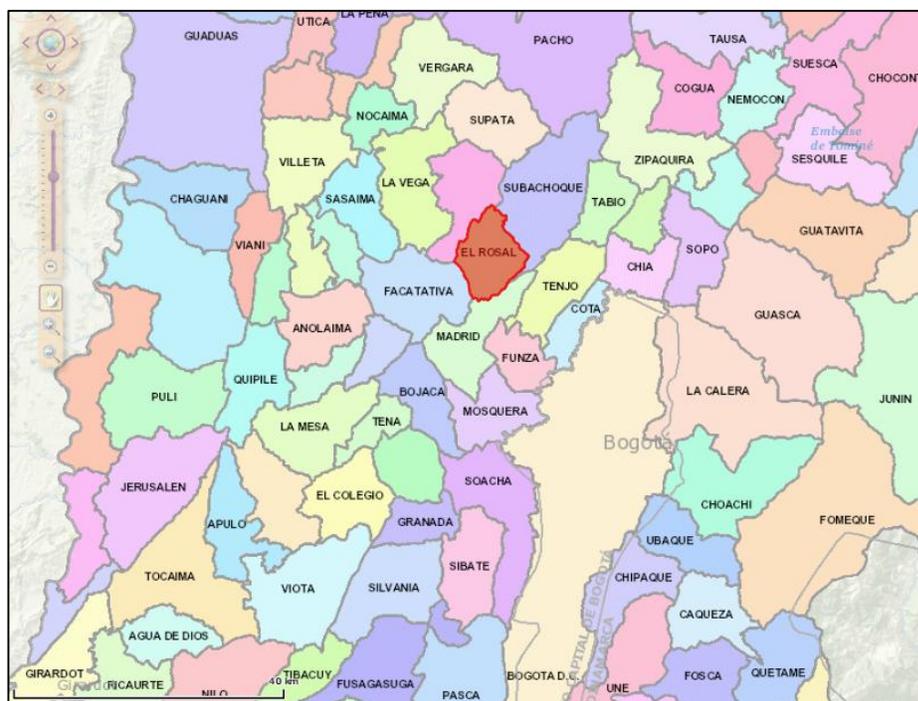
2. DIAGNÓSTICO

Este capítulo presenta información general de El Rosal, Cundinamarca, el estado actual de los residuos sólidos orgánicos en el municipio, la cantidad de producción de los residuos sólidos, su composición y los días de recolección, todo esto de acuerdo con la información suministrada por la alcaldía municipal, el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) y la caracterización de los residuos.

2.1 INFORMACIÓN GENERAL DEL MUNICIPIO

El Rosal, Cundinamarca está ubicado a 20 kilómetros de la capital colombiana, Bogotá; limita al nororiente con el municipio de Subachoque, al noroccidente con el municipio de San Francisco, al sur oriente con el municipio de Madrid y al sur occidente con el municipio de Facatativá⁵².

Figura 1. Ubicación geográfica del municipio de El Rosal.



Fuente Gobernación de Cundinamarca. Secretaria de planeación.
http://mapas.cundinamarca.gov.co/flexviewers/20140808_Municipios/

⁵² Sitio Oficial De El Rosal En Cundinamarca, Colombia. 05/07/2016. [Consultado el 10/19/2016]. Disponible en: http://www.elrosal-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml

Las principales actividades socioeconómicas del municipio son la ganadería, la floricultura y la agricultura tradicional, especialmente de papa, arveja, zanahoria maíz y frutales⁵³.

El municipio está conformado por 12 veredas en el área rural y 9 barrios en área urbana los cuales se muestran en la tabla 6, este proyecto se enfoca en la zona urbana debido a que allí se encuentra la mayor población y por facilidades de transporte.

Tabla 6. Barrios del municipio de El Rosal.

Barrios
Versalles
Bochica
Centro
San Carlos
Obando
Lleras
El Nogal
San José
Campo Alegre
Sector Santander

Fuente Alcaldía Municipal El Rosal, Cundinamarca.

2.2 GENERACIÓN DE RESIDUOS EN EL MUNICIPIO

Según el PGIRS, la composición de los residuos generados por el municipio para el año 2015 se muestra en la tabla 7.

⁵³ Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del municipio El Rosal, Cundinamarca, 2014. 62 p.

Tabla 7. Generación de residuos del municipio El Rosal.

Tipo de residuo	Generación del residuo (Ton)			
	Día	Semana	Mes	Año
Materia Orgánica	3,92	27,41	117,49	1429,48
Papel	0,13	0,93	3,98	48,42
Cartón	0,25	1,77	7,58	92,22
Plástico	0,57	4,02	17,24	209,81
Metálicos	0,05	0,35	1,52	18,44
Vidrio	0,28	1,95	8,34	101,45
Otros residuos	1,12	7,87	33,73	410,40
Total	6,32	44,3	189,88	2310,22

Fuente Modificado por los autores del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del municipio El Rosal, Cundinamarca, 2014. 57-61 p.

De acuerdo con la tabla 7, el municipio genera mayor cantidad de materia orgánica que los demás tipos de residuos, siendo este la principal materia prima para el proceso biológico. En el gráfico 1, el 62% del total de residuos del año 2015 se pueden aprovechar para la producción de abono orgánico, un 20% de los desechos es material reciclable y el resto como otros residuos.

Gráfico 1. Porcentaje de generación de los diferentes tipos de residuos.

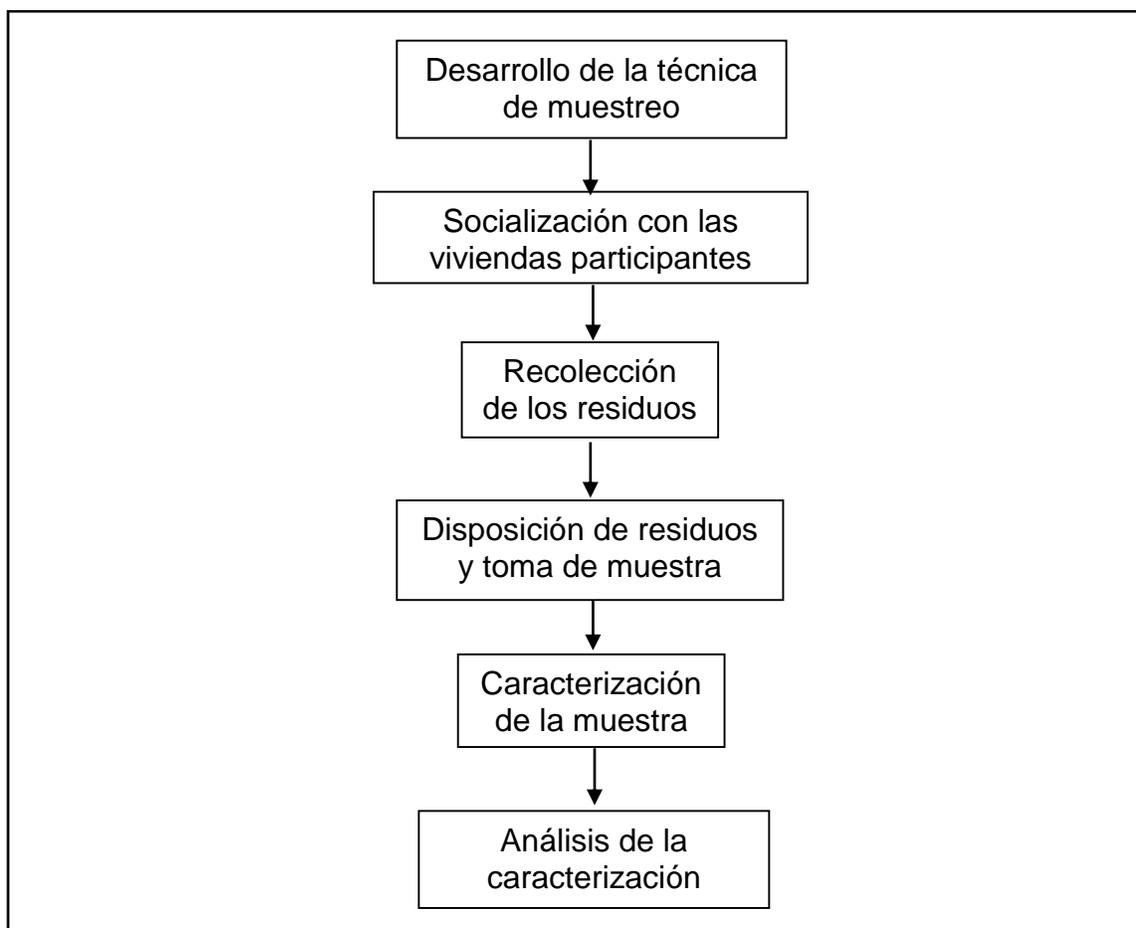


Fuente Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del municipio El Rosal, Cundinamarca, 2014. 57-61 p.

2.3 DESARROLLO DEL DIAGNÓSTICO

En el siguiente diagrama se muestra el desarrollo de actividades para llegar finalmente a la caracterización y análisis de la materia prima, es decir, conocer el estado actual de los residuos sólidos urbanos.

Figura 2. Diagrama de flujo generalizado sobre el desarrollo del diagnóstico.



2.3.1 Técnica de muestreo. Debido a la extensión del municipio y por la carencia de predicción en el resultado de la muestra, se elige la técnica de muestreo por conglomerado geográfico aleatorio⁵⁴, dividiendo el municipio en 14 sectores, seleccionando 7 y de estos eligiendo 3 viviendas, siendo en total 21 muestras para el diagnóstico como se observa en la figura 3.

⁵⁴ MARTINEZ B., Ciro. Estadística y muestreo. En: Algunos métodos de muestreo. 13 ed. Bogotá: Ecoe Ediciones, 2012. P. 784.

Figura 3. Muestreo por conglomerado geográfico aleatorio del municipio El Rosal.



Fuente Modificado por los autores de la Alcaldía Municipal El Rosal, Cundinamarca.

2.3.2 Socialización. En conjunto con la empresa de acueducto, alcantarillado y aseo de El Rosal S.A.E.S.P. se imprimen volantes y encuestas mostradas en el anexo A, estas se comparten con la comunidad haciendo la socialización pertinente de la correcta separación de los residuos sólidos, la importancia de aprender a separar para ser un municipio ambientalmente sostenible e información del proyecto.

Se realiza la encuesta que contiene información sobre si en las viviendas habitan con mascotas para indicarles la disposición de los excrementos, también se pregunta si tienen antigüedad en la vivienda para confirmar si se cuenta con la estabilidad para la recolección de los residuos, se pregunta si ha separado antes residuos y si está interesado en colaborar para evitar incomodidades o incumplimiento de parte de los habitantes, se pregunta si preparan o no los alimentos en la vivienda ya que este es la principal fuente de residuos orgánicos y de eso dependerá el éxito de la recolección, adicionalmente se pregunta el tiempo en que se encuentran la mayor parte de los habitantes para así coincidir en la recolección y no tener faltas, por último se pregunta si tienen alguna sugerencia para la empresa de aseo como aporte de información para la empresa.

Con criterios como aceptación y colaboración con el proyecto, producción de residuos en la vivienda, estabilidad y compromiso con la recolección; se seleccionan 21 viviendas, entregándoles bolsas verdes para cada recolecta de residuos.

2.3.3 Recolección de los residuos. Esta fase es implementada para identificar la cantidad, composición, y condiciones normales de los residuos generados; las recolecciones de la muestra para diagnóstico se hacen los días martes, jueves y sábado durante una semana coincidiendo en estos días con el carro recolector de la empresa de aseo y con esta frecuencia para recolectar los residuos frescos, evitar la putrefacción y malos olores de los residuos como también la incomodidad de las viviendas participantes.

Durante la recolección de estos, se evidencia la presencia de restos alimenticios como cáscaras de huevo, cáscaras de frutas (mango, banano, naranjas y mandarinas); cáscaras de arvejas, plátanos, tubérculos, verduras, tusa de mazorca y comida cocinada. Luego de recolectar los residuos se cuantificaron recogiendo un total de 143,5 lb de residuos orgánicos.

2.3.4 Disposición de los residuos y toma de la muestra. En la disposición de los residuos y conformación inicial de las pilas se tomaron medidas de protección contra animales y exceso de aireación; adicionalmente el terreno fue modificado manteniendo una leve inclinación para la acumulación de lixiviados como se observa en la imagen 1.

Imagen 1. Disposición de los residuos sólidos.



El material es llevado a la finca El Salitre a 5 km del municipio, zona rural en la vereda Buena Vista; debido a que no se cuenta con instalaciones propias de la empresa. La trituración y homogenización se lleva a cabo con palas, peñilla y rastrillo seguido de la formación de 2 pilas de manera piramidal sobre plástico, en un lugar cerrado. La pila A de la imagen 1 no tiene inoculo y la pila B está inoculada con microorganismos eficientes (EM), de la Fundación de asesorías para el sector rural (FUNDASES). El área requerida para el diagnóstico es de 3 m² teniendo una longitud de 1,6 m y un ancho de 1,9 m; esto se debe a las dimensiones de las pilas,

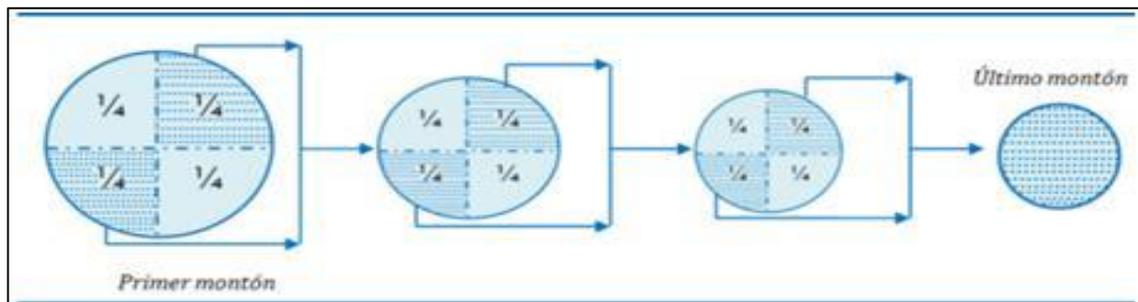
espacio para los volteos y la distancia entre las pilas. Las dimensiones de las pilas en el diagnóstico se pueden observar a continuación:

Tabla 8. Dimensiones de las pilas en el diagnóstico

Pila	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Volumen (m ³)	Largo (m)	Ancho (m)	Área base (m ²)	Altura (m)	Distancia entre las pilas (m)
Sin EM Con EM	71,75	940	0,08	0,8	0,6	0,48	0,5	1

2.3.5 Caracterización fisicoquímica de la muestra. Para la caracterización fisicoquímica se toma 1 kg de muestra para el análisis de laboratorio. La muestra se obtiene por medio de la técnica de cuarteo, esta consiste en homogenizar y reducir el tamaño adecuado de la muestra formando un círculo uniforme y dividiendo este en cuatro partes, se eliminan dos de las partes diagonalmente opuestas de manera aleatoria; se mezcla el material restante y se cuartea sucesivamente hasta conseguir la cantidad necesaria⁵⁵ como se muestra en la figura 3.

Figura 4. Técnica de muestreo.



Fuente Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Lección 10. Método Para La Caracterización. [Consultado el 10/13/2016]. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358012/ContLin/leccin_10_mtodo_para_la_caracterizacin.html

La muestra para caracterización es llevada al Laboratorio de suelos y aguas del Centro de Bio-Sistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano de Bogotá con el objetivo de tener un diagnóstico cuantificado de las variables propias de los residuos orgánicos, los resultados obtenidos se pueden observar en la siguiente tabla:

⁵⁵ UNIVERISDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA. Lección 10. Método Para La Caracterización. [Consultado el 10/13/2016]. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358012/ContLin/leccin_10_mtodo_para_la_caracterizacin.html

Tabla 9. Caracterización fisicoquímica de la muestra

Variable	Unidad	Base húmeda	Base seca
Humedad	%	80,25	-
Densidad aparente	g*cm ⁻³	0,94	-
Carbono Orgánico	%	7,69	38,95
Materia orgánica	%	16,69	84,53
Relación carbono: nitrógeno	p:p	17,71	17,71
pH	-logH+	6,00	-
Nitrógeno total	%	0,43	2,20

Fuente Laboratorio de suelos de la Universidad Jorge Tadeo Lozano modificada por los autores.

*El análisis completo se encuentra en el anexo B.

2.3.6 Análisis de resultados del diagnóstico. Los valores obtenidos de pH, humedad y relación C/N, son útiles para realizar el balance correcto del proceso eligiendo las cantidades y los aditivos indicados.

Dentro de la caracterización fisicoquímica el contenido de humedad es del 80,25%, este valor se encuentra en el límite superior del rango que muestra la tabla 4 para los residuos de comida mezclados (50-80%), esto se debe a la actividad microbiana que deshidrata los residuos. El rango de humedad recomendado para iniciar el proceso de compostaje es de 45-60%⁵⁶, por esto es necesario añadirle algún material seco para evitar que el agua selle los espacios de la pila generando la putrefacción de la misma.

La relación C/N de los residuos es de 17,71 % p/p, estando por debajo del rango recomendado para el compostaje (20 y 25 a 1)⁵⁷, esto genera un exceso de nitrógeno causando que grandes cantidades de este se escape a la atmosfera en forma de amoniaco y originando malos olores, por esta razón se debe ajustar el parámetro mediante fuentes de carbono⁵⁸.

El pH de la muestra es de 6, esto se debe a los ácidos grasos que contiene y dicho valor se encuentra dentro del rango que según el numeral 1.2.1 debe oscilar entre 5 y 7 para iniciar el proceso. Respecto a los nutrientes como carbono orgánico y nitrógeno son primordiales para el desarrollo del proceso puesto que es fuente de energía y elemento esencial para el crecimiento de los microorganismos respectivamente.

⁵⁶ MARTÍNEZ, María M.; PANTOJA y ROMÁN, Pilar. Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Santiago de Chile, 2013. 53 p.

⁵⁷ TCHOBANOGLOUS, Op. cit. p. 773

⁵⁸ MARTÍNEZ, Op. cit. 29 p.

Durante la descomposición de las 2 pilas, se observan varios aspectos como el cambio de color de los materiales tornándose a un café oscuro, la aparición de moscas y la reducción del volumen de las pilas. Además, se evidencia que la pila inoculada con EM acelera más el proceso biológico debido a que incrementa la ruptura de los compuestos como proteínas, azúcares, grasas y fibras promoviendo la rápida transformación de los materiales orgánicos y eliminando los olores fétidos provenientes de dicha descomposición. Dentro de las posibles mejoras para la experimentación se encuentra aumentar la cantidad de residuos orgánicos para obtener un centro de calor importante que ayude a elevar las temperaturas necesarias para el proceso y aumentar el área de trabajo.

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En este capítulo, se determinan las condiciones de producción en el proceso de compostaje mediante un desarrollo experimental. Este consiste en la adecuación del terreno, recolección de los residuos, formación de las pilas y medición y control de las variables que influyen en el proceso teniendo en cuenta las posibles mejoras en el diagnóstico de los residuos orgánicos.

3.1 ADECUACIÓN DEL TERRENO

El proceso se realiza, como se menciona en el numeral 2.3.4, en la finca El Salitre ubicada en la vereda Buena Vista del municipio El Rosal, teniendo una longitud de 6 m y un ancho de 4 m dando un área total de 24 m². De acuerdo con el diagnóstico, el terreno para el proceso debe contar con una protección contra roedores, lluvias, exceso de aireación y control de lixiviados, donde se procede a deshierbar y retirar pasto para la adecuación del terreno, después se elabora una placa de cemento con una leve inclinación a fin de que los lixiviados no se filtren en el suelo y se acumulen en un recipiente y por último se encierra el terreno con lona blanca evitando la presencia de animales que estropearán el proceso de compostaje.

Imagen 2. Estado final del terreno.



3.2 RECOLECCIÓN DE LOS RESIDUOS

Para el desarrollo experimental se aumenta el número de casas a 6 por cada uno de los 7 sectores dando un total de 42, debido a que la muestra recolectada inicialmente no es la suficiente para alcanzar las temperaturas propicias para el proceso, utilizando las mismas herramientas que en el diagnóstico como volantes y bolsas de color verde para cada casa. La recolección de los residuos se realiza tres veces por semana durante 3 semanas entre las 5 y 7 pm. La cantidad total de residuos orgánicos recolectados en la primera semana fue de 418 kg, en la segunda de 254,5 kg y en la tercera de 311 kg.

3.3 FORMACIÓN DE LAS PILAS

En el desarrollo experimental se evalúan diferentes alternativas para la producción de compostaje, empleando los residuos orgánicos del municipio El Rosal y Microorganismos Eficientes (EM). Se implementan dos tratamientos con tres ensayos cada uno, con el propósito de determinar la desviación de las variables medidas durante el proceso, en el cual se varía el aditivo para la conformación de las pilas conservando una misma cantidad de EM en las pilas. De acuerdo con el numeral 2.3.6 se requiere de otros materiales para mejorar la composición de la materia orgánica, siendo en este caso, materiales secos para reducir la humedad y ricos en carbono evitando las pérdidas de nitrógeno y un correctivo como la cal para prevenir la proliferación y aparición de moscas. Para los tratamientos se fija el aserrín como el aditivo 1 y los restos de poda municipal como el aditivo 2, dado que ambos tienen un alto contenido de celulosa, lignina y capacidad de retener agua.

El aserrín es el residuo común de la madera y ampliamente distribuido⁵⁹, tiene muchas características que lo hacen deseable en la preparación de sustratos como su estructura fibrosa y la alta capacidad de retención de agua⁶⁰, lo que permite captar los lixiviados que se generen durante el proceso; de tal forma evitando la pérdida de los nutrientes y microorganismos eficientes que estos contienen y reduciendo el contenido de humedad en la pila. Además el aserrín mejora las condiciones físicas del sustrato y su tamaño de partícula permite que se mezcle fácilmente con otros componentes⁶¹.

Los restos de poda presentan un contenido medio-bajo de humedad (10-60%) y un alto contenido de celulosa (10-40%) y lignina (1-10%); por ende, la relación C/N de estos materiales varía entre 30 a 150⁶². Por otro lado, se hace uso de este material

⁵⁹ OIRSA. Manual producción de sustratos para viveros. OIRSA, 2005. 25 p. ISBN versión digital: 1-4135-968-1-9.

⁶⁰ GREZ, Renato; GERDING, Víctor. Aplicación de aserrín de la industria forestal para el mejoramiento del suelo. Universidad Austral de Chile Facultad de Ciencias Forestales. Vol 16 no 1, 1995. p 115-119.

⁶¹ OIRSA, Op. cit. p. 25.

⁶² MORENO, Op. Cit. p.500.

porque es un desecho de los jardines y zonas públicas del municipio y así darle una reutilización a este recurso.

Tabla 10. Distribución de las pilas de compostaje.

Semana	Cantidad de residuos(kg)		Total (kg)
	Tratamiento con aserrín	Tratamiento con restos de poda	
1	209	209	418
2	127	127	254
3	155,5	155,5	311
Total (kg)	491,5	491,5	983

La cantidad recolectada de cada semana es un ensayo de los dos tratamientos implementados en el proceso dividiéndose en la mitad para cada uno como se observa en la tabla 10 y así dar inicio al proceso de compostaje. En el cuadro 3, se muestra la conformación de los tratamientos.

Cuadro 3. Conformación de los tratamientos.

Tratamientos	
Tratamiento 1	Tratamiento 2
Residuos Orgánicos	Residuos Orgánicos
Cal	Cal
EM	EM
Aserrín	Restos de poda municipal

3.3.1 Balance de materia. Se realiza el balance de materia con el fin de determinar la cantidad requerida de aditivos para cada uno de los tratamientos teniendo en cuenta la información teórica de los residuos orgánicos y aditivos ajustando la relación C/N de las pilas de compostaje. Cabe resaltar que la cantidad recolectada de residuos orgánicos para cada ensayo no fue la misma debido a que no en todas las semanas se va a recolectar la misma cantidad de desechos. La relación C/N total para las pilas con aserrín es de 25 y para las pilas con los restos de poda municipal es de 20 debido a que este último tiene una relación C/N muy baja (44) comparada con el de aserrín (400) necesitando más cantidad de este y no siendo viable para el municipio. El balance de materia se considera en estado estacionario, es decir, no hay generación ni acumulación de materia.

$$\text{Entrada} = \text{Salida} \quad (1)$$

Desarrollando la primera ecuación se obtuvo⁶³:

$$M_{RS} * (C/N)_{RS} + M_{Aditivo} * (C/N)_{Aditivo} = M_T * (C/N)_{Total} \quad (2)$$

$$M_{Total} = M_{RS} + M_{Aditivo} \quad (3)$$

Donde

M_{RS} : Es la cantidad de residuos sólidos orgánicos.

C/N_{RS} : Es la relación carbono/nitrógeno de los residuos sólidos orgánicos.

$M_{Aditivo}$: Es la cantidad del aditivo.

$C/N_{Aditivo}$: Es la relación carbono/nitrógeno del aditivo.

M_T : Es la cantidad total de la pila.

C/N_{Total} : Es la relación carbono/nitrógeno recomendada.

Reemplazando 3 en 2:

$$M_{RS} * (C/N)_{RS} + M_{Aditivo} * (C/N)_{Aditivo} = (M_{RS} + M_{Aditivo}) * (C/N)_{Total} \quad (4)$$

Despejando $M_{Aditivo}$ de la ecuación 4:

$$M_{Aditivo} = \frac{M_{RS} * [(C/N)_{Total} - (C/N)_{RS}]}{[(C/N)_{Aditivo} - (C/N)_{Total}]} \quad (5)$$

- **Balance de materia del primer ensayo del tratamiento 1:** Residuos orgánicos + Aserrín + EM.

$$M_{Aserrín} = \frac{M_{RS} * [(C/N)_{Total} - (C/N)_{RS}]}{[(C/N)_{Aserrín} - (C/N)_{Total}]} \quad (6)$$

Donde

M_{RS} : Es la cantidad de residuos sólidos orgánicos = 209 kg

C/N_{RS} : Es la relación carbono/nitrógeno de los residuos sólidos orgánicos = 17,71 %p/p

$M_{Aserrín}$: Es la cantidad del aserrín = Cantidad desconocida.

$C/N_{Aserrín}$: Es la relación carbono/nitrógeno del aserrín = 400 %p/p⁶⁴

⁶³ BARRERA STERLING, Lina Paola. Estandarización del proceso de compostaje en la obtención de abono orgánico a partir de residuos sólidos orgánicos generado en el municipio de Sibaté. Universidad de América. Bogotá, 2010. p. 74.

⁶⁴ OFICINA DE PLANEAMIENTO Y PRESUPUESTO, UNIDAD DE DESARROLLO MUNICIPAL. Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos. p. 22.

C/N_T: Es la relación carbono/nitrógeno recomendada = 25% p/p⁶⁵

Reemplazando los valores en la ecuación 6:

$$M_{Aserrín} = \frac{209 \text{ kg} * [25 - 17,71]}{[400 - 25]} = 4,06 \text{ kg} \cong 4 \text{ kg}$$

$$M_{Total} = 209 \text{ kg} + 4 \text{ kg} = 213 \text{ kg}$$

- **Balance de materia del primer ensayo del tratamiento 2:** Residuos orgánicos + Restos de poda + EM.

$$M_{Poda} = \frac{M_{RS} * [(c/N)_{Total} - (c/N)_{RS}]}{[(c/N)_{Poda} - (c/N)_{Total}]} \quad (7)$$

Donde

M_{RS}: Es la cantidad de residuos sólidos orgánicos = 209 kg

C/N_{RS}: Es la relación carbono/nitrógeno de los residuos sólidos orgánicos = 17,71 %p/p

M_{Poda}: Es la cantidad de restos de poda = Cantidad desconocida.

C/N_{Poda}: Es la relación carbono/nitrógeno de restos de poda = 44 %p/p⁶⁶

C/N_T: Es la relación carbono/nitrógeno recomendada = 20 %p/p⁶⁷

Reemplazando los valores en la ecuación 7:

$$M_{Poda} = \frac{209 \text{ kg} * [20 - 17,71]}{[44 - 20]} = 19,94 \text{ kg} \cong 20 \text{ kg}$$

$$M_{Total} = 209 \text{ kg} + 20 \text{ kg} = 229 \text{ kg}$$

- **Balance de materia del segundo ensayo del tratamiento 1:** Residuos orgánicos + Aserrín + EM.

$$M_{Aserrín} = \frac{M_{RS} * [(c/N)_{Total} - (c/N)_{RS}]}{[(c/N)_{Aserrín} - (c/N)_{Total}]} \quad (8)$$

Donde

M_{RS}: Es la cantidad de residuos sólidos orgánicos = 127 kg

⁶⁵ TCHOBANOGLOUS, Op. cit. p. 773.

⁶⁶ MARTÍNEZ, Op. cit. 53 p.

⁶⁷ TCHOBANOGLOUS, Op. cit. 773 p.

C/N_{RS}: Es la relación carbono/nitrógeno de los residuos sólidos orgánicos = 17,71 %p/p

M_{Aserrín}: Es la cantidad del aserrín = Cantidad desconocida.

C/N_{Aserrín}: Es la relación carbono/nitrógeno del aserrín = 400 %p/p⁶⁸

C/N_T: Es la relación carbono/nitrógeno recomendada = 25 %p/p⁶⁹

Reemplazando los valores en la ecuación 8:

$$M_{Aserrín} = \frac{127 \text{ kg} * [25 - 17,71]}{[400 - 25]} = 2,47 \text{ kg} \cong 2,5 \text{ kg}$$

$$M_{Total} = 127 \text{ kg} + 2,5 \text{ kg} = 129,5 \text{ kg}$$

- **Balance de materia del segundo ensayo del tratamiento 2:** Residuos orgánicos + Restos de poda + EM.

$$M_{Poda} = \frac{M_{RS} * [(C/N)_{Total} - (C/N)_{RS}]}{[(C/N)_{Poda} - (C/N)_{Total}]} \quad (9)$$

Donde

M_{RS}: Es la cantidad de residuos sólidos orgánicos = 127 kg

C/N_{RS}: Es la relación carbono/nitrógeno de los residuos sólidos orgánicos = 17,71 %p/p

M_{Poda}: Es la cantidad de restos de poda = Cantidad desconocida.

C/N_{Poda}: Es la relación carbono/nitrógeno de restos de poda = 44 %p/p⁷⁰

C/N_T: Es la relación carbono/nitrógeno recomendada = 25 %p/p⁷¹

Reemplazando los valores en la ecuación 9:

$$M_{Poda} = \frac{127 \text{ kg} * [20 - 17,71]}{[44 - 20]} = 12,12 \text{ kg} \cong 12 \text{ kg}$$

$$M_{Total} = 127 \text{ kg} + 12 \text{ kg} = 139 \text{ kg}$$

- **Balance de materia del tercer ensayo del tratamiento 1:** Residuos orgánicos + Aserrín + EM.

⁶⁸ OFICINA DE PLANEAMIENTO Y PRESUPUESTO, UNIDAD DE DESARROLLO MUNICIPAL, Op. cit. 22 p.

⁶⁹ TCHOBANOGLOUS, Op. cit. 773 p.

⁷⁰ MARTÍNEZ, Op. cit. p. 53.

⁷¹ TCHOBANOGLOUS, Op. cit. p. 773.

$$M_{Aserrín} = \frac{M_{RS} * [(C/N)_{Total} - (C/N)_{RS}]}{[(C/N)_{Aserrín} - (C/N)_{Total}]} \quad (10)$$

Donde

M_{RS} : Es la cantidad de residuos sólidos orgánicos = 155,5 kg

C/N_{RS} : Es la relación carbono/nitrógeno de los residuos sólidos orgánicos = 17,71 %p/p

$M_{Aserrín}$: Es la cantidad del aserrín = Cantidad desconocida.

$C/N_{Aserrín}$: Es la relación carbono/nitrógeno del aserrín = 400 %p/p⁷²

C/N_T : Es la relación carbono/nitrógeno recomendada = 25 %p/p⁷³

Reemplazando los valores en la ecuación 10:

$$M_{Aserrín} = \frac{155,5 \text{ kg} * [25 - 17,71]}{[400 - 25]} = 3,02 \text{ kg} \cong 3 \text{ kg}$$

$$M_{Total} = 155,5 \text{ kg} + 3 \text{ kg} = 158,5 \text{ kg}$$

- **Balance de materia del tercer ensayo del tratamiento 2:** Residuos orgánicos + Restos de poda + EM.

$$M_{Poda} = \frac{M_{RS} * [(C/N)_{Total} - (C/N)_{RS}]}{[(C/N)_{Poda} - (C/N)_{Total}]} \quad (11)$$

Donde

M_{RS} : Es la cantidad de residuos sólidos orgánicos = 155,5 kg

C/N_{RS} : Es la relación carbono/nitrógeno de los residuos sólidos orgánicos = 17,71 %p/p

M_{Poda} : Es la cantidad de restos de poda = Cantidad desconocida.

C/N_{Poda} : Es la relación carbono/nitrógeno de restos de poda = 44 %p/p⁷⁴

C/N_T : Es la relación carbono/nitrógeno recomendada = 25 %p/p⁷⁵

Reemplazando los valores en la ecuación 11:

⁷² OFICINA DE PLANEAMIENTO Y PRESUPUESTO, UNIDAD DE DESARROOLLO MUNICIPAL, Op. cit. p. 22.

⁷³ TCHOBANOGLOUS, Op. cit. p. 773.

⁷⁴ MARTÍNEZ, Op. cit. p. 53.

⁷⁵ TCHOBANOGLOUS, Op. cit. p. 773.

$$M_{\text{poda}} = \frac{155,5 \text{ kg} * [20 - 17,71]}{[44 - 20]} = 14,84 \text{ kg} \cong 15 \text{ kg}$$

$$M_{\text{Total}} = 155,5 \text{ kg} + 15 \text{ kg} = 170,5 \text{ kg}$$

Los resultados del balance de materia para los tratamientos con aserrín (T1) y restos de poda (T2) se observan en las tablas 11 y 12 respectivamente.

Tabla 11. Balance de materia para el tratamiento 1.

Ensayo	Cantidad (kg)		Total (kg)
	Residuos	Aserrín	
1	209	4	213
2	127	2,5	129
3	155,5	3	158,5
Total (kg)	491,5	9,5	500,5

Tabla 12. Balance de materia para el tratamiento 2.

Ensayo	Cantidad (kg)		Total (kg)
	Residuos	Poda	
1	209	20	229
2	127	12	139
3	155,5	15	170,5
Total (kg)	491,5	47	538,5

3.3.2 Adecuación de las pilas de compostaje. Para el montaje de las pilas, se trituran los residuos previamente con palas y peinillas con la finalidad de ajustar el tamaño de partícula y aumentar la actividad de los microorganismos acelerando el proceso. La cantidad recolectada en cada semana se distribuye en dos pilas para cada uno de los tratamientos dando un total de 6 pilas como se muestra en la tabla 10. De acuerdo con el numeral 2.3.6 se agrega cal en cada una de las pilas para evitar la proliferación y aparición de moscas. Puesto que la cantidad de residuos en cada ensayo no es la misma, de igual modo la cantidad de cal agregada es diferente teniendo en cuenta que se debe agregar 2 kg de cal por cada 100 kg de residuos⁷⁶, así distribuyendo la cantidad de cal como se muestra en la tabla 13.

⁷⁶ BONGCAM VASQUEZ, Elkin. Guía para compostaje y manejo de suelos. Convenio Andrés Bello, Bogotá, 2003. p. 16.

Tabla 13. Distribución de la cal en las pilas.

Semana	Cantidad de cal (kg)	
	Tratamiento con aserrín	Tratamiento con restos de poda
1	4	4
2	2,5	2,5
3	3	3

El volumen y la altura de cada pila, fue calculada con la densidad obtenida del análisis fisicoquímico y su respectiva masa como se muestra a continuación⁷⁷:

$$\rho_{\text{residuos}} = \frac{m_{\text{residuos}}}{V_{\text{pila}}} \quad (12)$$

Despejando el volumen de la ecuación 12:

$$V_{\text{pila}} = \frac{m_{\text{residuos}}}{\rho_{\text{residuos}}}$$

Donde el volumen de una pila es equivalente a:

$$V_{\text{pila}} = \frac{A_{\text{base}} \cdot h}{3} \quad (13)$$

Despejando la altura (h) de la ecuación 13:

$$h = \frac{3 \cdot V_{\text{pila}}}{A_{\text{base}}}$$

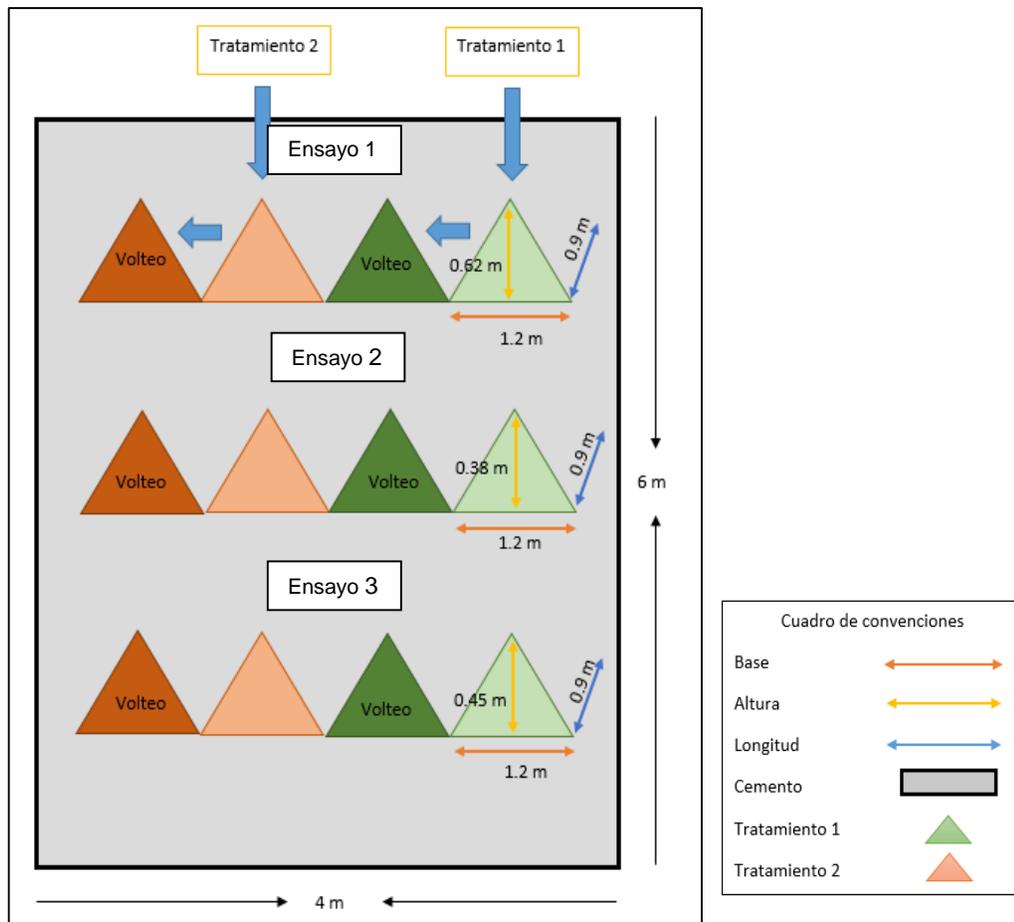
Tabla 14. Dimensiones de las pilas de compostaje.

Pila	Masa (kg)	Densidad (kg/m ³)	Volumen (m ³)	Largo (m)	Ancho (m)	Área base (m ²)	Altura (m)
T1E1	209	940	0,22	0,9	1,20	1	0,62
T2E1							
T1E2	127	940	0,14	0,9	1,20	1	0,38
T2E2							
T1E3	155,5	940	0,17	0,9	1,20	1	0,45
T2E3							

⁷⁷ MARTÍNEZ, Op. cit. 49 p.

Las dimensiones y la disposición de cada pila de compostaje se pueden observar en la tabla 14 y figura 5 respectivamente. En la figura 5 se puede observar que las pilas tienen una configuración triangular debido a la cantidad de residuos que contiene cada pila para contribuir a la generación de un centro de calor que ayude a incrementar las temperaturas requeridas para el compostaje.

Figura 5. Montaje del área del proceso.



3.4 SEGUIMIENTO Y CONTROL DE LOS PARÁMETROS DEL COMPOSTAJE

Para el control de los parámetros que influyen en el proceso de compostaje, se tiene en cuenta el análisis fisicoquímico con la finalidad de ajustar estos a los rangos recomendados. Después, se realiza la medición simultánea de estos como la humedad, pH, temperatura interna de la pila y temperatura ambiente. En el Anexo C, se puede observar los datos registrados.

3.4.1 Toma de muestras. Al inicio del proceso, como se mencionó en el numeral 2.3.5 se toma una muestra de 1 kg de residuos orgánicos que son llevados al

Laboratorio de suelos y aguas del Centro de Bio-Sistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano de Bogotá con el fin de realizar el análisis fisicoquímico donde los resultados se pueden observar en el Anexo B. Luego de que cada ensayo haya completado 52 días de iniciado el proceso de compostaje, se toma una muestra de cada tratamiento conformada por el ensayo que tiene el mejor comportamiento en cuanto a los parámetros que influyen en el compostaje como la temperatura interna, humedad y pH, porque en este periodo alcanza la etapa maduración que se caracteriza por llegar a la temperatura ambiente y asegurar un desarrollo completo del proceso con los microorganismos eficientes. Dichas muestras se llevan nuevamente a un análisis fisicoquímico en el Centro de Bio-Sistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano de Bogotá. Las metodologías para el análisis fisicoquímico son: N según kjeldahl; P por colorimetría; K, Ca, Mg, Na por absorción atómica; carbono orgánico por calcinación; pH en extracto de saturación y porcentajes de elementos menores en relación peso a peso.

3.4.2 Control de humedad. Para controlar este parámetro, se llevó acabo el siguiente procedimiento empírico llamado “la prueba de puño” que consiste en:

1. Se toma con la mano una muestra del material.
2. Se cierra la mano y aprieta fuertemente el mismo.
3. Con esta operación se trata de verificar si sale un hilo de agua continuo del material, se establece que la pila tiene la humedad adecuada (50-60%), cuando hay exceso botará gran cantidad de agua y se hace necesario reducirla permitiendo que la pila reciba aire.
4. Si no se produce un hilo continuo de agua y el material gotea intermitentemente, se establece que su contenido en humedad es cercano al 40%.
5. Si el material no gotea y cuando abrimos el puño de la mano permanece moldeado, estimamos que la humedad se presenta entre un 20 a 30 %.
6. Finalmente si abrimos el puño y la mezcla se desmorona, quiere decir que la mezcla está muy seca, contiene una humedad inferior al 20 % y por ello es necesario rehumedecer⁷⁸.

En la imagen 3 se puede observar la medición de este parámetro mediante la prueba de puño

⁷⁸ LUNA, Luz Alba; VILLAMIZAR, Jaime. Compostaje solarizado. Bogotá, D.C. Centro de investigación “El Arsenal” CORPOICA – COLCIENCIAS, 2004. p. 2

Imagen 3. Medición de la humedad.



3.4.3 Control de pH. Durante el proceso, el pH se mide mediante tiras de papel tornasol en solución acuosa tomando una porción de la pila y se lleva a su capacidad de saturación; es decir, se agrega agua hasta que el material ya no absorbe más y luego se toma la medición⁷⁹. El proceso inicia con un pH básico de 11 y termina con un pH básico entre 9-10 debido a la cal agregada al inicio del proceso. En la imagen 4 se observa la medición de este parámetro.

Imagen 4. Medición del pH



3.4.4 Control de temperatura. Para determinar este parámetro se utiliza un termómetro de punzón de 30 cm en acero inoxidable. Las mediciones, según

⁷⁹ MARTÍNEZ, Op. cit. 56 p.

FUNDASES, se toman en 3 puntos de la pila, dos en los extremos y uno en el medio calculándose el valor promedio aritmético de éstas y así conocer en qué etapa se encontraba el proceso. En la siguiente imagen se muestra la medición de la temperatura.

Imagen 5. Medición de la temperatura



Los parámetros indicados anteriormente son medidos tres veces por semana en las dos primeras semanas con el objetivo de verificar las etapas del proceso y a partir de la tercera semana se prosigue las mediciones dos veces por semana hasta la etapa final del compostaje. Los volteos se realizan de acuerdo a la humedad que contiene cada pila para homogenizar el material y evitar que el agua tapone los espacios de está provocando la putrefacción de los residuos.

3.4.5 Volteos. En los primeros 17 días se realizan 4 volteos cada tercer o cuarto día dado que la humedad se encuentra en un rango de 70-50% lo que da lugar a zonas de anaerobiosis. Los volteos posteriores se hacen con el objetivo de homogenizar la humedad de las pilas y controlar la temperatura, en vista de que la parte superior de las pilas se encuentran seca y en la profundidad húmeda. A continuación, se muestra los días en los que se hicieron volteos de acuerdo a la humedad de las pilas.

Tabla 15. Días de volteos.

Tratamiento con aserrín									Tratamiento con restos de poda								
Día			Humedad			Volteos			Día			Humedad			Volteos		
E	E	E	E	E	E	E1	E2	E3	E	E	E	E	E	E	E1	E2	E3
1	2	3	1	2	3				1	2	3	1	2	3			
0	-	-	80	-	-	No		-	0	-	-	80	-	-	No	-	-
3	-	-	70	-	-	Si		-	3	-	-	70	-	-	Si	-	-
5	-	-	70	-	-	No		-	5	-	-	70	-	-	No	-	-
7	0	-	60	70	-	Si	No	-	7	0	-	70	70	-	Si	No	-
10	3	-	60	70	-	No	Si	-	10	3	-	60	70	-	No	Si	-
12	5	-	60	60	-	Si	No	-	12	5	-	60	60	-	Si	No	-
14	7	0	55	60	70	No	Si	No	14	7	0	60	60	70	No	Si	No
17	10	3	55	60	70	Si	No	Si	17	10	3	55	60	70	Si	No	Si
20	13	6	50	55	60	No	No	No	20	13	6	55	55	60	No	No	No
24	17	10	50	55	60	No	Si	Si	24	17	10	50	55	60	No	Si	Si
27	20	13	40	55	55	No	No	No	27	20	13	50	55	60	Si	No	No
31	24	17	80	50	55	Si	No	Si	31	24	17	50	50	55	No	No	Si
34	27	20	60	50	50	No	No	No	34	27	20	45	50	55	No	No	No
38	31	24	60	45	50	Si	Si	No	38	31	24	45	45	60	Si	Si	Si
41	34	27	50	45	55	No	No	No	41	34	27	40	45	55	No	No	No
45	38	31	45	45	55	No	No	Si	45	38	31	40	40	55	No	No	Si
48	41	34	55	40	50	Si	No	No	48	41	34	35	40	50	No	Si	No
52	45	38	50	40	50	No	No	No	52	45	38	35	35	50	No	No	No
-	48	41		40	45	-	No	Si	-	48	41	-	35	45	-	No	Si
-	52	45		35	45	-	No	No	-	52	45	-	30	45	-	No	No
-	-	48		-	40	-	-	No	-	-	48	-	-	40	-	-	No
-	-	52		-	40	-	-	Si	-	-	52	-	-	40	-	-	No

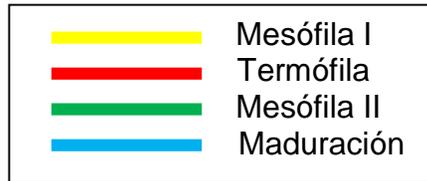
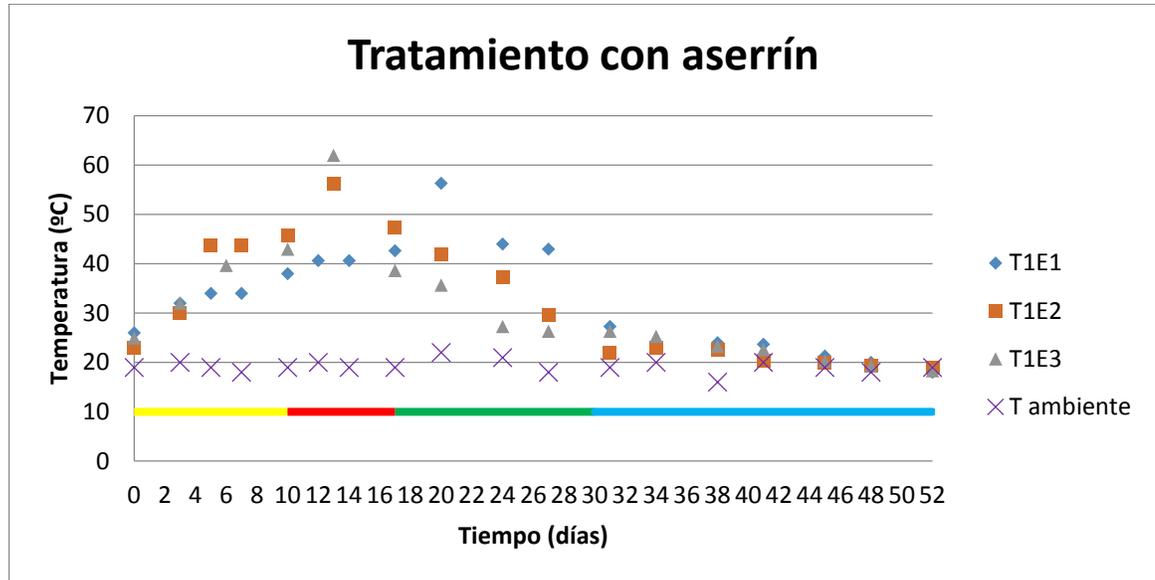
3.5 ANÁLISIS DE LOS PARÁMETROS DEL COMPOSTAJE

Se estudian los parámetros que influyeron en el proceso del compostaje, como la temperatura interna de la pila, humedad y pH, al igual que los volteos ya que mediante esta variable se ajustan los parámetros mencionados anteriormente en los valores recomendados. Así mismo, se realiza el respectivo análisis de cada uno de estos parámetros con la finalidad de identificar las etapas del proceso y las variaciones con respecto a los tratamientos y sus ensayos.

3.5.1 Temperatura interna de la pila. Este parámetro es importante porque ayuda a identificar las etapas del proceso de compostaje, como lo son: mesófila I, termófila, mesófila II y maduración; y a inhibir el crecimiento de la población microbiana patógena con el aumento de temperatura en la fase termófila sin alterar las propiedades fisicoquímicas del producto final que es el abono. El método utilizado para medir este parámetro se explica en el numeral 3.4.4., Por consiguiente, los comportamientos de temperatura se pueden observar en las gráficas 2 y 3 para cada uno de los tratamientos con sus respectivos ensayos. En cada gráfica se

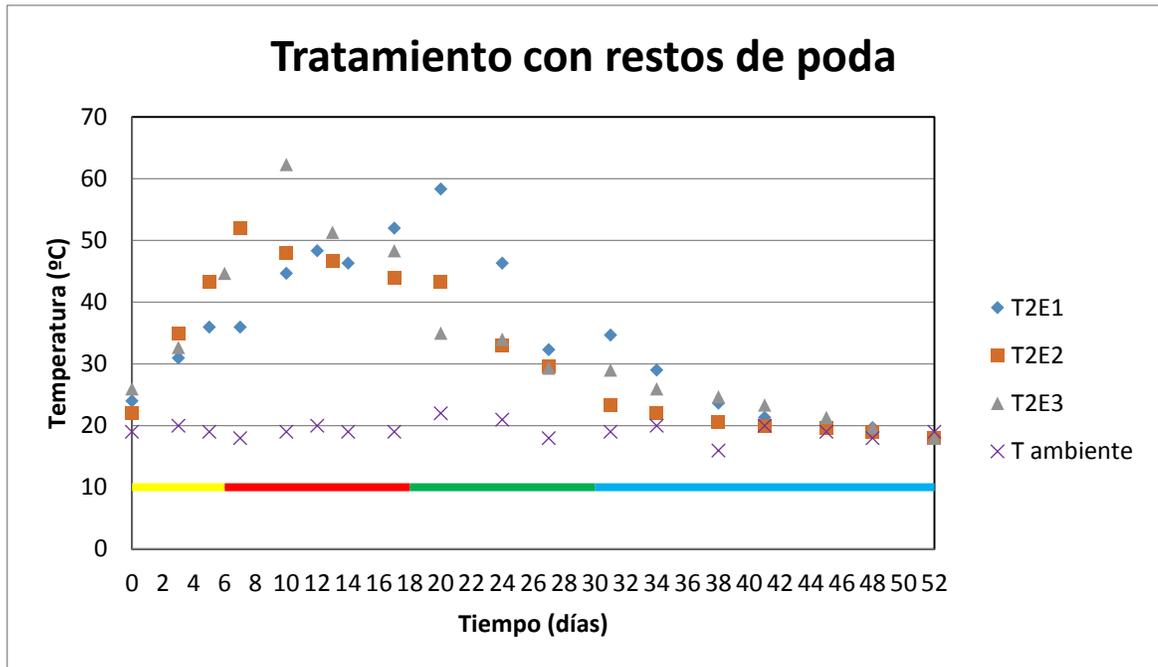
encuentra una línea de color morado, que es la temperatura ambiente como referencia para señalar que las pilas han llegado a la fase de maduración.

Gráfico 2. Comportamiento de la temperatura en el tratamiento 1.



En el gráfico 2, se puede observar que la fase mesófila I transcurre los primeros diez días debido a que la temperatura no supera los 45°C, la fase termófila dura 7 días (desde el día 11 hasta el día 17) con una temperatura máxima de 62°C; por último, este parámetro disminuye dando paso a la etapa de enfriamiento (mesófila II) y maduración hasta que dicho parámetro sea igual o inferior a la temperatura ambiente. Dicho lo anterior, no se cumple para el ensayo 1 debido a que los residuos de esta vienen con un alto contenido de humedad por lo que tiene un mayor número de volteos con respecto a los demás ensayos y por ende se demora en llegar a la etapa termófila.

Gráfico 3. Comportamiento de la temperatura en el tratamiento 2.



En el gráfico 3, se observa el comportamiento de la temperatura para el tratamiento 2 donde la fase mesófila I transcurre los primeros seis días, la fase termófila dura 11 días (desde el séptimo día hasta el día dieciocho) con una temperatura de 62°C al igual que el tratamiento 1 y posteriormente inicia la etapa de enfriamiento y maduración donde la actividad de los microorganismos mesófilos reinician.

De acuerdo con los anteriores gráficos, se evidencia que ambos tratamientos llegan a una misma temperatura máxima (62°C en los terceros ensayos) pero con el tratamiento 2 se demora 11 días durante la fase termófila lo que garantiza la inhibición de microorganismos patógenos (*Salmonella spp*, *Escherichia coli*, *Brucella abortus*, *Parvovirus bovino*, *Ascaris lumbricoides*). En la tabla 15, se muestra las temperaturas y los tiempos requeridos para eliminar dichos microorganismos que afectan la calidad del producto final en el cual los dos tratamientos superan estas temperaturas y tiempos recomendados.

Tabla 16. Temperaturas requeridas para la eliminación de algunos patógenos.

Microorganismo	Temperatura (°C)	Tiempo de exposición
<i>Salmonella spp</i>	55	1 hora
	65	15-20 minutos
<i>Escherichia coli</i>	55	1 hora
	65	15-20 minutos
<i>Brucella abortus</i>	55	1 hora
	62	3 minutos
<i>Parvovirus bovino</i>	55	1 hora
Huevos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	55	3 días

Fuente ROMÁN, Pilar; MARTÍNEZ, María; PANTOJA, Alberto. Manual de compostaje del agricultor, Experiencias de América Latina. Santiago de Chile, 2013. p. 33.

3.5.2 Humedad. La humedad es un parámetro relacionado con los microorganismos dado que utilizan el agua como medio de transporte de los nutrientes y elementos energéticos a través de la membrana celular⁸⁰. Los residuos presentan una humedad del 80,25% produciendo lixiviado durante el proceso. Los lixiviados tienen un alto contenido de materia orgánica que se miden mediante indicadores como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBQ) y la Demanda Química de Oxígeno (DBO) donde los principales parámetros a tratar son los sólidos disueltos o en suspensión, la dureza y la concentración de nitritos y fosfatos⁸¹. Para el tratamiento de estos se recomienda tratamientos biológicos para eliminar sólidos en suspensión y compuestos orgánicos biodegradables mediante microorganismos en presencia de oxígeno, principalmente bacterias, que utilizan la materia orgánica como alimento para su crecimiento en especial los compuestos de nitrógeno y fosforo⁸².

También existen procesos en ausencia de oxígeno donde transforma la materia orgánica en metano (CH₄) y dióxido de carbono (CO₂). Otro tratamiento que se

⁸⁰ SANABRIA, Op. cit. p. 70.

⁸¹ SILLERO MORENO, Francisco. Tratamiento de residuos urbanos o municipales. Ic Editorial: España, 2012. p. 91.

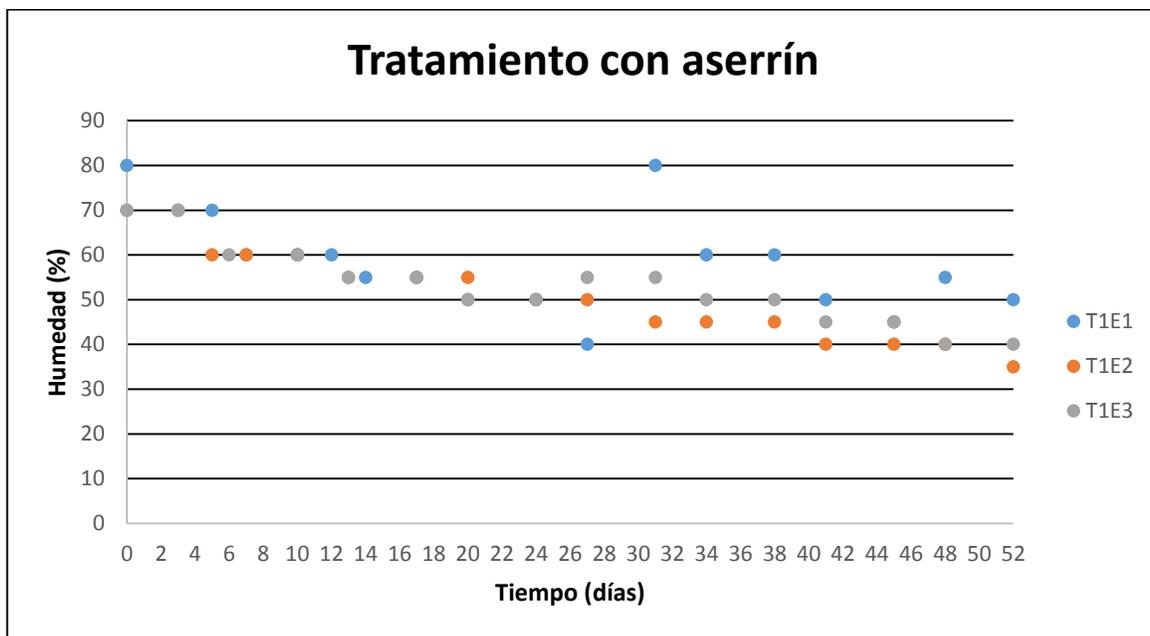
⁸² Ibid., p. 95.

recomienda es un fisicoquímico en el cual consiste en la alteración del pH dando lugar una modificación en los complejos coloidales propiciando una coagulación y una posterior precipitación reduciendo la concentración de varios contaminantes como los metales pesados y la materia orgánica disuelta⁸³.

Para iniciar el proceso de compostaje se agrega 2 kg de cal por cada 100 kg de residuos⁸⁴, como correctivo para evitar la proliferación de insecto y ajustar el contenido de humedad, 80% para los primeros ensayos y 70% para los segundos y terceros ensayos.

En el gráfico 4 se puede observar que el comportamiento de la humedad con el tratamiento 1 son similares entre los ensayos a excepción del primer ensayo debido a que éste se humedece con las lluvias registradas en el día 29 lo que aumenta el valor de este parámetro; al igual que en el ensayo 3 pero con un leve aumento.

Gráfico 4. Comportamiento de la humedad en el tratamiento 1.



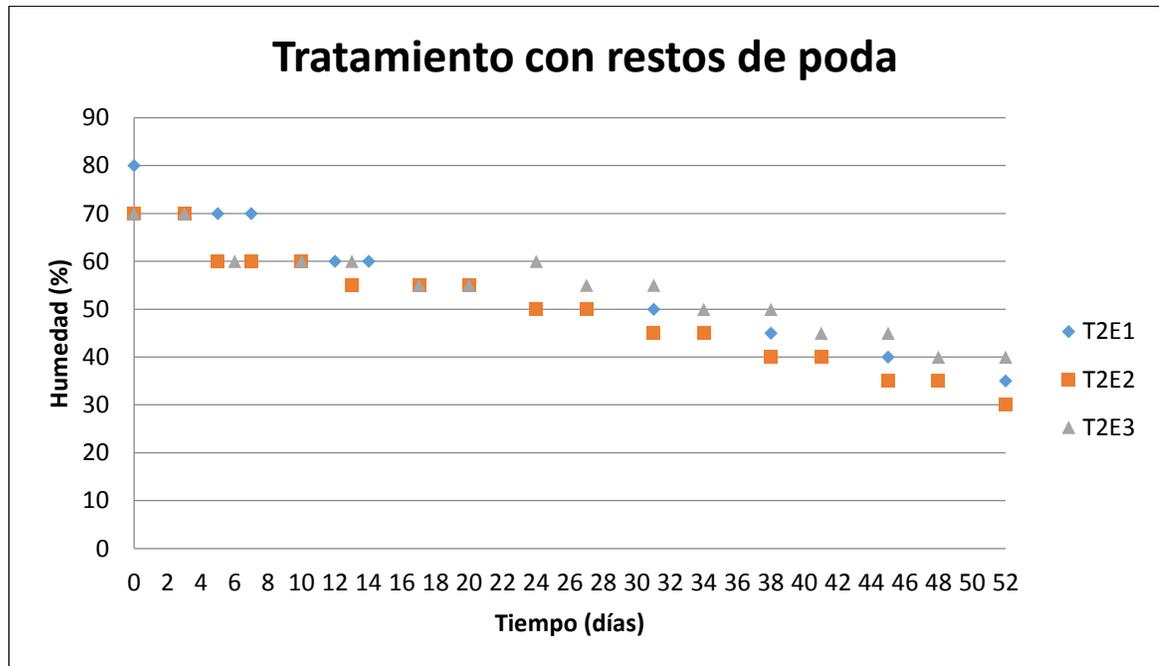
En el gráfico 5, se observa que el comportamiento de la humedad para el tratamiento 2 presenta una uniformidad en los 3 ensayos lo que no se puede diferenciar el primer tratamiento. Además, se puede evidenciar que en los días de

⁸³ GIACOMAN VALLEJOS, Germán y QUINTAL FRNACO, Carlos Alberto. Influencia del cambio en el potencial de hidrógeno (pH) en la disminución de contaminantes y metales pesados del lixiviado de un relleno sanitario. Uruguay. 2006

⁸⁴ BONGCAM, Op. cit. p. 16.

lluvias afectaban a las pilas del tratamiento 1 debido a que la dirección del viento hacía que estas se humedecieran.

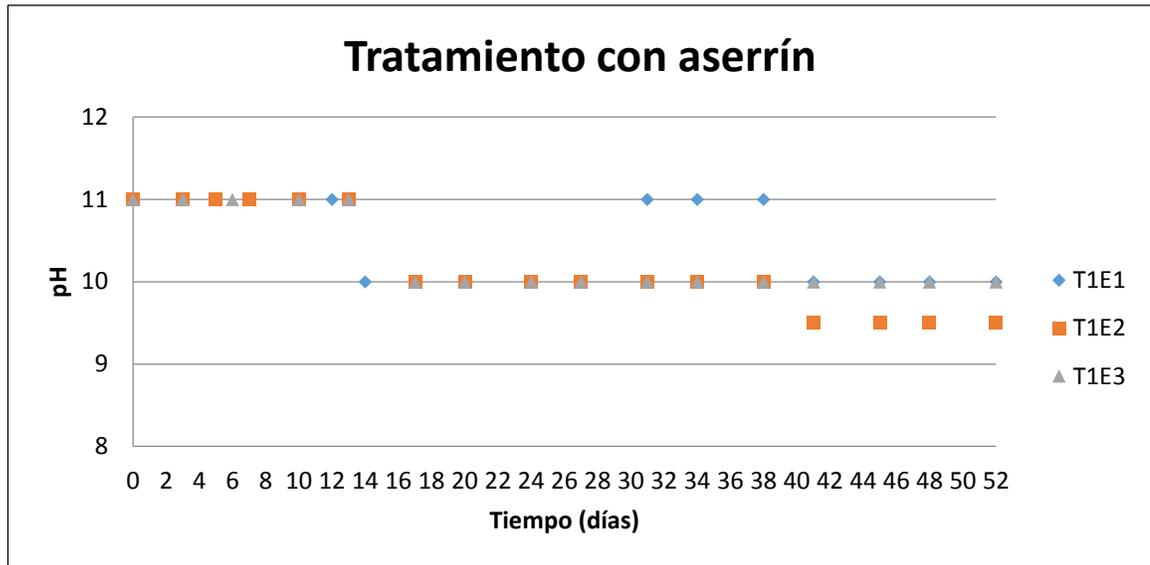
Gráfico 5. Comportamiento de la humedad en el tratamiento 2.



3.5.3 pH. Este parámetro comienza con un valor de 11 la cual se debe a la cal agregada a las pilas como correctivo para evitar la proliferación de insectos y malos olores y también éste ajusta el contenido de humedad de los residuos. En los gráficos 6 y 7 se observa el comportamiento del pH en los tratamiento 1 y 2 respectivamente donde disminuye este parámetro hasta un valor entre 9,5 y 10 aproximadamente debido a las pérdidas o liberación del dióxido de carbono (CO₂) por la respiración de los microorganismos⁸⁵. En el tratamiento con aserrín los ensayos tienen un comportamiento similar a excepción del primer ensayo (T1E1) puesto que en el día 29 se presenta un aumento de este parámetro lo cual se asocia con el aumento del contenido de humedad por las lluvias y la liberación de nitrógeno por la degradación de las proteínas.

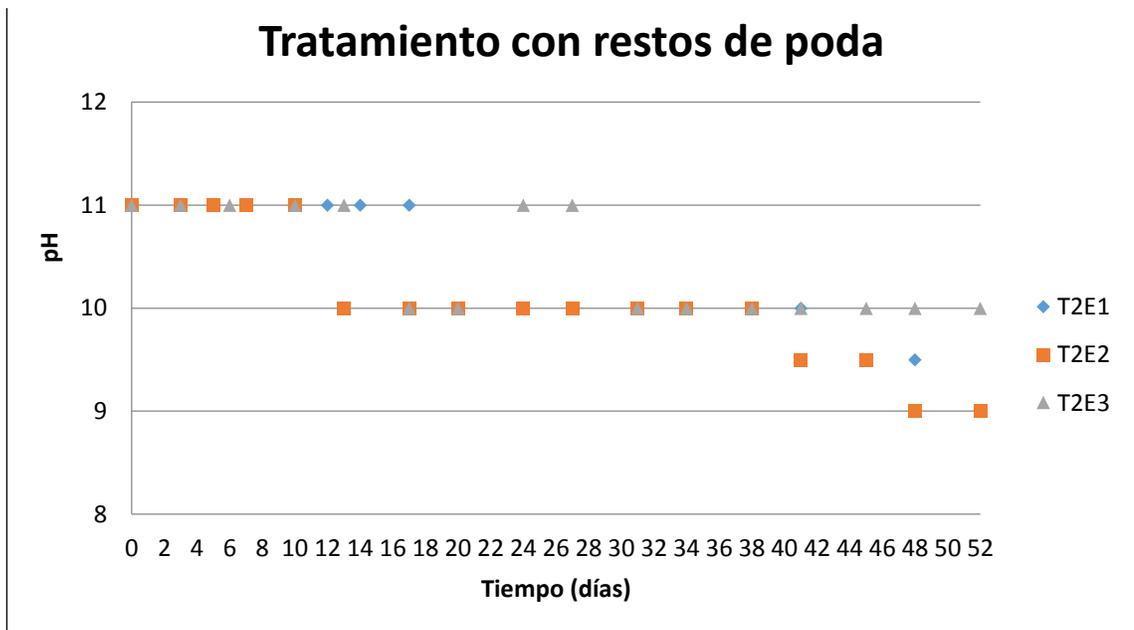
⁸⁵ SANABRIA, Op. cit. p. 68.

Gráfico 6. Comportamiento del pH en el tratamiento 1.



En el gráfico 7, se observa el comportamiento del pH para el tratamiento con restos de poda donde los ensayos tienen un comportamiento similar a excepción del tercer ensayo (T2E3) que presenta un aumento del parámetro al igual con el primer ensayo del tratamiento 1 el cual se debe al aumento de la humedad.

Gráfico 7. Comportamiento del pH en el tratamiento 2.



3.5.4 Rendimiento abono/materia prima. Para conocer el rendimiento de cada una de las pilas se pesa cada una de ellas después de los 52 días, en los cuales las temperaturas internas son igual o menor a la temperatura ambiente. En la imagen 6 se observa el producto final empacado en bolsas de color verde donde a lado izquierdo corresponde a los tratamientos con restos de poda y lado derecho los tratamientos con aserrín siendo la parte superior los primeros ensayos, seguido los segundos ensayos y la parte inferior los terceros ensayos.

Imagen 6. Producto final



En la tabla 17, se presentan los rendimientos para cada tratamiento y sus ensayos considerando la cantidad inicial de los residuos orgánicos y los aditivos añadidos a cada pila. De acuerdo con los resultados se considera el mejor rendimiento para el tratamiento 2 con un rendimiento promedio de 22,79% y por último el tratamiento 2 con un rendimiento promedio de 20,90%. Sin embargo, los rendimientos del compost obtenido con respecto a la materia prima se estiman muy bajos a causa de las pérdidas por lixiviados por el alto contenido de humedad de los residuos orgánicos y la pérdida por liberación del nitrógeno en forma de amoniaco.

Tabla 17. Rendimiento abono/materia prima de los tratamientos.

Tratamiento	Ensayos	Cantidad inicial (kg)	Cantidad final (kg)	Rendimiento (%)	Rendimiento promedio (%)
1	1	213	39,5	18,54	20,90
	2	129,5	33,5	25,87	
	3	158,5	29	18,3	
2	1	229	37,5	16,37	22,79
	2	139	40,5	29,14	
	3	170,5	39	22,87	

3.5.5 Análisis de resultados del producto final. Para la caracterización fisicoquímica del producto final se toma 1 kg de cada muestra para el análisis de laboratorio mediante la técnica de cuarteo. Las muestras a analizar se extraen de los terceros ensayos de cada tratamiento debido a que estas presentan una mayor temperatura que los demás ensayos lo cual indica una total inhibición de los microorganismos patógenos, un buen comportamiento de humedad llegando estas al rango óptimo (30-40%). Teniendo en cuenta la caracterización del producto final (Anexo D) realizado en el Centro de Bio-Sistemas de la Universidad Jorge Tadeo Lozano de Bogotá, se realiza una breve comparación entre el diagnóstico, tratamiento 1 (T1), tratamiento 2 (T2) en base seca y húmeda y la norma técnica colombiana 5167 (NTC 5167) como se puede observar en la tabla 18 con el fin de analizar las variables involucradas en la caracterización.

Tabla 18. Comparación de los parámetros fisicoquímicos.

Variable	Unidad	Diagnóstico	Base húmeda		Base seca		NTC 5167
			T1	T2	T1	T2	
Humedad	%	80,25	59,48	66,52	-	-	Máximo 35
Densidad aparente	g*cm ⁻³	0,94	0,52	0,91	-	-	Máximo 0,6
Carbono orgánico	%	7,69	10,64	7,72	26,25	23,06	Mínimo 15
Relación C/N	p:p	17,71	13,82	9,61	13,82	9,51	-
pH	-logH+	6	9,30	9,30	-	-	4-9
Nitrógeno total (N)	%	0,43	0,77	0,80	1,90	2,40	Mínimo 1
Fósforo (P)	%	0,12	0,13	0,17	0,31	0,5	Mínimo 1
Potasio (K)	%	0,28	0,61	0,47	1,50	1,40	Mínimo 1

- **Humedad.** Se puede observar que los dos tratamientos disminuyeron su cantidad de humedad con respecto al diagnóstico, pero a la vez no cumplen con la normatividad dado que exige que el contenido de humedad sea máximo a 35%, esto es debido a las lluvias que se registraron en la etapa de maduración provocando que las pilas se humedecieran y aumentaran dicho parámetro.
- **Densidad aparente.** La densidad del material está estrechamente relacionado con la retención de agua y el tamaño de partícula por lo que a medida que avanza el proceso el tamaño disminuye y por ende la densidad aumenta⁸⁶. Dicho lo

⁸⁶ MARTÍNEZ, Op. cit. p. 30.

anterior se observa que en el tratamiento 1 contiene la menor densidad (0,62 g/cm³) y el tratamiento 2 con mayor densidad (0,91 g/cm³) por lo que ésta última no cumple con la NTC 5167 puesto que este parámetro debe ser un máximo de 0,6 g/cm³, lo anterior se debe que el tamaño del aditivo del tratamiento 2 (restos de poda) es más mayor que el aditivo del tratamiento 1 (aserrín) lo que no favorece al tratamiento 2.

- **Carbono orgánico.** El carbono es un compuesto que tiene un efecto positivo en el suelo como la disminución en la tasa de erosión y mantiene la biodiversidad de los microorganismos al ser fuente de energía para estos. De acuerdo con la normatividad los dos tratamientos no cumplen con este requisito por lo que sus valores son menores al 15%; sin embargo, el tratamiento 1 se encuentra por debajo a 4,36 puntos del mínimo requerido siendo éste el más cercano a la norma a comparación del tratamiento 2 con una diferencia de 9,28 puntos, esto se debe a que el aserrín contiene más fuente de carbono que los restos de poda.
- **Relación C/N.** De acuerdo con la norma no exige un valor o un rango específico para este parámetro. No obstante, en la tabla 18 se muestra que el tratamiento con aserrín (T1) tiene una mayor relación C/N que el tratamiento con restos de poda (T2) debido a que el aserrín aporta un mayor contenido de carbono. Además se recomienda que el rango ideal de compost maduro tenga una relación C/N entre 10 y 15 a 1⁸⁷ por lo que solamente lo cumple el tratamiento 1.
- **pH.** Los tratamientos no cumplen con el límite establecido por la norma debido a la cantidad de cal agregada a las pilas, pero ambos superan el límite superior en 0,3 puntos siendo un poco cercano a la norma. Este compost obtenido es favorable su aplicación a suelos ácidos, esto es una consecuencia al continuo uso de fertilizantes que dejan residuos ácidos como por ejemplo urea, nitrato de amonio y sulfato de amonio (SAM) que transforman su nitrógeno en forma amoniacal (NH⁴⁺) en la cual se oxida nitrificando y a la vez liberando hidrogeno (H⁺) lo que acidifica al suelo⁸⁸; es por eso que la cal, óxido de calcio (CaO), actúa como correctivo para neutralizar la acidez de los suelos. En cuanto a la cantidad de cal recomendada para el proceso se sugiere una relación de 250 g por cada 63 kg de residuos⁸⁹.
- **Nitrógeno.** Es un macronutriente que constituye para la síntesis de proteínas, factor de crecimiento en las plantas generando mayor producción de frutos o flores y está relacionado con la síntesis de la clorofila en las hojas haciendo que sean

⁸⁷ MARTÍNEZ, Op. cit. p. 31.

⁸⁸ INSTITUTO COLOMBIANO Y AGROPECUARIO (ICA); MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Acondicionadores y mejoradores de suelos. p. 22

⁸⁹ NAVIA-CUETIA, Carlos Andrés; ZEMANATE-CORDOBA, Yuli; MORALES-VELASCO, Sandra; ALONSO PRADO, Fabio; ALBÁN LÓPEZ, Noé. Evaluación de diferentes formulaciones de compostaje a partir de residuos de cosecha de tomate (*solanum lycopersicum*). Universidad de Cauca, Colombia, 2013. p. 168.

verdes y grandes⁹⁰. Ambos tratamientos no cumplen con la normatividad en base húmeda, pero en base seca si tratamiento 2 tiene un valor mayor de este macronutriente, debido a que su aditivo (restos de poda) contiene una relación C/N menor en comparación lo que indica un mayor aporte de este elemento. Además, su pérdida atribuye por los lixiviados generados debido a la lluvia y viento que humedecieron las pilas y su liberación al medio en forma amoniacal.

- **Fósforo.** Es un macro elemento esencial que interviene en numerosos procesos bioquímicos a nivel celular donde contribuye en la transferencia de energía lo cual lo hace importante en el proceso de fotosíntesis de las plantas y además permite que las plantas tengan una mayor resistencia a bajas temperaturas. Los tratamientos presentan una deficiencia con respecto a la normatividad debido a que el valor mínimo corresponde a 1%, esto se debe a que este nutriente depende de variables como materia orgánica y pH dado que la primera al paso del tiempo se descompone liberando ácidos grasos que solubilizan el fósforo y el pH permite que algunos elementos como hierro (Fe) y aluminio (Al) se neutralicen generando la movilización de este elemento⁹¹. Algunas investigaciones se demuestra que el porcentaje de fósforo debe estar entre 0,1 y 1%⁹²
- **Potasio.** Este nutriente esencial cumple un rol fundamental en la activación de varias enzimas que participan en números procesos metabólicos como la fotosíntesis, síntesis de proteínas y carbohidratos⁹³. De acuerdo con la tabla 18, los tratamientos en base húmeda no cumplen con este parámetro a causa de la pérdida parcial de este componente mediante los lixiviados y además las lluvias registradas en la etapa de maduración permitieron aún más la pérdida de este elemento por lo que el potasio es soluble en el agua. Al igual que en el fósforo, hay investigaciones que discuten que el porcentaje de potasio debe estar entre 0,3 a 1%.

Una solución para las pérdidas de nutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio es agregar estiércol de animal puesto que tiene un rico contenido de estos elementos o adicionar una operación unitaria de secado para cumplir con los parámetros de la norma técnica.

⁹⁰ BARRERA, Op. Cit. p. 105

⁹¹ SANABRIA, Op. cit. p. 82.

⁹² MARTÍNEZ, Op. cit. p. 36.

⁹³ BARRERA, Op. Cit. p.500.

4. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS

En este capítulo, se determinan los requerimientos técnicos que necesita la Empresa De Acueducto, Alcantarillado Y Aseo De El Rosal S.A.E.S.P. mediante el Anexo Técnico RAS 2000 Titulo F, para implementar la planta de compostaje en el municipio, iniciando con la recolección en la fuente, pasando por un proceso de selección y trituración de los residuos, por todo el proceso de compostaje del capítulo anterior y finalmente el empaque y venta del abono obtenido.

4.1 RECOLECCIÓN EN LA FUENTE

Para la eficiencia del proceso en términos de trabajo y tiempo es importante que por parte de los habitantes del municipio se cree un compromiso de responsabilidad social, el cual consiste en separar debidamente los residuos generales de las viviendas de tal forma que se puedan aprovechar mejor, como es ejemplo de los materiales reciclables y en caso de interés para este proyecto, los residuos sólidos orgánicos.

Consecuentemente es importante, que el carro recolector y la comunidad no mezclen todos los residuos, para esto se propone, entregar por cuadra 3 colectores, uno para reciclaje (azul), otro para residuos orgánicos (verde) y el ultimo para material peligroso y sanitarios (Rojo). Aunque esto es decisión de la empresa, según su experiencia y recursos.

4.2 DIMENSIÓN DE LA PLANTA

De acuerdo con el Anexo Técnico RAS 2000 Titulo F se realiza el cálculo de requerimientos de área para la planta de compostaje:

- Material de ingreso aproximado: 8 Ton/día de recolección
- Configuración espacial: sistema de hileras
- Tipo de oxigenación: volteo mecánico
- Densidad de la prueba fisicoquímica del material inicial de 0.94 Tn/m^3
- Dimensiones de la geometría de la pila según los residuos recolectados por día: 3 m de largo y 1.2 m de ancho.
- Área transversal de la hilera: $\frac{3\text{m} * 1,2\text{m}}{2} = 1,8\text{m}^2$

- Cálculo de la unidad de compostaje Uc : Con la medida del área y el volumen de la cantidad de material a tratar, que se calcula con la cantidad de toneladas por día según el PGIRS y la densidad de los residuos se calcula así la longitud de la Uc :

$$V_{pila} = \frac{8 Tn}{0.94 \frac{Tn}{m^3}} = 8,51 m^3$$

$$Uc = \frac{V_{semana}}{Area\ trans} = \frac{8,51m^3}{1,8m^2} = 4,73m \quad (14)$$

- Número de unidades por mes: 12
- Cada Uc ocupa un área de: $3m * 4,73m = 14,19m^2$
- Entre cada pila debe existir un área de mínimo 3 m para volteos y toma de mediciones.
- El tiempo aproximado para llegar a la maduración de cada pila se estima en máximo 2 meses, según el desarrollo experimental.

- Área de las pilas en 60 días:

$$numero\ de\ pilas\ en\ 60\ dias * area\ de\ una\ pila = 24 * 14,19m^2 = 340,56m^2$$

- Área de espaciado:

$$Area_{esp} = No.\ De\ filas + 1 * espacio(m) * Longitud\ Uc = (12 + 1) * 3m * 4,73m = 184,47m^2 \quad (15)$$

Organizando las 24 pilas en 2 hileras se duplica el área de los espacios y se suman las áreas entre hileras y entre hileras y exteriores.

$$Área_{esp} = 368,94m^2 + 3 * (3m * 75m) = 1043,94m^2$$

- Área de almacenamiento: Se tiene en cuenta el área del material empacado, también el área de ubicación de los equipos como la zaranda vibratoria, balanza y almacenamiento de materias primas como cal y EM necesarios por mes.

$$Área\ alm = Area\ sacos + Area\ almacenamiento + area\ equipos = 680,625m^2 \quad (16)$$

- Área total: En esta área no se tiene encuentra áreas de servicios, ni almacenamiento de maquinaria, tampoco zonas comunes por que la empresa ya cuenta con estos espacios.

$$Area_T = Area_{pilas} + Area_{espacios} + Area_{almacenamiento} = 2745,75 \text{ m} \quad (17)$$

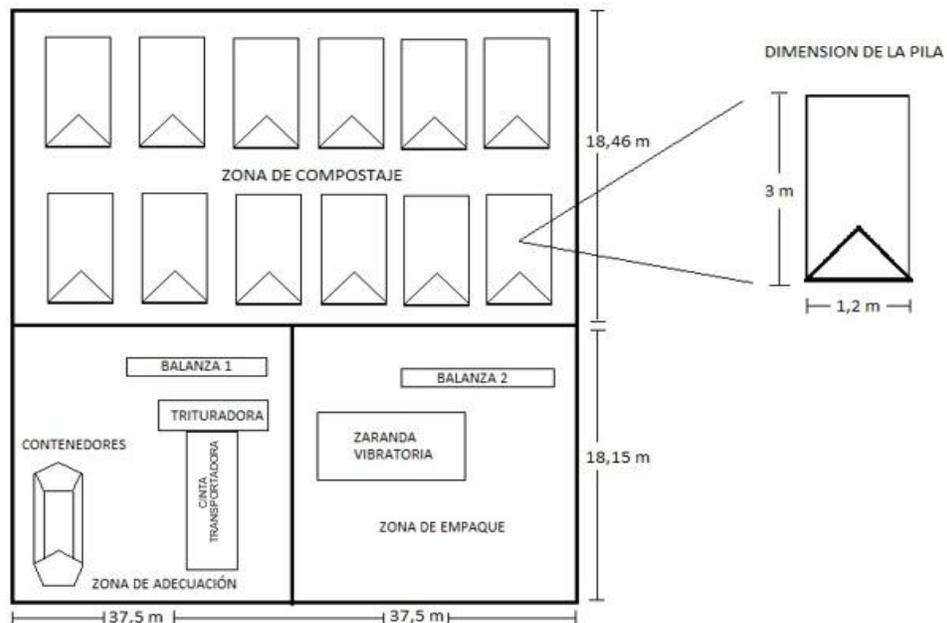
Es importante tener en cuenta que el suelo de la planta no debe dejar pasar los lixiviados al suelo para esto se requiere cementar el terreno, dejar una leve inclinación para que se escurran los lixiviados hacia un colector, que puede ser subterráneo para un tratamiento posterior. También se puede implementar colectores de aguas lluvias para mezclar con EM cuando sea necesario. En la tabla 19 se muestran las medidas de la planta de compostaje y en la figura 7 el plano de la planta de compostaje.

Tabla 19. Medidas de la planta de compostaje.

Área	Largo (m)	Ancho (m)
Compostaje	18,46	75
Recepción y adecuación	18,15	37,5
Almacenamiento y empaque	18,15	37,5

La ubicación de la planta puede ser en la vereda La Piñuela, sobre la carretera que se dirige a Subachoque, donde se realizó el proyecto en común acuerdo entre los proyectantes y el director del proyecto.

Figura 7. Dimensiones de la planta de compostaje.



4.3 RECEPCIÓN Y SEPARACIÓN DE LOS RESIDUOS

Para esta etapa inicial en la planta se requiere personal, se estima que 3 operarios podrán ocuparse de recibir el material y seleccionarlo en orgánico, reciclable y

sanitarios, peligrosos o especiales, aunque este último poco o nada se produce porque en este municipio no hay hospital, hay un centro médico el cual debe manejar sus residuos independientes del sistema de aseo municipal. Para esto el personal debe tener protección adecuada de seguridad industrial, ya que por manejo de residuos está expuesto a focos de infecciones, a insectos vectores que contagian enfermedades y epidemias y malos olores⁹⁴. La protección en seguridad industrial para manejo de residuos será similar a la que utilizan los operarios actualmente.

Para la etapa de selección, los residuos se pueden disponer en una plancha, o en banda transportadora como muestra la imagen 7, según la disponibilidad de recursos de la empresa.

Imagen 7. Banda transportadora



Fuente Inversiones Robila S.A.S.
[Consultado el 10/14/2016]. Disponible en:
<http://www.bandastransportadorasir.com/servicios.html>

Luego se pasan a una trituradora como se ve en la imagen 8, esto con el fin de disminuir tamaño de partícula y homogenizar para facilitar los volteos.

⁹⁴ UPME. MANEJO AMBIENTAL DE RESIDUOS SÓLIDOS. [Consultado el 10/25/2016]. Disponible en: http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/guias/plantas/contenid/medidas3.htm

Imagen 8. Trituradora TDV24AR de Penagos & Cia. S.A.S.



Fuente Penagos Hermanos & Cía. Ltda.
[Consultado el 11/14/2016]. Disponible
en:
<http://www.penagos.com/producto/triturador-de-desechos-vegetales-tdv-24-ar/>

De la trituradora pasan a la balanza mostrada en la imagen 9 donde se mide su peso para hacer los balances y agregar la cantidad de insumos correspondiente, entonces quedan aptos para iniciar el proceso de compostaje.

Imagen 9. Balanza



Fuente Cotización Moresco Anexo F

4.4 FORMACIÓN Y ADECUACIÓN DE LAS PILAS

Seguido de la trituración, se debe tomar análisis de relación C/N, contenido de humedad, densidad, pH, temperatura y cantidad de material. Esto con el fin de ajustar los parámetros con materiales disponibles en la empresa como pasto, aserrín, papel o cartón recogido de los materiales reciclables de acuerdo con la información del numeral 1.2.3.2 y del balance mostrado en el numeral 3.3.1. Se debe llevar planillas con información del proceso como: fecha de creación de las

pilas, aditivo utilizado, tiempos de volteos, mediciones de pH, porcentaje de humedad, temperatura interna de las pilas y temperatura ambiente.

Se debe tener en cuenta una relación de cal de 1,5 kg por cada 100 kg de residuos orgánicos y de EM puro si la pila presenta un alto contenido de humedad (mayor a 60%), pero si es lo contrario, es decir, la pila presenta un contenido de humedad por debajo de 60%, se agrega EM al 9,09% V/V (2 L de EM en 20 L de agua) respectivamente para controlar olores, insectos y acelerar el proceso. Para esta etapa se puede encargar un operario, el cual debe manejar el mini cargador como se muestra en la imagen 10 para la formación de las pilas y debe realizar la aplicación de aditivos y toma inicial de datos.

Imagen 10. Mini cargador



Fuente Cotización Maquitop S.A.S. Anexo F.

4.5 CONTROL DEL PROCESO

Se debe llevar un control, en el cual se tengan mediciones periódicas de temperatura, pH y porcentaje de humedad, y realizar volteos si es necesario para esto puede encargarse un operario. En el Anexo E se encuentra el formato de control anteriormente mencionado en el numeral 4.4. Esto para conocer la etapa en la que se encuentra el proceso y sus requerimientos, como son:

- **pH:** El pH es determinante, puede tener diferentes valores, pero al final debe tender a neutro. Para medir el pH se puede utilizar un medidor de pH de campo como se muestra en la imagen 11.

Imagen 11. pHmetro



Fuente Hanna instruments. Anexo F.

- **Humedad:** Para un óptimo proceso de degradación este porcentaje debe estar entre 40% y el 60%. Si hay humedad debajo del 40%, se debe adicionar agua o EM y homogenizar. Si la humedad está por encima del 60%, se deben realizar volteos diarios hasta que esté en el punto óptimo. En la imagen 12 se puede observar un higrómetro adecuado para esta medición.

Imagen 12. Higrómetro



Fuente Hanna instruments. Anexo F.

- **Temperatura:** Esta varía por las diferentes etapas del proceso, explicado en el numeral 1.2.1. Es indicado medirlo en tres puntos de la pila según FUNDASES y tomar el promedio aritmético para el registro. Se debe utilizar un termómetro o termocupla para campo que sea rígida para llegar al centro de la pila sin problema, también debe aceptar humedad y material orgánico en el capilar. Se puede utilizar una termocupla como se muestra en la imagen 13.

Imagen 13. Termocupla



Fuente Hanna instruments. Anexo F.

El compost se obtiene cuando el proceso llegue a la temperatura ambiente evidenciando su alcance a la etapa de madurez.

4.6 ADECUACIÓN Y EMPAQUE DEL ABONO OBTENIDO

El abono debe pasar por un tamiz o zaranda vibratoria mostrada en la figura 8, el cual filtre todo el material grueso e impurezas.

Figura 8. Zaranda vibratoria.



Fuente:http://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-429128456-zaranda-clasificadora-2-y-3-niveles-_JM

Luego debe ser empacado en sacos de polipropileno de 50 kg medidos en báscula, y sellarlos con cosedora de sacos de polipropileno como se puede observar en la imagen 14.

Imagen 14. Sacos de polipropileno y cosedora.



Fuente Aníbal Rojas LTDA.

<http://anibalrojasltda.com/catalogo/empaque/1-ejemplo.html>

5. EVALUACIÓN FINANCIERA

Este capítulo se realiza con el fin de estudiar la viabilidad y rentabilidad, los costos e ingresos necesarios para la realización del proyecto. Se realiza un flujo de caja global, con el objetivo de utilizar los indicadores financieros de valor presente neto (VPN) y la tasa interna de retorno (TIR).

Inicialmente es necesario tener en cuenta que la empresa ya cuenta con terreno propio para la realización del proyecto, por lo que el costo de inversión inicial se reduce a adecuación del terreno, mano de obra, capital de trabajo y equipos.

Seguido de los costos variables que son las materias primas necesarias para el proceso y costos fijos que se relacionan con los salarios de los operarios, servicios públicos e impuestos que según la ley tributaria colombiana no aplican para este caso por ser una empresa pública.

5.1 INVERSIÓN

Las inversiones iniciales que se tienen en cuenta son: la adecuación del terreno, mano de obra, capital de trabajo y equipos contando con la depreciación respectiva.

5.1.1 Costos de adecuación del terreno. Para el compostaje de debe proteger el suelo y por esto es necesario cementarlo y dejarlo con una leve inclinación. Se debe implementar instalaciones eléctricas por las maquinas a utilizar y adicionalmente techar y cubrir con malla para evitar exceso de humedad y animales que desarmen las pilas respectivamente.

Tabla 20. Adecuación del terreno

Tipo de adecuación	Área (m²)	Costo (\$/m)	Total
Cementación área total	2.746	30.000	82.380.000
Techado área total	2.800	423	1.184.929
Mallado	450	6.000	2.700.000
Adecuación eléctrica	1.361,25	3.000	4.083.750
Mano de obra	2.746	25.000	68.650.000
		Total	158.998.679

5.1.2 Inversión en equipos. Se tiene en cuenta los principales equipos que hacen funcionar la planta adecuadamente como son:

Tabla 21. Equipos y maquinaria necesaria

Equipo	Cantidad	Costo (\$)	Total (\$)
Cinta transportadora	1	15.255.000	15.255.000
Trituradora	1	13.550.000	13.550.000
Mini cargador	1	40.000.000	40.000.000
pH metro	1	1.263.990	1.263.990
Termómetro	1	481.990	481.990
Higrómetro	1	664.990	664.990
Zaranda vibratoria	1	9.000.000	9.000.000
Bascula	2	2.668.000	5.336.000
Cosedora de sacos	1	508.000	508.000
		Total	86.059.970

5.1.3 Capital de trabajo. El capital de trabajo es el costo necesario para que la planta opere en condiciones normales por un mes. Este es de \$1.540.141.

En síntesis, el total de la inversión para la planta de compostaje es la suma los costos de la adecuación del terreno, los costos de equipos y el capital de trabajo dando un total de \$256.508.790.

5.2 EGRESOS

Los costos de egresos son la salida de los recursos financieros, para este caso se involucran costos directos como los insumos, mano de obra y costos de análisis de las muestras; y costos indirectos como los servicios industriales, depreciación de equipos y mantenimiento. En este caso, la materia prima no se considera como un egreso dado que son residuos sólidos orgánicos generados del propio municipio por lo tanto no tiene ningún costo para la empresa.

5.2.1 Insumos. Los insumos como aditivos para conformar las pilas son EM, Cal, Aserrín, sacos para empaque del producto y restos de poda, aunque este último no tiene costo puesto que es proveniente de la poda municipal. A continuación, se muestra los costos de los insumos para el año 2016:

Tabla 22. Costo de aditivos para el año 2016

Insumo	Cantidad	Costo (\$)
EM	1 gal	15000
Cal	1 kg	1000
Aserrín	1 Kg	60

Se proyectan los insumos para los próximos 5 años así:

Tabla 23. Proyección de insumos

Insumo	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
EM(\$/gal)	22.857.000	23.748.423	24.484.624	25.366.071	26.228.517	27.015.372
Cal(\$/kg)	22.857	23.748	24.485	25.366	26.229	27.015
Aserrín (\$/kg)	1.829	1.900	1.959	2.029	2.098	2.161
Total (\$)	22.881.686	23.774.071	24.511.068	25.393.466	26.256.844	27.044.549

5.2.2 Mano de obra. Para la producción de abono orgánico se necesitan 3 operarios para la separación de los residuos que entran a la planta y para el pesaje y empaque del producto final, 2 operarios que manejen los mini cargadores, el control de insumos y el control de los parámetros que afectan al proceso y por ultimo un ingeniero quien supervisa el proceso de la planta de compostaje; dando un total de 6 empleados. Cada operario tendrá un sueldo de 1 SMMLV que equivale a \$689.454, con auxilio de transporte de \$77.700 y todas las prestaciones de ley como son: Pensión 12%, salud 8.5%, cesantías 8.33%, intereses a las cesantías 1%, vacaciones 4.17% y prima de servicios 8.33%⁹⁵. La mano de obra proyectada a 5 años, con una proyección del grupo Bancolombia⁹⁶, para el IPC (2017=3,9%; 2018=3,1%; 2019=3,6%; 2020=3,4; 2021=3%) se estima la mano de obra para los próximos años:

Tabla 24. Costos mano de obra primer año

Cargo	Salario (\$/mes)	Cantidad	Prestaciones sociales (\$/mes)	Subsidio de transporte (\$/mes)	Costo operario (\$/mes)	Costo total operarios (\$/mes)	Costo total (\$/año)
Operarios	716.343	5	296.781	80.730	1.093.854	5.469.269	65.631.227
Ingeniero	2.078.000	1	860.915	80.730	3.019.646	3.019.646	36.235.748
Total	2.794.343	6	1.157.696	161.461	4.113.499	8.488.915	101.866.976

Tabla 25. Costos mano de obra segundo año

Cargo	Salario (\$/mes)	Cantidad	Prestaciones sociales (\$/mes)	Subsidio de transporte (\$/mes)	Costo operario (\$/mes)	Costo total operarios (\$/mes)	Costo total (\$/año)
Operarios	738.549	5	305.981	83.233	1.127.763	5.638.816	67.665.795
Ingeniero	2.142.418	1	887.604	83.233	3.113.255	3.113.255	37.359.057
Total	2.880.967	6	1.193.585	166.466	4.241.018	8.752.071	105.024.852

⁹⁵ Código sustantivo del trabajo. Diario Oficial: Bogotá D.C. 2016.

⁹⁶ GRUPO BANCOLOMBIA. Tabla de macroeconómicos proyectados. 2016. p. 1.

Tabla 26. Costos mano de obra tercer año.

Cargo	Salario (\$/mes)	Cantidad	Prestaciones sociales (\$/mes)	Subsidio de transporte (\$/mes)	Costo operario (\$/mes)	Costo total operarios (\$/mes)	Costo total (\$/año)
Operarios	765.137	5	316.996	86.229	1.168.363	5.841.814	70.101.764
Ingeniero	2.219.545	1	919.558	86.229	3.225.332	3.225.332	38.703.983
Total	2.984.682	6	1.236.554	172.459	4.393.695	9.067.146	108.805.747

Tabla 27. Costos mano de obra cuarto año

Cargo	Salario (\$/mes)	Cantidad	Prestaciones sociales (\$/mes)	Subsidio de transporte (\$/mes)	Costo operario (\$/mes)	Costo total operarios (\$/mes)	Costo total (\$/año)
Operarios	791.152	5	327.774	89.161	1.208.087	6.040.435	72.485.224
Ingeniero	2.295.010	1	950.822	89.161	3.334.993	3.334.993	40.019.918
Total	3.086.161	6	1.278.597	178.322	4.543.080	9.375.429	112.505.142

Tabla 28. Costos mano de obra quinto año

Cargo	Salario (\$/mes)	Cantidad	Prestaciones sociales (\$/mes)	Subsidio de transporte (\$/mes)	Costo operario (\$/mes)	Costo total operarios (\$/mes)	Costo total (\$/año)
Operarios	814.886	5	337.607	91.836	1.244.330	6.221.648	74.659.781
Ingeniero	2.363.860	1	979.347	91.836	3.435.043	3.435.043	41.220.516
Total	3.178.746	6	1.316.955	183.672	4.679.373	9.656.691	115.880.296

5.2.3 Depreciación. Los bienes materiales tienen una vida útil y su desgaste implica un devalúo anual. Esto está reglamentado por el decreto 3019 de 1989 el cual cita una vida útil de 10 años, como se muestra en la tabla 29:

Tabla 29. Depreciación de equipos y terreno.

Periodo (Año)	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Equipos	\$ 8.605.997	\$ 8.605.997	\$ 8.605.997	\$ 8.605.997	\$ 8.605.997
Terreno	\$ 15.899.868	\$ 15.899.868	\$ 15.899.868	\$ 15.899.868	\$ 15.899.868
Depreciación	\$ 24.505.865	\$ 24.505.865	\$ 24.505.865	\$ 24.505.865	\$ 24.505.865
Depreciación acumulada	\$ 24.505.865	\$ 49.011.730	\$ 73.517.595	\$ 98.023.460	\$ 122.529.325

5.2.4 Costos de servicios industriales. Los costos servicios industriales para la planta de compostaje son la energía requerida para la trituradora y banda transportadora y el combustible diésel para los mini cargadores. Para determinar estos costos se tiene en cuenta el costo de la energía en el municipio El Rosal, el

costo por galón de diesel y el consumo energético de estos equipos siendo para la trituradora de 15 HP, la banda transportadora de 1 HP y el mini cargadores con un rendimiento de 1 gal/h. El tiempo de operación para las dos primeras es de 36 h/mes y para los mini cargadores es de 45 h/mes. En la tabla 30 se considera la energía y el combustible necesarios para el funcionamiento de la banda transportadora, la trituradora, los mini cargadores y basculas.

Tabla 30. Costos de servicios industriales

Equipo	Consumo promedio mensual (\$/kWh o gal)	Costo mensual (\$/kWh o gal)	Costo anual (\$/kWh o gal)
Banda transportadora	26,845	235,772	75.952
Triturador	402,678		1.139.282
Mini cargador	45	6930,000	3.742.200
		Total	4.957.435

5.2.5 Costos de mantenimiento de equipos. Aunque todos los equipos son nuevos y no presentaran fallas en aproximadamente los primeros 2 años, el costo de mantenimiento se estima de \$2.000.000 y su respectivo aumento anual según el IPC, se muestra en la tabla 31.

Tabla 31. Costos de mantenimiento.

Periodo (Año)	1	2	3	4	5
Mantenimiento	\$2.078.000	\$2.142.418	\$2.219.545	\$2.295.010	\$2.363.860

5.2.6 Costos de producto. Se tienen en cuenta los análisis de laboratorios necesarios y el costo del empaque del producto final para que sea llevado adecuadamente al consumidor como se puede observar a continuación:

Tabla 32. Costos del producto.

Ítem	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo total anual (\$)
Saco de polipropileno de 50 kg	6425	688	4.420.645
Laboratorios	20	140.000	2.800.000
		Total	7.220.645

5.3 INGRESOS

Los ingresos son entradas de dinero o ganancias económicas, para este caso se involucra la venta del abono orgánico que se determina teniendo en cuenta el rendimiento promedio de los dos tratamientos (23%), la generación proyecta de residuos sólidos según el PGIRS y el precio actual del abono orgánico distribuidos en sacos de polipropileno de 50 kg siendo un valor de \$30.000. En la tabla 33 se muestra los ingresos de la planta de compostaje a 5 años.

Tabla 33. Ingresos de la planta.

Periodo (Año)	1	2	3	4	5
Cantidad de residuos orgánicos (Ton)	1.523,80	1.624,31	1.731,46	1.845,78	1.967,82
Cantidad de abono orgánico (Ton)	335,24	357,35	380,92	406,07	432,92
Bultos generados	6.425,36	7.146,96	7.618,42	8.121,43	8.658,41
Venta por unidad (\$)	31.170	32.136	33.293	34.425	35.458
Total (\$)	200.278.36	\$229.676.76	253.641.52	279.581.46	307.008.94
	7	5	9	4	8

5.4 FLUJO DE CAJA NETO

En el flujo de caja es uno de los componentes más importante de un proyecto en la cual evalúa la viabilidad y rentabilidad de la ejecución del proyecto. Para el desarrollo de este se tiene en cuenta los ingresos como la venta del producto final (abono orgánico), la inversión y los egresos como los costos de insumos, producto, servicios industriales, mantenimiento y mano de obra que tendría la planta, teniendo en cuenta el impuesto de renta (33%)⁹⁷ como se observa en la tabla 34.

5.5 INDICADORES

Con el fin de determinar la viabilidad del proyecto se tiene en cuenta los indicadores de valor presente neto (VPN) y la tasa de interna de retorno (TIR) como criterios para la selección de proyectos.

⁹⁷ COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA Ley 1739 (23, diciembre, 2004) Por medio de la cual se modifica el Estatuto Tributario. Bogotá D.C., 2014.

5.5.1 Valor Presente Neto (Vpn). El valor presente neto (VPN) es el método más utilizado y difundido para evaluar un proyecto de inversión y se determina estimando una tasa interna de oportunidad (7,11%)⁹⁸ con la siguiente ecuación:

$$VPN = -I_0 + \frac{FCN_1 \text{ año}}{(1+k)^1} + \frac{FCN_2 \text{ año}}{(1+k)^2} + \frac{FCN_3 \text{ año}}{(1+k)^3} + \frac{FCN_4 \text{ año}}{(1+k)^5} + \frac{FCN_5 \text{ año}}{(1+k)^5} \quad (18)$$

Donde

Io: Inversión inicial

FCN: Flujo de caja neto

K: Tasa interna de oportunidad (TIO).

$$VPN = -\$256.508.790 + \frac{\$48.429.154}{(1 + 7,11\%)^1} + \frac{\$64.887.496}{(1 + 7,11\%)^2} + \frac{\$77.361.573}{(1 + 7,11\%)^3} + \frac{\$91.104.865}{(1 + 7,11\%)^5} + \frac{\$106.087.439}{(1 + 7,11\%)^5}$$

$$VPN = \$52.717.895$$

5.5.2 Tasa Interna De Retorno (TIR). La TIR es la tasa de descuento que hace que el valor de presente neta sea igual a cero. En otras palabras, se determina con la siguiente ecuación, donde es un proceso iterativo para calcular dicha tasa:

$$0 = -I_0 + \frac{FCN_1 \text{ año}}{(1+k)^1} + \frac{FCN_2 \text{ año}}{(1+k)^2} + \frac{FCN_3 \text{ año}}{(1+k)^3} + \frac{FCN_4 \text{ año}}{(1+k)^5} + \frac{FCN_5 \text{ año}}{(1+k)^5} \quad (19)$$

Donde

Io: Inversión inicial

FCN: Flujo de caja neto

K: Tasa interna de retorno (TIR)

Para el proyecto se obtiene una TIR de 13,60% De acuerdo con el resultado anterior se determina el margen de rentabilidad siendo esta la diferencia entre la TIR y TIO como se muestra a continuación:

$$\text{Margen de rentabilidad} = TIR - TIO = 13,60\% - 7,11\% = 6,49\% \quad (20)$$

De acuerdo con la tabla 34, el periodo de recuperación de la inversión del proyecto es en 4 años.

⁹⁸ BANCO DE LA REPUBLICA. Tasas de captación 2016.

Tabla 34. Flujo de caja

Periodo (año)	0	1	2	3	4	5
Ingresos						
Total Ingresos		\$ 200.278.367	\$ 229.676.765	\$ 253.641.529	\$ 279.581.464	\$ 307.008.948
Egresos						
Insumo		\$ 22.881.686	\$ 23.774.071	\$ 24.511.068	\$ 25.393.466	\$ 26.256.844
Mano de obra		\$ 101.866.976	\$ 105.024.852	\$ 108.805.747	\$ 112.505.142	\$ 115.880.296
Servicios industriales		\$ 5.150.774	\$ 5.310.448	\$ 5.501.625	\$ 5.688.680	\$ 5.859.340
Mantenimiento		\$ 2.078.000	\$ 2.142.418	\$ 2.219.545	\$ 2.295.010	\$ 2.363.860
Producto		\$ 7.502.251	\$ 7.734.820	\$ 8.013.274	\$ 8.285.725	\$ 8.534.297
Total Egresos		\$ 139.479.686	\$ 143.986.610	\$ 149.051.258	\$ 154.168.023	\$ 158.894.637
Inversión (-)	\$ 256.508.790					
Depreciación (-)		\$ 24.505.865	\$ 24.505.865	\$ 24.505.865	\$ 24.505.865	\$ 24.505.865
Utilidades		\$ 36.292.816	\$ 61.184.290	\$ 80.084.406	\$ 100.907.576	\$ 123.608.446
Impuesto de renta		\$ 12.339.557	\$ 20.802.659	\$ 27.228.698	\$ 34.308.576	\$ 42.026.872
Utilidades después de impuesto		\$ 23.953.259	\$ 40.381.631	\$ 52.855.708	\$ 66.599.000	\$ 81.581.574
Depreciación		\$ 24.505.865	\$ 24.505.865	\$ 24.505.865	\$ 24.505.865	\$ 24.505.865
Flujo de caja neto	-\$ 256.508.790	\$ 48.459.124	\$ 64.887.496	\$ 77.361.573	\$ 91.104.865	\$ 106.087.439

6. CONCLUSIONES

- Los residuos sólidos orgánicos generados en el municipio de El Rosal, Cundinamarca representan el 62% del total de residuos con una producción 117,49 Ton al mes. Estos tienen una humedad del 80,25%, una relación C/N de 17,71 y un pH de 6. Debido a la extensión del municipio y por la carencia de predicción en el resultado de la muestra, se elige la técnica de muestreo por conglomerado geográfico aleatorio.
- En el desarrollo experimental es necesario ajustar la relación C/N a 25 para el tratamiento con aserrín y a 20 para el tratamiento con restos de poda municipal debido a que éste último tiene una relación C/N muy baja (44) comparada con el aserrín (400) necesitando más cantidad de este y no siendo viable para el municipio.
- Se estima que los tratamientos cumplen con los requerimientos microbiológico debido a que superan las temperaturas y tiempos requeridos para la eliminar los microorganismos patógenos que afectan el producto final. Los tratamientos no cumplen con el parámetro de la humedad de acuerdo a lo estipulado en la norma técnica Colombia NTC 5167 debido a las lluvias presentadas durante la etapa de maduración, con respecto a la densidad y relación C/N se cumple en el tratamiento 1, esto se debe por el tamaño del aserrín y su relación C/N lo que aporta una menor densidad ($0,62 \text{ g/cm}^3$) y mayor cantidad de carbono (400). A pesar de que no se cumple el pH con respecto a la normatividad, los abonos obtenidos son aptos para el acondicionamiento y mejoramiento de los suelos ácidos.
- Se realizó los requerimientos técnicos basado en la información suministrada por el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos como la cantidad generada de residuos orgánicos por día de recolección y por el Anexo Técnico RAS 2000 (Titulo F) del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio como el cálculo de la unidad de compostaje diaria y el área total de la planta de compostaje.
- La inversión total del proyecto es de \$256.508.790. De acuerdo con la evaluación financiera, se concluye que el proyecto es viable porque el VPN es mayor a cero y además la tasa retorno es mayor a la tasa interna de oportunidad en 6,49%, lo que indica que la propuesta permite obtener una ganancia adicional igual al valor del VPN. El retorno de la inversión se dará en 4 años, pero prima el interés social del proyecto dado que se desarrollará por una entidad del estado.

7. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un estudio para el tratamiento de los lixiviados producidos en el proceso.
- Realizar un control riguroso de los parámetros que influyen en el proceso cada durante la fase mesófila y termófila y cada 3 días en las fases de enfriamiento y maduración.
- Para la medición de humedad y pH se debe utilizar una medición por gravimetría y con un pHmetro respectivamente.
- Se recomienda realizar un análisis microbiológico y granulométrico al final del proceso para garantizar la inexistencia de microorganismos patógenos que afecte la calidad del abono y un tamaño adecuado para la aplicación para en los cultivos.
- Evaluar la proporción de cal agregada a los residuos orgánicos, al igual la cantidad necesaria de estiércol que aumente el contenido de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio.

BIBLIOGRAFÍA

BANCO DE LA REPUBLICA. BANCO CENTRAL DE COLOMBIA. 10/2016. [Consultado el 5/11/2016]. Disponible en: <http://www.banrep.gov.co/es/ipc>

BANCO DE LA REPUBLICA. Tasas de captación 2016.

BARRERA STERLING, Lina Paola. Estandarización del proceso de compostaje en la obtención de abono orgánico a partir de residuos sólidos orgánicos generado en el municipio de Sibaté. Universidad de América. Bogotá, 2010.

BEJARANO BEJARANO, Eugenia Pilar y DELGADILLO ACOSTA, Sandra Mónica. Evaluación de un tratamiento para la producción de compost a partir de residuos orgánicos provenientes del rancho de comidas del establecimiento carcelario de Bogotá "la modelo" por medio de la utilización de microorganismos eficientes (EM). Trabajo de grado Ingeniero Ambiental y sanitario. Bogotá D.C.: Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria, 2007.

BONGCAM VASQUEZ, Elkin. Guía para compostaje y manejo de suelos. Convenio Andrés Bello, Bogotá, 2003.

CAMPITELLI, Paola, et al. Compostaje. Obtención de abonos de calidad para plantas. Argentina. Editorial Brujas, 2014.

CASTELLS, Xavier Elías; CAMPOS, Elena y FLOTATS, Xavier. PROCESOS BIOLÓGICOS: la digestión anaerobia y el compostaje. En: Compostaje. Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2012.

Código sustantivo del trabajo. Diario Oficial: Bogotá D.C. 2016.

COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPUBLICA Ley 1739 (23, diciembre, 2004) Por medio de la cual se modifica el Estatuto Tributario. Bogotá D.C., 2014.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Decreto 1713 (6, octubre, 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. Bogotá D.C.: El Ministerio, 2002.

FUNDADES, Fundación de asesorías para el sector rural. Bogotá, Colombia

GIACOMAN VALLEJOS, Germán y QUINTAL FRNACO, Carlos Alberto. Influencia del cambio en el potencial de hidrógeno (pH) en la disminución de contaminantes y metales pesados del lixiviado de un relleno sanitario. Uruguay. 2006

GREZ, Renato; GERDING, Víctor. Aplicación de aserrín de la industria forestal para el mejoramiento del suelo. Universidad austral de Chile facultad de ciencias forestales. Vol 16 no 1, 1995.

GRUPO BANCOLOMBIA. Tabla de macroeconómicos proyectados. 2016.

GOBERNACIÓN DE CUNDINAMARCA. Secretaria de planeación. [Consultado el 10/19/2016]. Disponible en: http://mapas.cundinamarca.gov.co/flexviewers/20140808_Municipios/
GRUPO BANCOLOMBIA. Tabla de macroeconómicos proyectados. 2016.

INSTITUTO COLOMBIANO Y AGROPECUARIO (ICA); MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Acondicionadores y mejoradores de suelos.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN (ICONTEC). Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. Norma técnica colombiana 4490. Bogotá, 1998.

_____ Productos para la industria agrícola, productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y acondicionadores del suelo. Norma técnica colombiana 5167 Bogotá, 2004.

_____ Documentación, Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. Norma técnica colombiana 1486. Bogotá, 2008.

_____ Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. Norma técnica colombiana 5613. Bogotá, 2008.

JARAMILLO, Jorge. Guía para el diseño, construcción y operación de rellenos sanitarios manuales. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Lima, Perú, 2002.

LUNA, Luz Alba; VILLAMIZAR, Jaime. Compostaje solarizado. Bogotá, D.C. Centro de investigación "El Arsenal" CORPOICA – COLCIENCIAS, 2004.

MARTÍNEZ, María M.; PANTOJA y ROMÁN, Pilar. Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Santiago de Chile, 2013.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico (RAS): Título F. Sistema de aseo urbano. Bogotá D.C., Colombia, 2012.

MORENO, Joaquín; MORAL, Raúl. Compostaje. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2007.

NAVIA-CUETIA, Carlos Andrés; ZEMANATE-CORDOBA, Yuli; MORALES-VELASCO, Sandra; ALONSO PRADO, Fabio; ALBÁN LÓPEZ, Noé. Evaluación de diferentes formulaciones de compostaje a partir de residuos de cosecha de tomate (*solanum lycopersicum*). Universidad de Cauca, Colombia, 2013.

OFICINA DE PLANEAMIENTO Y PRESUPUESTO, UNIDAD DE DESARROLLO MUNICIPAL. Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos.

OIRSA. Manual producción de sustratos para viveros. OIRSA, 2005. ISBN versión digital: 1-4135-968-1-9.

Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del municipio El Rosal, Cundinamarca, 2014.

RIVERA, Jesús. Evaluación de microorganismos eficaces en procesos de compostaje de residuos de maleza. Universidad Cesar Vallejo. Lima, Perú. 2011

SANABRIA ORTIZ, Natalia y SEGURA AMADOR, Yessica Andrea. Propuesta de producción de abono orgánico mediante un proceso de compostaje con los residuos sólidos orgánicos del municipio de Silvania. Universidad de América. Bogotá, 2010.

SILLERO MORENO, Francisco. Tratamiento de residuos urbanos o municipales. Ic Editorial: España, 2012.

Sitio Oficial De El Rosal En Cundinamarca, Colombia. 05/07/2016. [Consultado el 10/19/2016]. Disponible en: http://www.elrosal-cundinamarca.gov.co/informacion_general.shtml

TCHOBANOGLIOUS, George; THEISEN, Hilary y VIGIL, Samuel. Gestión integral de residuos sólidos. Editorial: McGraw Hill, Volumen I y II, España, 1994.

Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Lección 10. Método Para La Caracterización. [Consultado el 10/13/2016]. Disponible en: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358012/ContLin/leccin_10_mtodo_para_la_caracterizacin.html

ANEXO A VOLANTE Y FOLLETOS UTILIZADOS EN LA SOCIALIZACIÓN



¡SEPARAR ES DE SABIOS!

SANITARIOS

Papel y toallas higiénicas
Excretas de mascotas
Servilletas con residuos corporales
Cabello, agujas, residuos de barrido
Grasa y Aceites
Pilas, gasas, vendas, cuchillas de afeitar
Frascos de Químicos, pintura
Bombillos, retazos de tela, cajas de cigarrillos
Envolturas de Golosinas(papas, chitos, galletas etc.
Vidrios (espejos rotos, refractarias, etc.)
Papel (carbon, metalizado)
Algodón
Esteros, tinta



SEPARABLES

Cartón, papel, plásticos.
Metales, latas y vidrios no contaminados.
Envases de gaseosas, jugos, leche debidamente escurridos y juagados.
Icopor limpio, cobre, tetra pack, acetatos, textiles.
Periodicos, revistas, sobres, folletos.
Cajas de: Cereal, Crema dental, medicamentos, chicles
*Deben estar en lo posible lisos limpios libres de contaminantes. (Líquidos, Grasas y alimentos)
Papeles sin ganchos de cosedora



ORGÁNICOS

Desechos Vegetales y de comida
Cascara de Huevo y frutas
Residuos de poda y jardinería
Bolsitas de azúcar, servilletas
Papel y cartón con comida.



Encuesta para la separación de residuos sólidos en viviendas del municipio de El Rosal

Fecha					
Nombre del encuestador					
Nombre del encuestado					
Dirección				Barrio	
Familia (Apellidos)				Estrato	
No. De personas en la vivienda			Mascotas	Si	No
Vivienda propia	Si	No	Antigüedad		
Separa basura actualmente	Si	No	Esta dispuesto a separar?	Si	No
No. De bolsas que saca cuando pasa a la basura					
Día(s) y jornada(s) en el que se encuentra la mayor parte de los habitantes					
Generalmente, que comida del día preparan en la casa			Desayuno	Almuerzo	Comida
Con que frecuencia mensual sale a comer en restaurantes y/o cafeterías			Nunca	4 veces o menos	mas de 4 veces
Sugiere alguna recomendación para la empresa de aseo?					

ANEXO B RESULTADOS DE LA CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DE LOS RESIDUOS SOLIDOS ORGANICOS



FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO
CENTRO DE BIO-SISTEMAS
Autopista Norte Km10 Vía Bogotá -Briceño Chia (Cundinamarca)
Teléfono 2427030 Ext 2430/2431

LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS
ANÁLISIS MATERIALES ORGÁNICOS

ORDEN DE TRABAJO No. 000918	FECHA SOLICITUD : 27-jul-16	FECHA IMPRESIÓN : 09-ago-16
-----------------------------	-----------------------------	-----------------------------

Ciente Nombre: CRISTHIAN FELIPE NINCO CARDOZO Dirección: CR 119 80-22 Municipio: BOGOTA Teléfono: 3178890819 Fax: E-Mail: pipeninco@hotmail.com	Finca Nombre: EL SALITRE Municipio: EL ROSAL Departamento: CUNDINAMARCA <hr/> Solicitante: CRISTHIAN FELIPE NINCO CARDOZO <hr/> Material: No Especificado <hr/> Identificación: RESIDUOS SOLIDO ORGANICOS
No. Muestra: 47	

Variable	Unidades	Base Húmeda	Base Seca	Óptimos Base Seca	kg/Ton Base Húmeda
Porcentaje de Humedad	%	80.25			
Densidad Aparente	g/cm ³	0.94			
Carbono Orgánico	%	7.69	38.95		
Materia Orgánica	%	16.69	84.53		
Cenizas	%		15.47		
Relación Carbono:Nitrógeno	p/p	17.71	17.71		
pH (Reacción de Acidez):	-logH+	6.00			
Conductividad Eléctrica	dS/m	12.17			
Nitrógeno Total (N):	%	0.43	2.20		4.3
Fósforo (P):	%	0.12	0.60		1.2
Potasio (K):	%	0.28	1.40		2.8
Calcio (Ca):	%	0.51	2.60		5.1
Magnesio (Mg):	%	0.03	0.17		0.3
Sodio (Na):	%	0.056	0.286		0.6

Metodología:
N según Kjeldahl, P por colorimetría, K, Ca, Mg, Na por absorción atómica. Carbono orgánico por calcinación. pH y C.E. en extracto de saturación. % de elementos mayores en relación peso a peso.

Quim. Adriana Mireya Zamudio S.
Jefe Laboratorio de Suelos y Aguas

www.utadeo.edu.co
NIT. 860.006.838-6
Persona Jurídica
No. 2613/1999 Minjusticia

Sede Chia
Autop. Norte Km. 10 vía Bogotá-Briceño
PBX 2427030/2430/2431
centro.biosistemas@utadeo.edu.co
Chia - Colombia

ANEXO C

DATOS REGISTRADOS

TRATAMIENTO 1 (ASERRÍN)

E: Ensayo

Día			Hora	Fecha	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Interna (°C)			Humedad (%)			pH			Volteo		
E1	E2	E3				E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
0	-	-	7:00 PM	10 de septiembre 2016	19	26	-	-	80	-	-	11	-	-	No	-	-
3	-	-	7:15 PM	13 de septiembre 2016	20	32	-	-	70	-	-	11	-	-	Si	-	-
5	-	-	7:00 PM	15 de septiembre 2016	19	34	-	-	70	-	-	11	-	-	No	-	-
7	0	-	8:00 PM	17 de septiembre 2016	18	34	23	-	60	70	-	11	11	-	Si	No	-
10	3	-	7:20 PM	20 de septiembre 2016	19	38	30	-	60	70	-	11	11	-	No	Si	-
12	5	-	7:30 PM	22 de septiembre 2016	20	40,67	43,67	-	60	60	-	11	11	-	Si	No	-
14	7	0	6:00 PM	24 de septiembre 2016	19	40,67	43,67	25	55	60	70	10	11	11	No	Si	No
17	10	3	4:15 PM	27 de septiembre 2016	19	42,67	45,67	32	55	60	70	10	11	11	Si	No	Si
20	13	6	8:00 AM	30 de septiembre 2016	22	56,33	56,33	39,67	50	55	60	10	11	11	No	No	No
24	17	10	3:40 PM	4 de octubre 2016	21	44	47,33	43	50	55	60	10	10	11	No	Si	Si
27	20	13	11:40 AM	7 de octubre 2016	18	43	42	62	40	55	55	10	10	11	No	No	No
31	24	17	12:00 PM	11 de octubre 2016	19	27,33	37,33	38,67	80	50	55	11	10	10	Si	No	Si
34	27	20	1:00 PM	14 de octubre 2016	20	24	29,67	35,67	60	50	50	11	10	10	No	No	No
38	31	24	11:15 AM	18 de octubre 2016	16	24	22	27,33	60	45	50	11	10	10	Si	Si	No
41	34	27	3:00 PM	21 de octubre 2016	20	23,67	23	26,33	50	45	55	10	10	10	No	No	No
45	38	31	1:00 PM	25 de octubre 2016	19	21,33	22,67	26,33	45	45	55	10	10	10	No	No	Si
48	41	34	12:10 PM	28 de octubre 2016	18	20	20,33	25,33	55	40	50	10	10	10	Si	No	No
52	45	38	3:30 PM	1 de noviembre 2016	19	18	20	23,33	50	40	50	10	10	10	No	No	No
-	48	41	9:00 AM	4 de noviembre 2016	18	-	19,33	22,67	-	40	45	-	10	10	-	No	Si
-	52	45	9:15 AM	8 de noviembre 2016	19	-	19	20,33	-	35	45	-	10	10	-	No	No
-	-	48	10:00 AM	11 de noviembre 2016	21	-	-	19,33	-	-	40	-	-	10	-	-	No
-	-	52	11:00 AM	15 de noviembre 2016	19	-	-	18,33	-	-	40	-	-	10	-	-	Si

TRATAMIENTO 2 (RESTOS DE PODA)

E: Ensayo

Día			Hora	Fecha	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Interna (°C)			Humedad (%)			pH			Volteo		
E1	E2	E3				E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3	E1	E2	E3
0	-	-	7:00 PM	10 de septiembre 2016	19	24	-	-	80	-	-	11	-	No	-	-	
3	-	-	7:15 PM	13 de septiembre 2016	20	31	-	-	70	-	-	11	-	Si	-	-	
5	-	-	7:00 PM	15 de septiembre 2016	19	36	-	-	70	-	-	11	-	No	-	-	
7	0	-	8:00 PM	17 de septiembre 2016	18	36	22	-	70	70	-	11	11	-	Si	No	-
10	3	-	7:20 PM	20 de septiembre 2016	19	44,67	35	-	60	70	-	11	11	-	No	Si	-
12	5	-	7:30 PM	22 de septiembre 2016	20	48,33	43,33	-	60	60	-	11	11	-	Si	No	-
14	7	0	6:00 PM	24 de septiembre 2016	19	46,33	52	26	60	60	70	11	11	11	No	Si	No
17	10	3	4:15 PM	27 de septiembre 2016	19	52	48	32,67	55	60	70	11	11	11	Si	No	Si
20	13	6	8:00 AM	30 de septiembre 2016	22	58,33	46,67	44,67	55	55	60	10	10	11	No	No	No
24	17	10	3:40 PM	4 de octubre 2016	21	46,33	44	62,33	50	55	60	10	10	11	No	Si	Si
27	20	13	11:40 AM	7 de octubre 2016	18	32,33	43,33	51,33	50	55	60	10	10	11	Si	No	No
31	24	17	12:00 PM	11 de octubre 2016	19	34,67	33	48,33	50	50	55	10	10	10	No	No	Si
34	27	20	1:00 PM	14 de octubre 2016	20	29	29,67	35	45	50	55	10	10	10	No	No	No
38	31	24	11:15 AM	18 de octubre 2016	16	23,67	23,33	34	45	45	60	10	10	11	Si	Si	Si
41	34	27	3:00 PM	21 de octubre 2016	20	21,33	22	29,33	40	45	55	10	10	11	No	No	No
45	38	31	1:00 PM	25 de octubre 2016	19	20,33	20,67	29	40	40	55	10	10	10	No	No	Si
48	41	34	12:10 PM	28 de octubre 2016	18	19,67	20	26	35	40	50	10	10	10	No	Si	No
52	45	38	3:30 PM	1 de noviembre 2016	19	18	19,67	24,67	35	35	50	9	9,5	10	No	No	No
-	48	41	9:00 AM	4 de noviembre 2016	18	-	19	23,33	-	35	45	-	9	10	-	No	Si
-	52	45	9:15 AM	8 de noviembre 2016	19	-	18	21,33	-	30	45	-	9	10	-	No	No
-	-	48	10:00 AM	11 de noviembre 2016	21	-	-	19,67	-	-	40	-	-	10	-	-	No
-	-	52	11:00 AM	15 de noviembre 2016	19	-	-	18	-	-	40	-	-	10	-	-	No

ANEXO D RESULTADOS FISICOQUIMICOS DE LOS ABONOS OBTENIDOS



FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO
CENTRO DE BIO-SISTEMAS
 Autopista Norte Km10 Vía Bogotá - Briceño Chia (Cundinamarca)
 Teléfono 2427030 Ext 2430/2431

LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS
ANÁLISIS MATERIALES ORGÁNICOS

ORDEN DE TRABAJO No. 001313	FECHA SOLICITUD : 09-nov-16	FECHA IMPRESIÓN : 22-nov-16
Cliete Nombre: CRISTHIAN FELIPE NINCO CARDOZO Dirección: CR 119 80-22 Municipio: BOGOTA Teléfono: 3178690819 Fax: E-Mail: pipeninco@hotmail.com		Finca Nombre: EL SALITRE Municipio: EL ROSAL Departamento: CUNDINAMARCA
No. Muestra: 96		Solicitante: CRISTHIAN FELIPE NINCO CARDOZO Material: No Especificado Identificación: COMPOST RESIDUOS ORGANICOS CON ASERRIN

Variable	Unidades	Base Húmeda	Base Seca	Óptimos Base Seca	kg/Ton Base Humeda
Porcentaje de Humedad	%	59.48			
Densidad Aparente	g/cm ³	0.52			
Carbono Orgánico	%	10.64	26.25		
Materia Orgánica	%	23.08	56.96		
Cenizas	%		43.04		
Relación Carbono/Nitrógeno	p/p	13.82	13.82		
pH (Reacción de Acidez):	-logH+	9.30			
Conductividad Eléctrica	dS/m	15.43			
Nitrógeno Total (N):	%	0.77	1.90		7.7
Fósforo (P):	%	0.13	0.31		1.3
Potasio (K):	%	0.61	1.50		6.1
Calcio (Ca):	%	3.84	9.48		38.4
Magnesio (Mg):	%	0.14	0.35		1.4
Sodio (Na):	%	0.046	0.113		0.5

Metodología:

N según Kjeldahl, P por colorimetría, K, Ca, Mg, Na por absorción atómica. Carbono orgánico por calcinación. pH y C.E. en extracto de saturación. % de elementos mayores en relación peso a peso.

Quím. Adriana Mireya Zamudio S.
Jefe Laboratorio de Suelos y Aguas

www.utadeo.edu.co
 NIT. 860.006.848-6
 Personería Jurídica
 No. 2613/1999 Minjusticia

Sede Chia
 Autop. Norte Km. 10 vía Bogotá-Briceño
 PBX 8602118/210/233
 centro.biosistemas@utadeo.edu.co
 Chia - Colombia

**LABORATORIO DE SUELOS Y AGUAS
ANÁLISIS MATERIALES ORGÁNICOS**

ORDEN DE TRABAJO No. 001313 FECHA SOLICITUD : 09-nov-16 FECHA IMPRESIÓN : 22-nov-16

Cliente		Finca	
Nombre: CRISTHIAN FELIPE NINCO CARDOZO		Nombre: EL SALITRE	
Dirección: CR 119 80-22		Municipio: EL ROSAL	
Municipio: BOGOTÁ		Departamento: CUNDINAMARCA	
Teléfono: 3178690819 Fax:		Solicitante: CRISTHIAN FELIPE NINCO CARDOZO	
E-Mail: pipeninco@hotmail.com		Material: No Especificado	
No. Muestra: 97		Identificación: COMPOST RESIDUOS ORGANICOS CON PODA	

Variable	Unidades	Base Húmeda	Base Seca	Óptimos Base Seca	kg/Ton Base Húmeda
Porcentaje de Humedad	%	66.52			
Densidad Aparente	g/cm ³	0.91			
Carbono Orgánico	%	7.72	23.06		
Materia Orgánica	%	16.76	50.05		
Cenizas	%		49.95		
Relación Carbono/Nitrógeno	p/p	9.61	9.61		
pH (Reacción de Acidez):	-logH+	9.30			
Conductividad Eléctrica	dS/m	17.86			
Nitrógeno Total (N):	%	0.80	2.40		8.0
Fósforo (P):	%	0.17	0.50		1.7
Potasio (K):	%	0.47	1.40		4.7
Calcio (Ca):	%	2.81	8.40		28.1
Magnesio (Mg):	%	0.15	0.45		1.5
Sodio (Na):	%	0.046	0.136		0.5

Metodología:

N según Kjeldahl, P por calorimetría, K, Ca, Mg, Na por absorción atómica. Carbono orgánico por calcinación. pH y C.E. en extracto de saturación. % de elementos mayores en relación peso a peso.



Quim. Adriana Mireya Zamudio S.
Jefe Laboratorio de Suelos y Aguas

**ANEXO F
COTIZACIONES DE LOS EQUIPOS**

INVERSIONES ROBILA S.A.S. 

Bogotá 15 de noviembre de 2016

Señores:

EMPRESA ALCANTARILLADO Y ACUEDUCTO EL ROSAL SA ESP

Atte: Felipe Ninco

Cel 317 869 0819 / Tel

ext

pipeninco@hotmail.com

REF. : PROPUESTA No. 428 - 2016

Estimados Señores:

De acuerdo con su amable solicitud, a continuación presentamos nuestra cotización para la fabricación, transporte e instalación en su planta de El Rosal de los equipos descritos a continuación y de acuerdo con las siguientes condiciones comerciales.

A- VALIDEZ DE LA OFERTA

30 días

B- PLAZO DE ENTREGA

5 semanas

C- FORMA DE PAGO

50 % de anticipo

40% para despachar

Saldo a la entrega

D- VALOR DEL EQUIPO

No	Equipo Ofrecido	Cant.	Valor / unid	Valor Total
1	Transportador del tipo banda sobre mesa horizontal con banda de 1000 mm de ancho y 9,6 MT de longitud total de camas.	1	\$ 15'255.000	\$ 15'255.000

TOTAL OFERTA BÁSICA	\$15'255.000
----------------------------	---------------------

E - IMPUESTO A LAS VENTAS

El valor cotizado no incluye el impuesto al valor agregado IVA el cual se cobrará adicionalmente en la factura, de acuerdo con las disposiciones vigentes en el momento de emitir la factura.

F- GARANTIA

Nuestros equipos y repuestos están fabricados de acuerdo con normas de C.E.M.A (CONVEYOR EQUIPMENT MANUFACTURERS ASSOCIATION) y tiene una garantía de un año contra posibles defectos de fabricación o ensamble, tiempo durante el cual cualquier revisión o ajuste rutinarios serán realizado por nuestro personal, en nuestras instalaciones, sin ningún costo para el cliente.

Es oportuno anotar que cuando alguien necesita un equipo y no lo adquiere, siempre estará pagando por él, sin llegar a tenerlo nunca.

Esperamos que nuestra oferta responda a la solución de sus problemas de manejo de materiales y manifestamos nuestra disposición para comentarla, una vez haya sido analizada y considerar otras alternativas de costo diferente

Basados en visitas y/o conversaciones previas a la presentación de nuestra oferta, hemos seleccionado los equipos y accesorios que de acuerdo a nuestra experiencia son los más adecuados y económicos para resolver su problema de manejo de materiales, pero si luego de probar el sistema se encuentra conveniente instalar accesorios adicionales o diferentes, para lograr que el manejo de su carga sea completamente satisfactorio, estos elementos serán facturados por separado, previa su aprobación y no deberán condicionar el pago de los equipos originalmente contratados.

Atentamente,

*Jorge Eduardo Robayo G
Gerente*



COTIZACIÓN N o 2016-18

--

SEÑORES:

NIT	COD. CLIEN	AÑO	MES	DIA
		2016	11	1

ANTID	DESCRIPCION	VALOR	VALOR
1	<p>MINICARGADOR BOBCAT 863 AÑO 1999</p>  <p>ESPECIFICACIONES las cuatro ruedas le permite alcanzar una velocidad maxima de 12,5mph tiene una capacidad de operación nominal de 1.900 libras (861,83 kg) pero aumenta a 2.000 libras (907,19 kg) con un contrapeso opcional COMBUSTIBLE: diesel AÑO: 1999</p> <p>SI REALIZAN EL PAGO POR MEDIO DE CHEQUE O TRANSFERENCIA LA MAQUINA SE ENTREGA TAN PRONTO HAGA CANJE. SI REALIZA EN EFECTIVO SE ENTREGA DE INMEDIATO</p> <p>SE ENTREGA EN EL KM 12 VIA AUDP. MEDELLIN COSTADO SUR LA PUNTA EN EL SITIO EN QUE SE ENCUETRA A SATISFACCION DEL COMPRADOR.</p>	\$ 40.000.000	\$ 40.000.000
SON:	CUARENTA MILLONES DE PESOS MCTE	SUB-TOTAL I.V.A	\$ 40.000.000 \$
ELABO	FIRMA AUTORIZADA	ACEPTO	FIRMA Y
	SANDRA MILENA		
CALLE 45A No 50-27 BARRIO LA ESMERALDA TELS(1) 324 23 34- 702 30 08 CEL 313 293 28			

COTIZACION N° 67724

Fecha : 11/11/2016 - Vigencia : 26/11/2016

Señores:	FELIPE NINCO				
Atención:	Sr. FELIPE NINCO	Fono:	3178690819	Fax:	.

De nuestra consideración:

Por medio de la presente, tenemos el agrado de enviar a usted cotización de acuerdo al siguiente detalle:

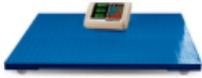
N°	Código	Descripción	Unid.	Cantida
1	HI 98509	Termómetro Checktemp1C, con cable de 1 mt. Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta	C/U	.
2	HI 935005N	Termómetro tipo K +CAL +BACKLIGHT Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta	C/U	.
3	HI 786C	Sonda de T° p/penetración Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta	C/U	.
4	HI 9564	Termo higrómetro portátil Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta	C/U	.
5	HI 9565	Termo higrómetro portátil c/ sonda microch Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta	C/U	.
6	HI 93640	Termo-Higrómetro Compacto y Portátil Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta	C/U	.
7	HI 8424	Medidor de pH/ mV/ °C con Microprocesador Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta	C/U	.
8	HI 9126	Medidor pH/ORP portátil con Cal. Check Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta	C/U	.

CONDICIONES COMERCIALES

Forma de Pago	Contado
Lugar de Entrega	En vuestra oficina
Validez Oferta	15 días, excepto para oferta de promociones especiales, en cuyo caso la validez estará determinada por el periodo de duración de la promoción

Jaisson Moreno
HANNA Instruments
email: jaisson@hannacolombia.com
cel: (1) 7430243 ext.136

Comercializadora Leader / Leonardo Moreno		Cliente:	Fecha: 22/11/2016
Nit: 1018422836-8		Razon Social: <u>Universidad America</u>	Contacto:
Calle 13 30-67 Barrio Ricaurte		Email: <u>jennifer.sanchez@estudiantes.uamerica</u>	Nit:
Bogota D.C. Colombia		Dirección:	Movil:
Ventas de Régimen Simplificado		Telefono:	Vendedor:

Cant	Imagen	Ref.	Item	Descripción	Precio/ Unitario	Total \$
1		Bascula.Plat	1.5m x 1.5m	Bascula de Plataforma Bajo Perfil Industrial - Marca Moresco Capacidad: 5000kg Division de Escala: 1 kg Dim: 150 x 150 cm Alfajor Corrugado	3500000	\$ 3.500.000

Términos y Condiciones:	Subtotal (\$):	\$ 3.500.000
En Comercializadora Leader y/o Leonardo Moreno hacemos un esfuerzos razonables para mantener la actualización y precisión de la Información de precios y disponibilidad. Sin embargo, esta información está sujeta a cambios en cualquier momento. Nos reservamos el derecho de modificar la información de los catálogos en cualquier momento sin aviso. Leonardo Moreno no será responsable por cualquier error de precios que contengan.	Descuento %	
	Flete/Envío:	

Forma de Pago	Total \$:	\$ 3.500.000
Pago 100% por Adelantado – Generar pagos/Transferencia Bancarias a: Bancolombia Cuenta de Ahorros: 22758516371 Titular Leonardo Moreno Nit: 1018422836-8		

Envios/Fletes
A menos que en el pedido se indique lo contrario, el comprador pagará los costos de flete relacionados con la entrega del producto a su destino. Pueden aplicarse cargos de entrega locales. Todos los cargos o servicios adicionales que surjan en tránsito o al llegar a destino serán responsabilidad del comprador, lo que incluye impuestos, seguros y recargos adicionales, a menos de que Comercializadora Leader - Leonardo Moreno acuerde por escrito que asume la responsabilidad y el pago de tales cargos. La titularidad y el riesgo de pérdida pasarán al comprador en el momento de entrega al transportador común.

Tiempo de Garantía: Los Productos Cotizados cuentan con una Garantía Limitada de 12 Meses Apartir de su Compra
--

Elaborado por: Melisa Guarín
Ventas

Aprobado Por: Blanca Ochoa
Administradora

Comercializadora Leader y/o Leonardo Moreno ** Nit: 1.018.422.836-8 ** Ventas de Régimen Simplificado ** Actividad Principal 4774
www.comercializadoreleader.com ** Email: ventas@comercializadoreleader.com ** Tel: +571 3751574 ** Calle 13 # 30-67 Bogota D.C. Ricaurte

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES

Nosotros **Cristhian Felipe Ninco Cardozo** y **Jennifer Johanna Sánchez González** en calidad de titulares de la obra **Propuesta para la producción de abono orgánico mediante el compostaje de los residuos sólidos del municipio El Rosal, Cundinamarca**, elaborada en el año 2016, autorizamos al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, indexe y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que nos corresponden y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autores manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autores establecemos las siguientes condiciones de uso de nuestra obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	<input checked="" type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	<input type="checkbox"/>

Licencias completas: http://co.creativecommons.org/?page_id=13

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a sus autores.

De igual forma como autores autorizamos la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

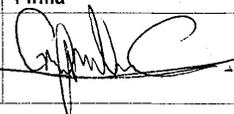
AUTORIZO (AUTORIZAMOS)	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	X	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	X	

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicaremos, en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá D.C., a los 13 días del mes de marzo del año 2017.

LOS AUTORES:

Autor 1

Nombres	Apellidos
Cristhian Felipe	Ninco Cardozo
Documento de identificación No	Firma
1.075.285.301	

Autor 2

Nombres	Apellidos
Jennifer Johanna	Sánchez González
Documento de identificación No	Firma
1.152.196.811	