

**PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN  
EL MUNICIPIO DE ALVARADO TOLIMA**

**DANIEL SANTIAGO OSORIO FLÓREZ**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C  
2020**

**PROPUESTA PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN  
EL MUNICIPIO DE ALVARADO TOLIMA**

**Proyecto integral de grado para optar al título de  
Ingeniero Químico**

**DANIEL SANTIAGO OSORIO FLÓREZ**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTÁ D.C  
2020**

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

**Presidente de jurados**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

Bogotá, agosto de 2020

## DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA

Consejero Institucional

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCIA-PEÑA

Vicerrectoría Académica y de Investigaciones

Dra. MARIA CLAUDIA APONTE GONZÁLEZ

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretaria General

Dra. ALEXANDRA MEJÍA GUZMÁN

Decano Facultad de Ingeniería

Ing. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director Programa de ingeniería

Ing. IVAN RAMIREZ MARIN

Las directivas de la Fundación Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero dar gracias a la Alcaldía municipal de Alvarado, Tolima en representación de su alcalde, el Sr Pablo López, por permitirme el desarrollo del proyecto en el municipio y brindarme las ayudas necesarias.

A la Universidad de America y sus profesores por todo el conocimiento que me han brindado a través de estos años. Una mención especial a la ingeniera Elizabeth Torres quien fue esa compañía y esa guía en el desarrollo del proyecto. A todos mis compañeros y amigos con los que compartí momentos en estos años llenos de errores y enseñanzas.

A lo más importante, mi familia. Mis padres Francisco y Tiberia, mis hermanos Andrés y Juan, que siempre fueron ese apoyo incondicional cuando lo necesité, no importaba la situación siempre estuvieron allí con sus palabras de aliento, consejos y mas importante sin reprobar las acciones realizadas. Este trabajo no es solo mío, es de todos ustedes también.

## CONTENIDO

	pág.
RESUMEN	17
INTRODUCCIÓN	19
OBJETIVOS	20
1. GENERALIDADES	21
1.1 MARCO TEÓRICO	21
1.1.1 Los residuos sólidos RS	21
1.1.2 Clasificación de los residuos solidos	22
1.1.3 Residuos sólidos urbanos (RSU)	25
1.1.3.1. Clasificación de los residuos sólidos urbanos (RSU)	26
1.1.3.2. Propiedades de los residuos sólidos urbanos RSU	28
1.1.3.3. Composición de los residuos sólidos urbanos (RSU)	30
1.1.4. Manejo integral de los residuos sólidos urbanos (RSU)	33
1.1.5. Aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos	31
1.1.4.1. Alimentación animal	32
1.1.4.2. Compostaje	32
1.2 LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES COMO ACONDICIONARES	43
2. DIAGNÓSTICO	45
2.1 INFORMACIÓN GENERAL DEL MUNICIPIO DE ALVARADO	45
2.2 GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN ALVARADO	47
2.2.1 Composición de los residuos sólidos del municipio de Alvarado	49
2.3 DESARROLLO DEL DIAGNÓSTICO	49
2.3.1 Revisión datos históricos	50
2.3.2 Sensibilización a la comunidad	51
2.3.3 Diseño y aplicación de la encuesta	52
2.3.4 Caracterización de los residuos sólidos del municipio de Alvarado	52
2.3.4.1 Análisis de resultados de la encuesta diagnóstica	55
2.3.4.2 Análisis de resultados de la caracterización de los RS de Alvarado	60
3. PRODUCCIÓN DE COMPOST	64
3.1 MATRIZ DE SELECCIÓN DEL PROCESO	64
3.2 ADECUACIÓN DEL TERRENO	67
3.3 DESARROLLO EXPERIMENTAL	67
3.3.1 Construcción del reactor	67
3.3.2 Parametrización variables iniciales	69
3.3.2.1 Relación C/N	70
3.3.2.2 Humedad	70
3.3.2.3 Tamaño de la partícula	71
3.3.3 Balance de materia	71

3.3.4 Control de parámetros en el proceso	72
3.3.4.1 Control de temperatura	72
3.3.4.2 Control del pH	73
3.3.4.3 Control de humedad	73
3.3.5 Análisis de resultados	74
3.3.5.1 Temperatura	74
3.3.5.2 pH	75
3.3.5.3 Humedad	76
3.3.5.4 Producto final	77
4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	84
4.1 ESCALONAMIENTO DEL REACTOR	86
4.2 SEPARACIÓN Y RECOLECCION EN LA FUENTE	91
4.3 RECEPCIÓN Y ADECUACIÓN DE MATERIA	91
4.4 REACTOR	93
4.5 CONTROL DEL PROCESO	94
4.5.1 Temperatura	94
4.5.2 pH	95
4.5.3 Humedad	96
4.6 Adecuación y empaque	96
5. EVALUACION FINANCIERA	99
5.1 CÁLCULO DE LOS INGRESOS	99
5.2 CALCULO DE LOS GASTOS FIJOS Y VARIABLES	100
5.2.1 Gastos fijos	100
5.2.2 Gastos variables	103
5.3 CALCULO DE LA INVERSIÓN	104
5.3.1 Gastos de inversion para la construcción de la planta.	105
5.3.2 Gastos de inversión para la dotación de equipos y maquinaria	105
5.3.3 Inversión para la operación inicial	106
5.4 FLUJO DE CAJA	107
5.5 INDICADORES FINANCIEROS	107
5.5.1 Valor presente NETO -VPN	108
5.5.2 Tasa interna de retorno - TIR	109
6. CONCLUSIONES	110
7. RECOMENDACIONES	111
BIBLIOGRAFÍA	112
ANEXOS	121

## LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Tipo de clasificación de los residuos sólidos	24
Tabla 2. Tipo de residuos para la separación en la fuente según la NTC GTC24	25
Tabla 3. clasificación de los residuos sólidos urbanos	28
Tabla 4. Porcentaje de elementos químicos en los RSO	29
Tabla 5. Clasificación química de los residuos sólidos urbanos	30
Tabla 6. Condiciones óptimas del proceso de compostaje	36
Tabla 7. Sistemas de compostaje (En composting of agricultural 1984)	42
Tabla 8. límites máximos permisibles de metales pesados (RSU)	43
Tabla 9. Localización municipio de Alvarado Tolima	45
Tabla 10. Barrios de la zona Urbana Alvarado	46
Tabla 11. Centros poblados zona rural. Alvarado	46
Tabla 12. Veredas del municipio de Alvarado	47
Tabla 13. Producción de residuos sólidos Alvarado 2015	48
Tabla 14. Composición de los residuos del municipio de Alvarado	49
Tabla 15. Composición física de los residuos sólidos Alvarado Tolima 2019	60
Tabla 16. Categorización de los residuos según el tipo de aprovechamiento	61
Tabla 17. Resultados fisicoquímicos de los residuos sólidos	62
Tabla 18. Ventajas y Desventajas en los tipos de procesos de compostaje	64
Tabla 19. Matriz de selección de procesos de compostaje a emplear	66
Tabla 20. Especificaciones técnicas del reactor construido para experimentación	69
Tabla 21. Referencias bibliográficas para parametrización variables iniciales	70
Tabla 22. Temperaturas y tiempos requeridos para eliminación de patógenos.	75
Tabla 23. Resultado análisis químico	79
Tabla 24. Resultado análisis microbiológico	81
Tabla 25. Estimación de los ingresos	100
Tabla 26. Gastos fijos: Gastos de personal, mano de obra	101
Tabla 27. Gastos fijos: Servicios públicos	101
Tabla 28. Gastos Fijos: Reparaciones	102
Tabla 29. Depreciación	102
Tabla 30. Costos de la materia prima	103
Tabla 31. Costos de los elementos y servicios	104
Tabla 32. Gastos variables	104
Tabla 33. Gastos de Inversión para la construcción de la planta de compostaje	105
Tabla 34. Inversión en maquinaria y equipo	106
Tabla 35. Inversión para operación inicial	106
Tabla 36. Flujo de caja	107

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Clasificación de los residuos orgánicos municipales, según su fuente	27
Figura 2. Escala de jerarquías para el tratamiento de residuos sólidos	31
Figura 3. Temperatura, Oxígeno Y Ph En El Proceso De Compostaje	38
Figura 4. Diagrama de flujo Desarrollo del Diagnóstico	50
Figura 5. Especificaciones del tamaño de la muestra	53
Figura 6. Esquema de reactor horizontal con rotación empleado en compostaje	68
Figura 7. Diagrama de proceso de la planta	84
Figura 8. Diseño de la planta	85

## LISTA DE GRÁFICAS

	<b>pág.</b>
Gráfico 1. Resultado primera pregunta de la encuesta	56
Gráfico 2. Resultado segunda pregunta de la encuesta	56
Gráfico 3. Resultado tercera pregunta encuesta	57
Gráfico 4. Resultado cuarta pregunta encuesta.	58
Gráfico 5. Resultado quinta pregunta encuesta.	58
Gráfico 6. Resultado sexta pregunta encuesta.	59
Gráfico 7. Tipo de composición de residuos sólidos que mas se genera	61
Gráfico 8. Variación temperatura en la experimentación	75
Gráfico 9. Variación pH en la experimentación	76
Gráfico 10. Variación contenido de humedad en experimentación	77
Gráfico 11. Relación entre dimensiones escala piloto/escala laboratorio.	89

## LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Ubicación Geográfica	45
Imagen 2. Mapa Vereda	67
Imagen 3. Campañas de sensibilización en el municipio por parte de la Alcaldía	67
Imagen 4. Campañas de sensibilización en el municipio por parte de la Alcaldía	67
Imagen 5. Registro fotográfico de la metodología de caracterización física RS	55
Imagen 6. Montaje del reactor en el lugar de trabajo	67
Imagen 7. Reactor con aislante térmico	69
Imagen 8. Medición de temperatura en experimentación	72
Imagen 9. Medición de pH experimentación	73
Imagen 10. Técnica prueba del puño	74
Imagen 11. Producto a la salida del reactor	77
Imagen 12. Producto final.	78
Imagen 13. Bolsas para separación en la fuente	91
Imagen 14. Banda transportadora	92
Imagen 15. Triturador de Desechos Vegetales Trp – 11	92
Imagen 16. Balanza industrial tipo plataforma	93
Imagen 17. Reactor horizontal para compostaje	94
Imagen 18. Termómetro Termocupla	95
Imagen 19. Medidor portátil de pH	95
Imagen 20. Termohigrómetro	96
Imagen 21. Secador de tambor	97
Imagen 22. Zaranda vibratoria	97
Imagen 23. Cosedora de sacos	98
Imagen 24. Sacos de polipropileno	97

## LISTA DE CUADROS

	<b>pág.</b>
Cuadro 1. Seguimiento a la aplicación del Compost Cultivo Experimental	82

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
Anexo A. Folletos e informacion campaña sensibilización	122
Anexo B. Encuesta diagnostico aplicada a la comunidad	124
Anexo C. Estudio de caracterización residuos solidos Municipio Alvarado	125
Anexo D. Resultados analisis de laboratorio del producto	126
Anexo E. Carta monterverde s.a acerca de la aplicación del producto	128
Anexo F. Cotizaciones y precios equipos e instrumentos	129

## GLOSARIO

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

**ÁCIDOS HÚMICOS:** están presentes en los suelos y son la parte más activa de la materia orgánica del mismo. Son una mezcla de moléculas orgánicas complejas que se forman por descomposición y oxidación de la materia orgánica. Por tanto, la humificación es un proceso progresivo que lleva a la formación de ácidos húmicos<sup>1</sup>.

**ÁCIDOS FÚLVICOS:** constituyen una serie de compuestos sólidos o semisólidos, amorfos, de color amarillento y naturaleza coloidal, fácilmente dispersables en agua y no precipitables por los ácidos<sup>2</sup>.

**BACTERIAS TERMÓFILAS:** grupo de bacterias que pueden vivir, trabajar y multiplicarse durante el compostaje entre los rangos de temperatura de 40°C a 70°C.

**BIODIGESTORES:** un biodigestor es un depósito que permite la fermentación de la materia orgánica de manera anaerobia produciendo biogás y estabilizando la materia procesada biológicamente<sup>3</sup>.

**DIGESTIÓN ANAEROBIA:** es un proceso de descomposición biológica en ausencia de oxígeno cuyo producto es el biogás (gas compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono), aprovechable energéticamente

**CUANTIFICACIÓN:** proceso mediante el cual se determina la proporción de cada uno de los componentes contenidos en los residuos sólidos.

**LIXIVIADO:** líquido residual generado por la descomposición biológica de la parte orgánica o biodegradable de las basuras bajo condiciones aeróbicas y

---

<sup>1</sup> MURILLO, Gregorio. Los ácidos húmicos y ácidos fúlvicos. Ácidos húmicos fertilizantes agrícolas. Jisa Jicola Industrial S.A. Agronutrientes.

<sup>2</sup> INTAGRI. Humus, Huminas, Ácidos Húmicos y Ácidos Fúlvicos, 2001.

<sup>3</sup> MONROY Oscar. Biorreactores anaeróbicos. Cuernavaca. México, 1977.

anaeróbicas o como resultado de la percolación de agua a través de los residuos en proceso de degradación.

**SISTEMA DE COMPOSTAJE:** los diferentes sistemas de compostaje pretenden, en todos los casos, conseguir una aireación óptima de los residuos y alcanzar temperaturas termófilas. Se puede considerar que un sistema es efectivo cuando, además de transformar los residuos, los ha sometido durante un tiempo suficiente a las condiciones consideradas letales para los microorganismos patógenos.

**SISTEMAS CERRADOS:** se basa en la utilización de un reactor o digestor en el que se mantienen las condiciones aeróbicas por los mismos métodos que en las pilas, es decir, con volteos continuos, con aireación forzada o los dos métodos a la vez., presentan la ventaja de permitir un control total de las condiciones del proceso, son más rápidos y requieren menos espacio para tratar el mismo volumen de residuos.

**MANEJO:** acciones relacionadas con la manipulación de los residuos durante las etapas de generación, recolección, transporte, recuperación y transformación de los residuos sólidos.

**MICROORGANISMO:** cualquier organismo vivo de tamaño microscópico, incluyendo bacterias, virus, levaduras, hongos, actinomicetos, algunas algas y protozoos.

**PROCESO DE DEGRADACIÓN:** proceso por el cual la materia orgánica contenida en la basura sufre reacciones químicas de descomposición (fermentación y oxidación) en las que intervienen microorganismos dando como resultado la reducción de la materia orgánica y produciendo malos olores.

**RECICLAJE:** procesos mediante los cuales se aprovechan y transforman los residuos sólidos recuperados y se devuelven a los materiales sus potencialidades de reincorporación como materia prima para la fabricación de nuevos productos.

**RESIDUO SÓLIDO:** cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido que se abandona, bota o rechaza después de haber sido consumido o usado en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios e instituciones de salud y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico

**SEPARACIÓN EN LA FUENTE:** es la clasificación de los residuos sólidos en el sitio donde se generan para su posterior recuperación.

## RESUMEN

Los residuos sólidos siempre han existido, la diferencia de hoy con el pasado, es que antes había menos población, menos uso de emboturas o envases fabricados con material no degradable o amigables con el ambiente y mayor disponibilidad de terreno para depositar los residuos que se tiraban después de seleccionar lo que podía servir. Hoy, con el crecimiento y concentración de la población en las áreas urbanas y, el desarrollo de la actividad económica y social es mayor la generación de productos que a la vez aumenta la producción de residuos, y al no ser intervenidos con procesos de aprovechamiento son considerados basura, lo que los hacen ver como inservibles. Estos residuos se clasifican de acuerdo a su origen, a su composición y su impacto al medio ambiente.

El aumento en la generación de los residuos impacta negativamente al medio ambiente, lo que ha hecho que el gobierno nacional genere políticas para la intervención, mediante estrategias de prevención, control y acciones de mitigación para la protección del ambiente.

Es por eso que el siguiente proyecto tiene como fin realizar una propuesta para el aprovechamiento de los residuos orgánicos en el municipio de Alvarado, Tolima mediante el proceso de compostaje. Inicialmente se realizó el diagnóstico de la situación actual de los residuos sólidos urbanos en el municipio, teniendo en cuenta la información aportada por la oficina de servicios públicos, las campañas de sensibilización con la comunidad, la aplicación de una encuesta a un grupo de la población, seleccionada de manera aleatoria, para conocer la opinión de la comunidad acerca del manejo de los residuos sólidos domiciliarios y el resultado de la caracterización, realizada por INTERASEO S.A.S ESP, donde determina que el 72,60% de los residuos cuentan con potencial de aprovechamiento.

Posterior al diagnóstico se inicia la parte experimental, basada en la selección, seguimiento y ajuste de los parámetros presentes en el proceso para la producción del compost, esto se realizó por medio de un reactor horizontal con volteo construido de manera artesanal. Para el seguimiento y control de los parámetros se utilizó, un termómetro para el control de humedad y temperatura, para el pH se utilizó el papel indicador. La parte final de la experimentación fue la aplicación del producto obtenido a un cultivo experimental (variedad Lechuga cressa), antes de la aplicación del producto se le realizó los análisis de laboratorio, para determinar los parámetros físicoquímicos y microbiológicos, comparándolos con los límites permitidos por la norma colombiana NTC 5167, dando como resultado que el compost obtenido, cumple con los requisitos exigidos y puede ser utilizado como acondicionador de suelos en cultivos de alimentos. Como resultado de la experimentación se evidenció que el compost obtenido otorga nutrientes al

cultivo que le permitieron tener el tamaño de hoja ideal de cosecha en un periodo (20 días) antes del tiempo esimado (30 días).

Al finalizar la parte experimental se determinaron las especificaciones técnicas necesarias para llevar a cabo la propuesta (dimensionamiento de reactor prototipo, selección de equipos complemetarios, transporte, recepción, acondicionamiento de la materia, entre otros), para el dimensionamiento del reactor se siguió la metodología utilizada por Behrentz y Giraldo, dicho método consiste en relacionar la temperatura con la relación área-volumen y así establecer un factor de escalamiento relacionando la tasa de calor disipado por área superficial y el calor generado por el volumen de la materia a compostar. Este factor debe ser igual tanto en el prototipo escala como en el del laboratorio, esto para garantizar el comportamiento similar de la temperatura en ambas situaciones. Por último, se realiza el análisis de la viabilidad financiera por medio del cálculo de índices financieros como son el Valor presente neto, tasa interna de retorno y margen de rentabilidad, y así determinar la factibilidad del proyecto.

Palabras clave

Digestión anaerobia, residuos sólidos orgánicos, hogares urbanos, compost

## INTRODUCCIÓN

La presente investigación se adelantó en el municipio de Alvarado, Tolima que cuenta con una población de 8.757 habitantes, 3.406 (38.89%) ubicados en la cabecera municipal en 1.158 viviendas y 5.351 (61.11%) en el área rural en 1.768 viviendas. Para el desarrollo de esta investigación, inicialmente se realizó un proceso de socialización con la comunidad sobre la importancia del proceso de compostaje, se determinó la caracterización de los residuos sólidos urbanos, partiendo del estudio realizado por la empresa INTERASEO S.A.S ESP. En este se identificaron las características físicas y químicas (composición física, peso específico, humedad y porcentajes de carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno) de los residuos generados por la comunidad del municipio del Alvarado y dispuesto en el relleno sanitario la Miel, empresa encargada de hacer la disposición final de estos. La investigación permite establecer una alternativa para la producción de compost a partir de los residuos sólidos orgánicos generados en el sector urbano, mediante el proceso de producción anaerobio y la utilización de reactor horizontal, con un escenario financiero de recuperación de la inversión inicial a partir del Quinto año de operación.

Es por eso que la propuesta resulta fundamental para la alcaldía municipal, debido a que se busca implementar un proyecto que, además de ser amigable con el medio ambiente, permite generar beneficios a través del aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos del municipio mediante el proceso de compostaje.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Desarrollar una propuesta para la producción de compost partiendo de los residuos orgánicos en el municipio de Alvarado Tolima.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Diagnosticar la situación de los residuos orgánicos en el municipio de Alvarado
2. Seleccionar los parámetros de producción del Compost partiendo del desarrollo experimental
3. Establecer las especificaciones técnicas para la producción de compost
4. Realizar el análisis de viabilidad financiera de la propuesta para la producción de compost en el municipio de Alvarado Tolima.

## 1. GENERALIDADES

En el siguiente numeral se presenta la información teórica del proyecto. Se empieza por la definición de residuos sólidos y sus múltiples clasificaciones, las propiedades, la composición y el aprovechamiento de estos. Seguido de los fundamentos básicos del proceso de compostaje, sus fases, las condiciones que lo afectan, las etapas y los sistemas utilizados en el proceso de compostaje. Por último, el proceso de utilización de los residuos sólidos como acondicionadores de suelo y se definieron los parámetros físico-químicos y microbiológicos que regula los materiales orgánicos usados como fertilizantes y acondicionadores de suelos, según la Norma Técnica Colombiana 5167 y la Resolución 00150 del 21 de enero de 2003 del ICA.

### 1.1 MARCO TEÓRICO

#### 1.1.1 Los residuos sólidos RS.

- **Definición de residuo sólido:** En el Diccionario de la Lengua Española<sup>4</sup> define como “una parte o porción que queda de un todo; Aquello que resulta de la descomposición o destrucción de algo; Material que queda inservible después de haber realizado un trabajo u operación”. Por lo que se puede considerar residuo a todo aquel material o elemento resultante de las actividades cotidianas de los seres humanos, que normalmente son desechados después de su utilización, y es conocido por la mayoría de la población como basura, término que resta importancia y lo convierte en algo inservible e insignificante.

El Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial definió el término residuo sólido o desecho como:

“Cualquier objeto, material, sustancia o elemento principalmente sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador presenta para su recolección por parte de la persona prestadora del servicio público de aseo. Igualmente, se considera como residuo sólido, aquel proveniente del barrido y limpieza de áreas y vías públicas, corte de césped y poda de árboles.”<sup>5</sup>

---

<sup>4</sup> REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. Residuo. Madrid, 2020

<sup>5</sup> COLOMBIA, MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Decreto 2981 de 2013- Definiciones, publicado en el Diario Oficial N. 49010.20, diciembre, 2013. p. 22

La Guía Técnica Colombiana GTC 53-7 lo define como “Aquellos Materiales sólidos o semisólidos de origen animal, humano o vegetal que se abandonan, botan, desechan, descartan y rechazan y son susceptibles de biodegradación incluyendo aquellos considerados como subproductos orgánicos provenientes de los procesos industriales”. Según la UAESP (2010) en la norma IRAM-ISO 14040, el ciclo de vida (CV) de los RS, lo define como “Etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema productivo, a partir de la adquisición de materia prima o de su generación hasta la disposición final”<sup>6</sup>

**1.1.2 Clasificación de los residuos sólidos.** Los residuos sólidos que no tienen características de peligrosidad se dividen en aprovechables y no aprovechables. Los residuos provenientes de las actividades de barrido y limpieza de vías y áreas públicas, corte de césped y poda de árboles ubicados en vías y áreas públicas serán considerados como residuos ordinarios (Decreto 2981 de 2013)

Se pueden agrupar según su origen, su composición y según su impacto al medio ambiente<sup>7</sup>

a) **Según su origen:** Los residuos sólidos según su procedencia, actividad o lugar que los origina, la cantidad y características son diferentes, siendo estos los siguientes:

- **Residencial:** Son los producidos en los hogares o domicilios generados por la actividad doméstica. Contienen residuos de comida, papel, plástico, textiles, vidrio, cartón, residuos de jardinería, madera, cerámica, aluminio y suciedad.
- **Comercial:** Son generados por actividades propias del comercio como restaurantes, tiendas, mercados, talleres, centros comerciales, oficinas, hoteles, bares, imprenta y el resto de sector de servicios. Son principalmente residuos de envases, así como algunos tipos de residuos procedentes de centros sanitarios y veterinarios.
- **Institucional:** Son los generados en las actividades de comercio y prestación de servicios en instituciones públicas y privadas.
- **Construcción y demolición:** Son los residuos sólidos generados por las actividades de construcción, demolición, reparaciones o mejoras locativas de obras civiles<sup>8</sup>.

---

<sup>6</sup> SALAMANCA CASTRO, Eduard. Estrategias para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en la plaza de mercado de Fontibón, Bogotá D.C, 2014. p.14.

<sup>7</sup> TCHOBANOGLOUS, George., THEISEN, H. y VIGIL, S. Gestión Integral de Residuos Sólidos. Vol. I y II. Madrid. España: McGraw-Hill, 1994.

- **Servicios:** Los residuos sólidos de servicios son aquellos causados por los barridos o limpieza de calles y mantenimientos de áreas de recreación dentro las cuales están presentes residuos vegetales, animales, cartón, residuos de jardín.
- **Industriales:** Son aquellos residuos producidos en la transformación de materias primas, fabricación de productos de interés o productos intermedios, envasado y empaquetamiento de los mismos.
- **Agrícolas:** Son los generados por el sector primario de la economía como la pesca, agricultura, ganadería, crianza de animales, entre otros.

#### b) Según su composición

- **Residuos orgánicos:** Son residuos de origen biológico, que alguna vez estuvo vivo se descomponen naturalmente para transformarse en otro tipo de materia orgánica como fertilizante o abono orgánico.
- **Residuos inorgánicos:** Todo desecho de origen no biológico, o industrial o algún proceso artificial donde sus características químicas y físicas sufren una descomposición muy lenta, en algunos casos pueden ser contaminantes y peligrosos.

#### c) Según su impacto al medio ambiente

- **Residuos peligrosos:** Todo desecho, que por sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables, infecciosas o radiactivas pueden causar riesgo a la salud humana y el ambiente<sup>9</sup>
- **Residuos no peligrosos:** Son aquellos desechos que no presentan un riesgo para la salud humana ni contaminan el medio ambiente. Se pueden dividir en aprovechables, no aprovechables y orgánicos biodegradables
- **Residuos aprovechables:** Son aquellos desechos que no tienen ningún valor para quien lo origine, pero se puede reincorporar en un proceso productivo

---

<sup>8</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Resolución 472 (28, febrero, 2017). Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición (RCD) y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C., 2017. Art. 2.

<sup>9</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Op. Cit., p.462.

como el reciclaje. En este grupo pertenecen todo tipo de papel, plástico y metales <sup>10</sup>

- **Residuos no aprovechables:** Son todos los residuos que no pueden ser reutilizados o reincorporados 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 metalizados.
- **Residuos orgánicos biodegradables:** Son restos químicos o naturales que se descomponen fácilmente en el ambiente. En estos restos se encuentran los vegetales y otros residuos que puedan ser transformados fácilmente en materia orgánica.<sup>11</sup>.

Tabla 1. Tipo de clasificación de los residuos sólidos

Clasificación	Tipo de residuos
Según su origen	Residencial, comercial, Institucional y Construcción y demolición Industriales Agrícolas.
Según su composición	Residuos orgánicos Residuos inorgánicos
Según su impacto al medio ambiente	Residuos no peligrosos: Residuos aprovechables, residuos no aprovechables, residuos orgánicos biodegradables y residuos reciclables.

Fuente: elaboración propia

<sup>10</sup> INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Norma Técnica Colombiana GTTC 24. Gestión Ambiental. Residuos Sólidos. Guía para la Separación en la fuente. Tercera actualización, 2009. [En línea]. Recuperado en 2019-07.15. Disponible en: <https://tienex.co/media/b096d37fcdee87a1f193271978cc2965.pdf>

<sup>11</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. MINISTERIO DE SALUD. Op. Cit., p. 5

Tabla 2. Tipo de residuos para la separación en la fuente según la NTC GTC24 DE 2009

Tipo de Residuo	Clasificación	Ejemplos
<b>No peligrosos</b>	Aprovechables	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cartón y Papel</li> <li>• Vidrio</li> <li>• Plásticos</li> <li>• Residuos metálicos</li> <li>• Textiles</li> <li>• Cuero</li> <li>• Empaques compuestos (cajas de leche, de jugo, de licores, vasos, contenedores desechables)</li> </ul>
	No aprovechables	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Papel (papel higiénico, paños húmedos, panales, toallas de mano, toallas sanitarias, protectores diarios)</li> <li>• Papel encerados, plastificados, metalizados</li> <li>• Cerámicas</li> <li>• Vidrio plano</li> <li>• Huesos</li> <li>• Material de barrido</li> <li>• Colillas de cigarrillo</li> <li>• Material de empaque y embalaje sucios</li> </ul>
	Orgánicos Biodegradables	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Residuos de comida</li> <li>• Cortes y Podas de materiales vegetales;</li> <li>• Hojarasca.</li> </ul>
<b>Peligrosos</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pilas, lámparas fluorescentes, aparatos eléctricos</li> <li>• Productos químicos</li> <li>• Medicamentos vencidos</li> <li>• Residuos con riesgo Biológico</li> </ul>
	<b>Residuos especiales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Escombros-Llantas usadas-Colchones-Residuos de gran volumen como, por ejemplo: muebles, estanterías, electrodomésticos.</li> </ul>

Fuente: INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Norma Técnica Colombiana GTTC 24. Gestión Ambiental. Residuos Sólidos. Guía para la Separación en la fuente. Tercera actualización, 2009. [En línea]. Recuperado en 2019-07.15. Disponible en: <https://tienex.co/media/b096d37fcdee87a1f193271978cc2965.pdf>

**1.1.3 Residuos sólidos urbanos (RSU).** La cantidad y tipo de residuos que se generan están condicionados por el estilo de vida. Los residuos sólidos urbanos (RSU) “son generados en los domicilios particulares, comercio, oficinas, colegios y servicios, así como todo aquello que no tenga la clasificación de peligrosos y que por su naturaleza o composición puedan asimilarse a los producidos a los anteriores lugares o actividades” concluyendo que los RSU son todos aquellos

residuos que son consecuencia directa de las actividades que realizamos en nuestra vida cotidiana<sup>12</sup>.

Los Residuos Sólidos Urbanos RSU conocidos comúnmente por “basuras”, que se producen en los núcleos de población constituyen un problema para el hombre desde el momento en que su generación alcanza importantes volúmenes y, como consecuencia, empiezan a invadir su espacio vital o de esparcimiento. Se incluyen dentro de los residuos sólidos urbanos todos los que se generan en la actividad doméstica, comercial y de servicios, así como los procedentes de la limpieza de calles, parques y jardines. Según la procedencia y la naturaleza de estos residuos se pueden clasificar en: <sup>13</sup>

#### **1.1.3.1. Clasificación de los residuos sólidos urbanos (RSU).**

**a) Los residuos domiciliarios:** “Son los generados en el centro familiar producidos por los integrantes de una vivienda, considerados como coloquialmente se le dice basura, se producen en grandes cantidades dependiendo del número de habitantes, condición económica y hábitos que tengan dependiendo de su calidad de vida”<sup>14</sup>.

Las características de los residuos sólidos domiciliarios están definidas por las propiedades químicas y físicas de los componentes y constituyen elementos significativos para el uso y manejo<sup>15</sup>. Los residuos producidos pueden ser orgánicos, como restos de comida, hojas y ramas de árboles, y entre los inorgánicos se encuentran empaques de cualquier material, papeles, plásticos, vidrio, metales, entre otros.<sup>16</sup>

**b) Los residuos voluminosos:** Son residuos de origen doméstico, tales como grandes embalajes, muebles, etc., y que debido a sus dimensiones no son adecuados para su recolección por los servicios municipales normales, pero que pueden ser eliminados junto con los residuos domiciliarios.<sup>17</sup>

---

<sup>12</sup> BERNAL, María.; CAMELO, Zuly.; ECHEVERRI, Carolina y SANABRIA, Robinson. Estrategias para un manejo responsable de los residuos sólidos a través del trabajo colaborativo.

<sup>13</sup> BARRADAS REBOLLEDO, Alejandro. Gestión Integral de los residuos sólidos municipales. Instituto Tecnológico de Minatitlán, Minatitlán, Veracruz, México, 2009.

<sup>14</sup> Ibid., p.6.

<sup>15</sup> QUISPE INCA, Edelman Romel y CAMPOS PRIETO, José Luis. Caracterización y propuesta de manejo de residuos sólidos urbanos en el distrito de Santiago de Chuco-La Libertad, 2018.

<sup>16</sup> SANTOS PAIZ, Esbin Rubén. Caracterización de los desechos sólidos domiciliarios. en la cabecera del municipio de San Vicente Pacaya, Escuintla. Tesis Doctoral. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2018.

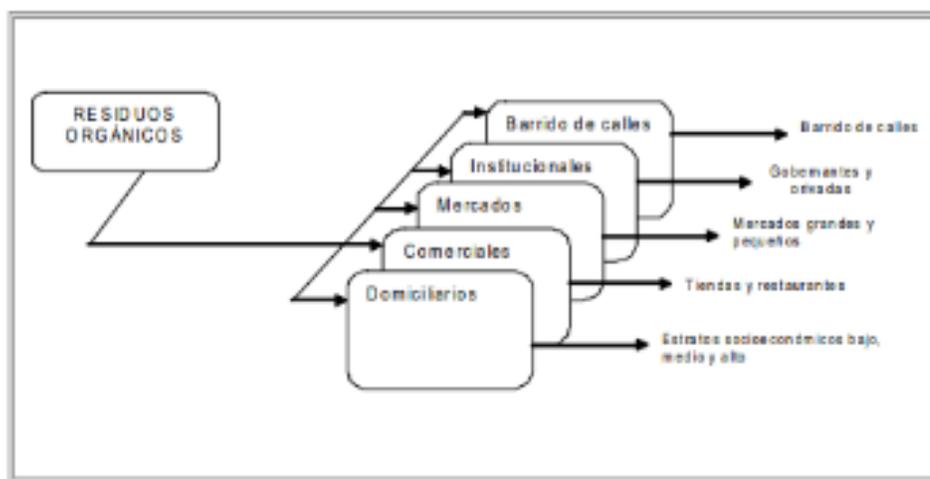
<sup>17</sup> BARRADAS REBOLLEDO. Op. cit., p.6.

**c) Los residuos comerciales y de servicios:** Son los residuos generados en las distintas actividades comerciales (tiendas, mercados, almacenes, centros comerciales, etc.) y del sector de servicios (bancos, oficinas, centros de enseñanza, etc.). Por sus características específicas, no están incluidos aquí los residuos procedentes de la actividad sanitaria, ni los generados en los mataderos.<sup>18</sup>

**d) Los residuos de limpieza de vías y áreas públicas:** Son los procedentes de la actividad de limpieza de calles y paseos y de arreglo de parques y jardines (hierba cortada, hojarasca, troncos y ramas de hasta un metro de longitud, etc.)<sup>19</sup>

Según Mendoza *et al.*, (1998) los residuos sólidos urbanos se clasifican en tres grandes grupos, son:<sup>20</sup>

Figura 1. Clasificación de los residuos orgánicos municipales, según su fuente



Fuente: DANTE, Flórez. Guía No. 2 para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos. Quito. 2001, p. 10.

En la figura 1 muestra una primera clasificación de los residuos orgánicos de acuerdo a su fuente de generación, es utilizada para identificar las fuentes potenciales de materia orgánica para su aprovechamiento.

<sup>18</sup> Ibid. p.6.

<sup>19</sup> Ibid. p. 6.

<sup>20</sup> COMANDO SULUDA, António Inácio. *Optimización del compostaje de residuos sólidos urbanos en proceso de serie anaerobio-aerobio*. Tesis Doctoral. ETSI Caminos, Canales y Puertos (UPM), 2006.

Tabla 3. clasificación de los residuos sólidos urbanos

Clasificación	Ejemplo
Inertes	Metales, vidrios, tierra, escorias, cenizas
Fermentables	Compuestos orgánicos que pueden sufrir procesos de putrefacción
Combustibles	Papel, cartón, plástico, madera, textiles etc.

Fuente: elaboración propia, con base en: COMANDO SULUDA, António Inácio. *Optimación del compostaje de residuos sólidos urbanos en proceso de serie anaerobio-aerobio*. Tesis Doctoral. ETSI Caminos, Canales y Puertos (UPM), 2006.

**1.1.3.2. Propiedades de los residuos sólidos urbanos RSU.** Según el estudio Physical, Chemical and Biological Properties of MSW (Municipal solid waste), las propiedades físicas, químicas y biológicas de los residuos son las que se presentan a continuación.<sup>21</sup>

- **Propiedades físicas RSU**

- Peso:** “Constituye una propiedad esencial para tener como referencia la cantidad de residuos sólidos que generan las personas. Esta característica determina si pueden ser recuperados para reinsertarlos en la cadena productiva o disponerlos en un relleno sanitario”. (Kiely, 1999, pág. 859)<sup>22</sup>
- Peso específico:** El peso específico se define como el peso de un material por unidad de volumen. Los datos sobre el peso específico a menudo son necesarios para valorar la masa y el volumen total de los residuos que tienen que ser gestionados. Por lo general, se refiere a residuos no compactados.<sup>23</sup>
- Porcentaje de humedad:** Expresa la diferencia entre residuos sólidos que tienen un determinado peso húmedo y peso seco. “Constituye una propiedad importante porque marca la diferencia de peso entre residuos sólidos sean estos orgánicos e inorgánicos. Por lo general en los residuos sólidos se tiene una humedad aproximada del 25% al 40 % en peso. Los restos orgánicos contienen mayor humedad que los de naturaleza inorgánica”. (Tchobanoglous, 1994, pág. 554)<sup>24</sup>.

<sup>21</sup> MARQUES RANGEL Mariana. Estudio estadístico de la gestión de residuos sólidos urbanos. Universidad de Sevilla, Sevilla, 2019. p. 17

<sup>22</sup> ALVARO GUALOTO, Madeleine Estefanía.; OLIVES ERAZO, Ana Cristina. Identificación del potencial aprovechable de los residuos sólidos orgánicos que se generan en mercados, supermercados, parques, jardines y diferentes sectores industriales de la Zona Sur del Distrito Metropolitano de Quito. Tesis de Licenciatura, 2013.

<sup>23</sup> MARQUES RANGEL, Op. Cit., p. 17.

<sup>24</sup> ALVARO GUALOTO y OLIVES ERAZO, Op. Cit., p. 12.

- d) **Tamaños de las partículas y distribución del tamaño:** El tamaño y la distribución del tamaño de los componentes de los materiales en los residuos sólidos son una consideración importante dentro de la recuperación de materiales, especialmente con medios mecánicos, como cribas, trómmel y separadores magnéticos<sup>25</sup>.
- e) **Capacidad de campo:** La capacidad de campo de los residuos sólidos es la cantidad total de humedad que puede ser retenida por una muestra de residuo sometida a la acción de la gravedad. Es importante para determinar la formación de lixiviados en los vertederos. La capacidad de campo varía con el grado de presión aplicada y el estado de descomposición del residuo.<sup>26</sup>
- f) **Permeabilidad:** La permeabilidad (conductividad hidráulica) de los desechos sólidos compactados es una propiedad física importante porque gobierna el movimiento de líquidos y gases en un vertedero. La permeabilidad depende de distribución del tamaño de poro, área de superficie y porosidad.<sup>27</sup>
- **Propiedades químicas** <sup>28</sup>

“Las propiedades químicas de los residuos sólidos y sus componentes son una parte indispensable que permiten evaluar las diferentes opciones de procesamientos y recuperación, para determinar si se puede utilizar como combustibles o pueden ser reinsertados en una cadena productiva y la posibilidad de producir fertilizantes para la recuperación de los suelos, como compost, con la apropiada relación carbono/nitrógeno”.

A continuación, en la Tabla 4 se muestra el porcentaje típico de los elementos químicos que constituyen los RSO.

Tabla 4. Porcentaje de elementos químicos en los RSO

TIPO DE RESIDUOS	C	H	O	N	S	CENIZA
Orgánicos	48	6,4	37,6	2,6	0,4	5

Fuente: ALVARO GUALOTO, Madeleine Estefanía y OLIVES ERAZO, Ana Cristina. Identificación del potencial aprovechable de los residuos sólidos orgánicos que se generan en mercados, supermercados, parques, jardines y diferentes sectores industriales de la Zona Sur del Distrito Metropolitano de Quito. Tesis de Licenciatura, 2013.

<sup>25</sup> Ibid. p. 17.

<sup>26</sup> Ibid. p. 17.

<sup>27</sup> Ibid. p. 17.

<sup>28</sup> Ibid., p. 12.

En la siguiente Tabla 5 se puede observar la clasificación química de los residuos sólidos urbanos

Tabla 5. Clasificación química de los residuos sólidos urbanos

<b>Químicamente estos residuos pueden clasificarse</b>	
Grasas, aceites, resina, terpenos	Carbohidratos: azúcares, almidón, hemicelulosa, celulosa, poliuronidos
Ácidos orgánicos	Aldehídos, cetonas, alcoholes
Lignina	Compuestos cíclicos: fenoles, quinonas, taninos
Alcaloides y bases orgánicas	Proteínas, aminoácidos, aminos y otros compuestos nitrogenados
Enzimas, hormonas, vitaminas, pigmentos, sustancias antibióticas	Constituyentes minerales: fosfatos, sulfatos, carbonatos, halogenados, nitratos sales de potasio, sodio, calcio, magnesio y microelementos

Fuente: elaboración propia

**1.1.3.3. Composición de los residuos sólidos urbanos (RSU).** Según el documento CONPES 3874 de 2016, el 83% de los residuos sólidos domiciliarios que se genera en Colombia van a los rellenos sanitarios y solo el 17% es recuperado por recicladores para su reincorporación al ciclo productivo (DNP y BM, 2015), situación que afecta el medio ambiente.

Los residuos sólidos urbanos están compuestos de los siguientes materiales: Vidrio, papel y cartón, restos orgánicos, plásticos, textiles, metales, madera, escombros.<sup>29</sup> Para (Pecoraio, 2018) los residuos sólidos urbanos se dividen en: Materia orgánica 60%, Papel 13%, Plástico 10%, Metales 3%, Vidrio 3%, Otros materiales 11%.

**1.1.4. Manejo integral de los residuos sólidos urbanos (RSU)** <sup>30</sup>. Según lo definido en la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos el manejo integral de los residuos comprende su generación, separación en la fuente, recolección, transferencia y transporte, aprovechamiento, tratamiento y su disposición final. Igualmente, determina la escala de Jerarquías para el tratamiento de residuos. En primer orden las medidas para prevenir que se generen residuos, consecutivamente para reducir los residuos sólidos, por ejemplo, a través de la reutilización<sup>31</sup>, para dar paso posteriormente al aprovechamiento, entendido como

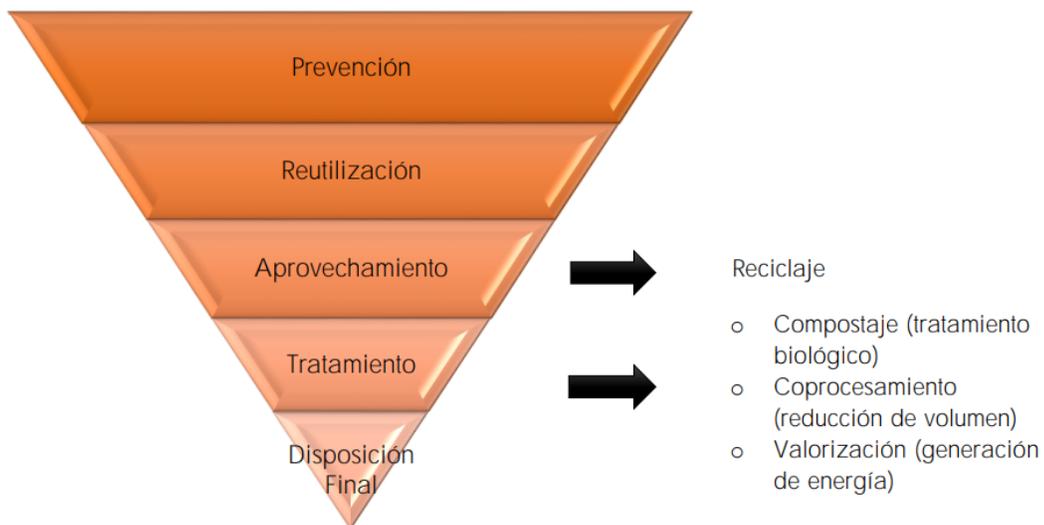
<sup>29</sup> GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS URBANOS. Gestion de los RSU. Universidad de Educación a Distancia – UNED, Semana de la Ciencia, España.

<sup>30</sup> DOCUMENTO CONPES 3874. Política nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Bogotá, DC, 21 de noviembre de 2016.

<sup>31</sup> DOCUMENTO CONPES 3874. Op. Cit., p. 25.

reciclaje. Después de esta medida siguen las acciones de tratamiento de residuos no aprovechables para: (i) la reincorporación de los materiales a procesos productivos (p. ej. el compostaje o la digestión anaeróbica); (ii) la valorización a través de generación de energía antes de ser dispuestos; o (iii) la reducción del volumen o tamaño antes de su disposición final. La última medida en términos de prioridad es la disposición final. Esta medida es el último recurso para los residuos sólidos que no se han podido evitar, desviar o recuperar en los pasos anteriores.

Figura 2. Escala de jerarquías para el tratamiento de residuos sólidos



Fuente: DOCUMENTO CONPES 3874. Política nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Bogotá, DC, 21 de noviembre de 2016

**1.1.5. Aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos.** En Colombia ha crecido el interés por reciclar y disminuir la contaminación e interiorizar los principios de la economía circular. Una manera de contrarrestar la problemática de las basuras es convertir los residuos orgánicos en compostaje. De hecho, la Superintendencia de Servicios Públicos y Domiciliarios (Superservicios) estima que entre 60% y 70% de los residuos sólidos del país se pueden aprovechar de esta manera. Además, esta práctica es útil para los hogares, pues se estima que 40% de la basura diaria que genera es materia orgánica.

De acuerdo a la Política para la Gestión de Residuos<sup>32</sup>, el aprovechamiento se entiende como el conjunto de fases sucesivas de un proceso, cuando la materia

<sup>32</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Resolución 472. Op Cit; p. 13.

inicial es un residuo, entendiéndose que el procesamiento tiene el objetivo económico de valorizar el residuo u obtener un producto o subproducto utilizable. A continuación, se describen algunos de los tipos de aprovechamiento que se logran a partir del tratamiento de los residuos sólidos orgánicos urbanos.

**1.1.4.1. Alimentación animal.** En muchos hogares, especialmente los de la zona rural, los residuos sólidos orgánicos, provenientes de los restos de comida, son separados para alimentar a los animales, como cerdos, gallinas y ganado. En otros casos, son separados para incorporar nuevamente a los suelos sin ningún proceso de clasificación ni control.

Estos residuos orgánicos son de difícil acumulación por el alto grado de humedad, en corto tiempo se fermenta, por lo tanto, su utilización debe ser rápida con el fin de evitar su descomposición y generar problemas al ser utilizados como alimento para animales. Por esto, la incorporación de ellos como complemento alimentario requiere de un proceso de separación teniendo en cuenta las cantidades, su contenido y los tiempos de utilización.

**1.1.4.2. Compostaje.** Tortosa lo define como un proceso biooxidativo controlado, que se desarrolla sobre sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, debido a la actividad secuencial de una gran diversidad de microorganismos. Implica el desarrollo de una fase termofílica que genera temporalmente fitotoxinas, siendo productos de la biodegradación el dióxido de carbono, agua, minerales y una materia orgánica estabilizada denominada COMPOST, con ciertas características húmicas y libre de compuestos fitotóxicos y agentes patógenos<sup>33</sup>.

Para Arroyave<sup>34</sup>, el compostaje es un proceso natural y biooxidativo en el que intervienen numerosos y variados microorganismos aerobios que requieren una humedad adecuada y sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, implica el paso por una etapa termófila dando al final como producto de los procesos de degradación de dióxido de carbono, agua y minerales, como también una materia orgánica estable, libre de patógenos y disponible para ser utilizada en la agricultura como abono acondicionador de suelos sin que cause fenómenos adversos.

➤ Factores que afectan el proceso de compostaje.

---

<sup>33</sup> TORTOSA, Germán. Definición de compostaje. ¿Qué es el compost?. 2008. [En línea] Recuperado en 2020-04-06. Disponible en: <http://www.compostandociencia.com/2008/09/definicion-de-compostaje-html/>

<sup>34</sup> ARROYAVE S, M.; VAHOS M, D. Evaluación del proceso de compostaje producido en un tanque bio reactor piloto por medio de bioaumentación. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 1999.

Las variables más importantes que afectan a los sistemas de compostaje pueden ser clasificados en dos tipos de parámetros en los que hay que establecer un control: parámetros de seguimiento (aquellos que han de ser medidos, seguidos durante todo el proceso y adecuados, en caso de ser necesario, para que sus valores se encuentren en los intervalos considerados correctos para cada fase del proceso para Jeris y Col (1973) y parámetros relativos a la naturaleza del sustrato (aquellos que han de ser medidos y adecuados a su valores correctos fundamentalmente al inicio del proceso para Madejón y Col (2001). Entre los parámetros de seguimiento se encuentran: temperatura, humedad, pH, aireación y espacio de aire libre. Entre los relativos a la naturaleza del sustrato: tamaño de partícula, relaciones C/N y C/P, nutrientes, materia orgánica y conductividad eléctrica. Los valores o intervalos óptimos están influenciados por las condiciones ambientales, el tipo de residuo a tratar y el sistema de compostaje elegido.<sup>35</sup>

➤ Parámetros de seguimiento

- **Temperatura:** Sirve como indicador, pues el proceso se inicia a temperatura ambiente, pero a medida que comienza la actividad microbiana esta se eleva hasta valores cercanos a 55 y 60 °C, dicha etapa se conoce con el nombre de termófila, y es muy importante para la eliminación de agentes patógenos y semillas de hierbas indeseadas. En la siguiente etapa disminuye la temperatura entre los 30 – 35 °C y 40 – 45 °C, se bioestabiliza la materia orgánica (C/N cercano a 18), y finalmente la humificación (C/N menor a 12) donde se llegan a temperaturas mesófilas (CEMPRE, 1998). Durante el proceso de fermentación la temperatura se deberá mantener entre los 35 y 60° C para sostener las condiciones que restringen el desarrollo de los agentes patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas (Fuentes, 2000).
- **Humedad:** Es muy relevante para el éxito del proceso, se considera que entre un 50 y 80% de contenido de humedad es adecuado para el desarrollo de los microorganismos descomponedores (Brutti, 2001).
- **pH:** Funciona como parámetro de control. La basura fresca es ligeramente ácida entre 6 y 7. Al comienzo de la reacción debe bajar a un rango entre 4,5 y 5,5. Luego, a medida que la temperatura aumenta, debe llegar entre 8 y 9, mientras que al finalizar el proceso el pH debe acercarse a un valor neutro (Morales, 2003).
- **Aireación:** Es necesaria para proporcionar oxígeno suficiente a los microorganismos aeróbicos, y así estos puedan estabilizar los residuos

---

<sup>35</sup> BUENO MÁRQUEZ, Pedro.; DÍAZ BLANCO, Manuel Jesús y CABRERA CAPITÁN, Francisco. Factores que afectan al proceso de Compostaje. En: : MORENO CASCO, J.; MORAL HERRERO, R. coord. Compostaje. España. Mundi Prensa Libros S.A. 2008. pp. 93-110.

orgánicos (Santibáñez, 2002). La aireación se puede lograr por medio de distintos métodos tales como el volteo periódico o la inserción de tubos perforados en las pilas de compost.

Existe otro método más eficiente, basado en la aireación forzada impulsada por una bomba a través de tubos, pero se debe tener cuidado en que la aireación no sea excesiva ya que se pierde calor y se produce un gasto innecesario de energía. En tanto que un déficit produce un estado anaeróbico que limita la descomposición (Santibáñez, 2002).

- **Espacio de aire libre:** Siendo el compostaje un proceso biológico de descomposición de la materia orgánica, la presencia de agua es imprescindible para satisfacer las necesidades fisiológicas de los microorganismos, puesto que esta es el medio de transporte tanto de las sustancias que sirven de alimento a las células, como de los productos de deshecho de la reacción (Hoitink y col., 1995). La humedad (contenido en agua) de la masa de compostaje debe ser tal que el agua no llegue a ocupar totalmente los poros de dicha masa y permita la circulación tanto del oxígeno (ya que el proceso debe desarrollarse en condiciones aeróbicas), como de otros gases producidos en la reacción.

Shulze (1962) utiliza por primera vez el concepto de Espacio de Aire Libre (Free Air Space, FAS), adoptado de la ciencia del suelo, que relaciona los contenidos de humedad (H), la densidad aparente ( $D_a$ ), la densidad real ( $D_r$ ) y la porosidad (P), es decir, que tiene en cuenta la estructura física de los residuos<sup>36</sup>.

➤ Parámetros relativos a la naturaleza del sustrato

- **Tamaño de partícula:** El tamaño inicial de las partículas que componen la masa a compostar es una importante variable para la optimización del proceso, pues entre más grande sea la superficie expuesta al ataque microbiano por unidad de masa, más rápida y completa será la reacción, por lo tanto, el desmenuzamiento del material facilita el ataque de los microorganismos y aumenta la velocidad del proceso. Se ha descrito en una experiencia con residuos agroindustriales que la velocidad del proceso se duplicaba al moler el material. Pero, aunque un pequeño tamaño de partícula provoca una gran superficie de contacto para el ataque microbiano, también se reduce el espacio entre partículas y aumenta las fuerzas de fricción (Haug, 1993); esto limita la difusión de oxígeno hacia el interior y de dióxido de carbono hacia el exterior, lo cual restringe la proliferación microbiana y puede dar lugar a un colapso microbiano al ser imposible la aireación por convección natural. Por otra parte, un producto muy fino no es aconsejable por riesgos de compactación.

---

<sup>36</sup> BUENO MÁRQUEZ, DÍAZ BLANCO y CABRERA CAPITÁN, Op. Cit. p. 2.

En las referencias bibliográficas consultadas utilizan como sustrato residuos orgánicos y en cada una consideran diferentes dimensiones, que varían de 1 a 5 cm de acuerdo con el criterio del autor. Entre 1 y 5 cm (Haug, 1993), entre 2 y 5 cm (Kiehl, 1985) o entre 2,5 y 2,7 cm (Tchobanogolus y col., 1994).<sup>37</sup>

- **Relación carbono/nitrógeno (C/N):** Es determinante para la formación de compost, ya que el carbono es fuente de energía y el nitrógeno es necesario para el crecimiento y funcionamiento celular de los microorganismos (Richard, 1992). Una alta relación C/N retarda el proceso y una muy baja impide la descomposición, por lo que se considera que una relación en el rango de 20/1 a 30/1 es favorable para el desarrollo de los microorganismos, sin diferenciar el tipo de sustrato (Soto y Muñoz, 2002).

En general, los materiales que son verdes y húmedos, como residuos de césped, plantas, restos de frutas y verduras, poseen altos contenidos de nitrógeno y, por lo tanto, una relación C/N más baja. En cambio, una relación más alta la poseen aquellos que son de color café y secos, como hojas otoñales, chips de madera, aserrín y papel, ya que contiene mayor cantidad de carbono (Richard, 1992).

- **Nutrientes:** La utilidad agronómica de los residuos con posibilidad de ser compostados está en función de la disponibilidad de los elementos nutritivos que posean (Kiehl, 1985). Se comprueba que, en general, entre el inicio y el final de la incubación se produce un aumento de las concentraciones de los distintos nutrientes, debido a la pérdida de materia orgánica de la masa a compostar (Díaz y col, 2004, Michel y col., 2004).
- **Materia Orgánica:** El conocimiento del contenido de los composts en materia orgánica es fundamental, pues se considera como el principal factor para determinar su calidad agronómica (Kiehl, 1985). Durante el compostaje la materia orgánica tiende a descender debido a su mineralización y a la consiguiente pérdida de carbono en forma de anhídrido carbónico; estas pérdidas pueden llegar a representar casi el 20% en peso de la masa compostada (Zucconi y col, 1987)<sup>38</sup>

---

<sup>37</sup> Ibid. p. 46.

<sup>38</sup> Ibid. p. 93.

➤ **Condiciones óptimas del proceso de compostaje**<sup>39</sup>. Según Pérez (2010) un control eficiente de los parámetros que se muestran en la Tabla 6 permitirá tener un proceso que trabaje de forma óptima disminuyendo el tiempo de producción del compost y como consecuencia aumentando las ganancias económicas. Entre las variables más exigentes están la humedad, la relación C/N y la temperatura. No obstante, el control de la mayor cantidad posible de parámetros en el proceso garantiza los mejores resultados.

Tabla 6. Condiciones óptimas del proceso de compostaje

Parámetro	Rango
Relación C/N	20 - 40
Humedad	40 - 65
Temperatura	40 - 65
pH	5,5 - 9
Tamaño de partícula	13 m

Fuente: PÉREZ, N. Compostaje Vs Residuos Orgánicos, Cuba, 2010

➤ **Fases del compostaje.** El compostaje presenta cuatro etapas definidas de acuerdo a la temperatura generada durante el proceso<sup>40</sup>. Estas son:

- **Fase mesófila:** El material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C. Este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. La descomposición de compuestos solubles, como azúcares, produce ácidos orgánicos y, por tanto, el pH puede bajar (hasta cerca de 4.0 o 4.5). Esta fase dura pocos días (entre dos y ocho días).<sup>41</sup>
- **Fase termófila o de higienización:** Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos) son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), que actúan facilitando la degradación de fuentes más complejas de C, como la celulosa y la lignina<sup>42</sup>.

<sup>39</sup> Ibid. p. 19.

<sup>40</sup> MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR. Experiencias en América Latina. p.23. [en línea]. 2019. Actualizado el 3 junio de 2019. [Consultado 3 de diciembre de 2019]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

<sup>41</sup> MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR. Experiencias en América Latina, Op. Cit., p. 23.

<sup>42</sup> Ibid. p. 23.

Estos microorganismos actúan transformando el nitrógeno en amoníaco por lo que el pH del medio sube. En especial, a partir de los 60 °C aparecen las bacterias que producen esporas y actinobacterias, que son las encargadas de descomponer las ceras, hemicelulosas y otros compuestos de C complejos. Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores<sup>43</sup>.

Esta fase también recibe el nombre de fase de higienización, pues el calor generado destruye bacterias y contaminantes de origen fecal como *Escherichia coli* y *Salmonella* spp. Las temperaturas por encima de los 55°C eliminan los quistes y huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado.<sup>44</sup>

- **Fase de enfriamiento o mesófila II:** Agotadas las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C. Durante esta fase, continúa la degradación de polímeros como la celulosa, y aparecen algunos hongos visibles a simple vista. Al bajar de 40 °C, los organismos mesófilos reinician su actividad y el pH del medio desciende levemente, aunque en general el pH se mantiene ligeramente alcalino. Esta fase de enfriamiento requiere de varias semanas y puede confundirse con la fase de maduración.<sup>45</sup>
- **Fase de maduración:** Es un período que demora meses a temperatura ambiente, durante los cuales se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.<sup>46</sup>

---

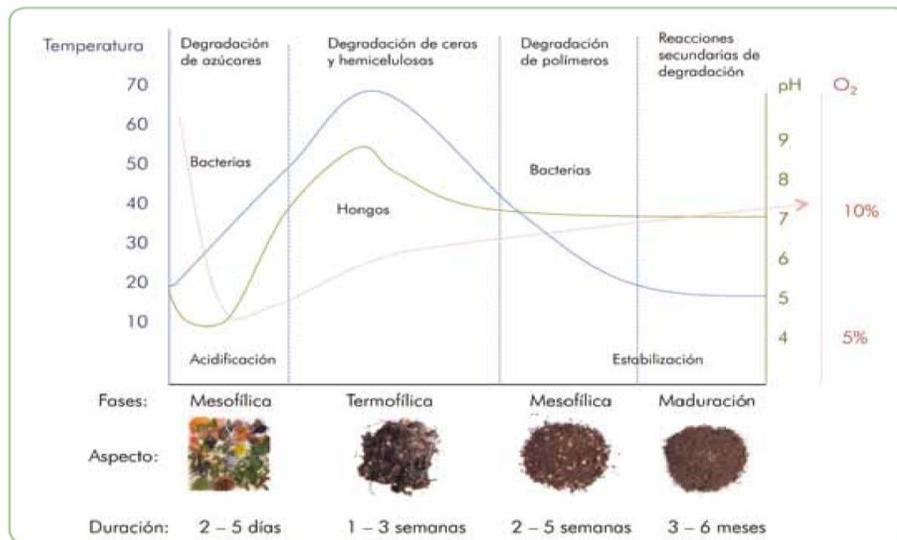
<sup>43</sup> Ibid. p. 23.

<sup>44</sup> Ibid. p. 23.

<sup>45</sup> Ibid. p. 24.

<sup>46</sup> Ibid., p. 24

Figura 3. Temperatura, Oxígeno Y Ph en el proceso de Compostaje



Fuente: MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR. Experiencias en América Latina. p.23. [en línea]. 2019. Actualizado el 3 junio de 2019. [Consultado 3 de diciembre de 2019]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

➤ **Sistemas de compostaje<sup>47</sup>.** Los sistemas utilizados se pueden clasificar en dos grupos: abiertos y cerrados (Tabla 7). En los primeros el compostaje se realiza al aire libre, en pilas o montones, mientras que, en los segundos la fase de fermentación se realiza en reactores.

La selección del tipo de sistema a utilizar depende del clima donde se realice el proceso, el material a utilizar, el terreno disponible y la necesidad de abreviar el tiempo para la producción del compost.

Los sistemas abiertos pueden ser de menor costo su instalación y su manejo es más sencillo, mientras que los sistemas cerrados requieren una infraestructura más compleja y costosa, por las instalaciones y tipo de maquinaria a utilizar.

### a) Sistemas abiertos

En este sistema los sustratos a compostar se disponen en montones o pilas que pueden estar al aire libre o en naves. La aireación puede hacerse por volteo mecánico de la pila o mediante ventilación forzada. Los sistemas más utilizados son los siguientes:

<sup>47</sup> NEGRO, M. J, VILLA, F, AIBAR, J, ALARCÓN, R, CIRIA, P, CRISTÓBAL, M. V. *et al.*, Producción y Gestión del Compost., p. 12. [En línea]. Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/16792/1/2000%20Compost%20CIEMAT.pdf>

- **Compostaje en pilas estáticas con aireación natural.** El proceso para el compostaje en pilas es el más utilizado por sus bajos costo. Los materiales se amontonan sobre el suelo o pavimento, sin comprimirlos en exceso, siendo muy importante la forma y medida de la pila. Estas se realizan de altura reducida y no se mueven durante el compostaje. La ventilación es natural a través de los espacios de la masa a compostar. Las dimensiones de los montones pueden estar en función de los equipos utilizados para compostar, pero para éste sistema, no interesa que sean más altos de 1,5 m, con una anchura en su base de unos 2,5-3 m, de la longitud deseada y de frente triangular, debiendo presentar mayor pendiente en los lugares o épocas más lluviosas<sup>48</sup>.
- **Compostaje en pilas estáticas con ventilación forzada.** Estos sistemas permiten tener un mayor control de la concentración de oxígeno y mantenerla en un intervalo apropiado (15-20 %) para favorecer la actividad metabólica de los microorganismos aerobios que desarrollan el proceso.

El aporte de oxígeno se realiza por varias vías, succión o insuflado así como las variantes que incluyen a los dos tipos. El aporte de oxígeno puede realizarse de forma continua, a intervalos o ligados a un termostato que, llegada una determinada temperatura (aprox. 60°C) acciona el mecanismo de inyección de aire hasta que la temperatura desciende hasta el valor deseado. Una vez que se constituye la pila, no se toca, en general, hasta que la etapa activa de compostaje sea completa.<sup>49</sup>

- **Compostaje en pilas por volteo.** Es uno de los sistemas más económicos y sencillos de operar. Este sistema se caracteriza por que la pila se remueve periódicamente para homogenizar la mezcla y su temperatura a fin de eliminar el excesivo calor, controlar la humedad y aumentar la porosidad de la pila para mejorar la ventilación<sup>50</sup>. Aunque es un sistema muy utilizado, tiene una serie de limitaciones. Requiere de más espacio y el control higiénico es más difícil. El tamaño de la pila fermentable es mayor que en el caso anterior, permitiendo alturas en torno a 2,5 m.

La frecuencia del volteo depende del tipo de material, de la humedad y de la rapidez con que interesa que sea realizado el proceso.

---

<sup>48</sup> NEGRO, VILLA, AIBAR, ALARCÓN, CIRIA, CRISTÓBAL, M. V. et al., Op. Cit., p. 13.

<sup>49</sup> SISTEMAS Y TÉCNICAS PARA EL COMPOSTAJE. p. 4. [En línea]. Recuperado en 2020-03-01. Disponible en: [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/sistemas\\_y\\_tecnicas\\_para\\_el\\_compostaje.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/sistemas_y_tecnicas_para_el_compostaje.pdf)

<sup>50</sup> Ibid. p. 4.

## b) Sistemas cerrados<sup>51</sup>

En estos sistemas se caracterizan por que la fase inicial de fermentación se realiza en reactores que pueden ser horizontales o verticales y, la final de maduración se hace al aire libre. Estos sistemas permiten un mejor control de los distintos parámetros del proceso, así como un menor tiempo y la posibilidad de realizar un proceso continuo. Entre estos sistemas podemos destacar:

- **Reactor verticales<sup>52</sup>**. Los reactores verticales pueden operar de forma continua o discontinua. En el primer caso, el material a compostar se encuentra en forma de masa única, mientras que, en el segundo, la masa en compostaje se sitúa en distintos niveles. El bioreactor consta de un cilindro cerrado, aislado térmicamente, que en su parte inferior posee un sistema de aireación y extracción de material. El material se introduce por la parte superior mediante un tornillo alimentador. A medida que se va extrayendo el material compostado, el material fresco va descendiendo. El control de la aireación se realiza por la temperatura y las características de los gases de salida (éstos son aspirados por la parte superior del reactor). El tiempo de residencia es de 2 semanas.

Los reactores verticales discontinuos constan de un depósito cilíndrico de grandes dimensiones dividido en varios niveles (cada nivel tiene de 2 a 3 m de altura). La materia a compostar se coloca en el piso más alto y mediante dispositivos mecánicos se voltea la masa a la vez que va descendiendo al piso inferior. La humedad requerida para llevar a cabo el proceso se consigue o bien por evaporación del agua del material situado en los niveles inferiores, la cual se encuentra a una mayor temperatura, o bien se dispone de sistemas de suministro de agua. Cuando la fracción orgánica ha descendido al último piso se da por concluida la fermentación y el compost sale al parque de maduración. El tiempo en el fermentador es de una semana. El inconveniente de este tipo de reactores es el elevado coste de instalación y de mantenimiento de la planta. Otra variante de reactor vertical es el reactor circular. Los que existen actualmente tienen un diámetro de 6 a 36 metros y una altura de 2 a 3 metros. El material a compostar se introduce por la parte superior del reactor y la masa se voltea mediante un brazo giratorio. La salida del material se realiza por el centro de la base. La aireación se realiza por la parte inferior. El tiempo de retención es de 10 días, los cuales, una vez transcurridos, pasan al parque de maduración.

---

<sup>51</sup> Ibid. p. 15.

<sup>52</sup> Ibid. p. 15.

- **Reactores horizontales**<sup>53</sup>: Bioestabilizador DANO. Estos reactores consisten en un cilindro horizontal que suele tener de dos a tres metros de diámetro y giran a una velocidad de 2 rpm a lo largo de su eje longitudinal. El proceso consiste en un tratamiento mecánico continuo. El tiempo de permanencia de los residuos dentro del fermentador es de 24-36 horas durante el cual la materia orgánica es físicamente separada del resto de componentes al mismo tiempo que se inicia el proceso de degradación microbiana. En estos reactores no se produce un auténtico compostaje sino una fase de preparación del sustrato de tipo físico-químico. El material resultante es compostado finalmente en pilas o en el reactor.

En ellos el material generalmente preseleccionado (separación de inertes) se somete al proceso de compostaje durante 15 a 30 días en condiciones estáticas (reactor túnel) o de volteo periódico (reactor rectangular dinámico). Dentro de este grupo están los reactores de túnel, los que se encuentran en servicio tienen forma de caja rectangular de 4 m de altura, 5,5 m, de ancho y longitud variable según el volumen a tratar. La agitación se logra mediante sistemas hidráulicos y la aireación se realiza por sistemas situados en la parte inferior. El tiempo de retención es de 14 días y el producto requiere generalmente un tratamiento posterior.

Finalmente, y a modo de resumen, en la Tabla 7 se exponen bajo diferentes criterios las características más relevantes que presentan los sistemas abiertos y los sistemas cerrados por considerarlos interesantes a la hora de realizar una elección entre ambos tipos de sistemas.

---

<sup>53</sup> Ibid., p. 17.

Tabla 7. Sistemas de compostaje (En composting of agricultural and other wastes 1984)

Sistemas Abiertos	Apilamiento estático	Con aire por succión
		Con aire soplado en conjunción con control de temperatura
	Apalancamiento con volteo	Ventilación alternante (succión y soplado) y control de temperatura
		Apalancamiento con volteo y aireación forzada
Sistemas cerrados	Reactores verticales	Continuos
		Discontinuos
	Reactores horizontales	Estáticos
		Con rotación

Fuente: VICENTE, J., CARRASCO, J. E., NEGRO, M. J. y Centro de Investigaciones Energeticas, Medioambientales y Tecnologicas-CIEMAT, Madrid (Spain). El compostaje como tecnología para el tratamiento de residuos compostaje de bagazo de sorgo dulce con diferentes fuentes nitrogenadas. *Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. Ed. Ciemat. Madrid, España. Informe Técnico, 1996. (802), 49*

➤ **Utilización del compost<sup>54</sup>.** El compost, según su composición y sus características, puede tener diferentes usos. Cuando muestra contenidos relativamente altos de metales pesados puede utilizarse en parques y jardines urbanos, pero si se presenta cierto exceso de sales se puede utilizar con las debidas precauciones en la recuperación de suelos degradados. Aunque es variable el grado de salinidad que puede presentar un compost, siempre está dentro de unos niveles que no reviste riesgo aparente de salinización para el suelo. No obstante, el nivel en sodio no deberá sobrepasar el límite del 0,5% sobre su contenido total de materia seca.

Si el compost contiene buenos nutrientes, materia orgánica y no presenta las contraindicaciones anteriores, se puede utilizar como abono en los cultivos para la alimentación humana o animal. Y si tiene unas propiedades físicas adecuadas puede servir como sustituto parcial de las turbas y como abono en el cultivo de plantas ornamentales, aún cuando muestre un contenido de metales pesados relativamente elevado.

<sup>54</sup> JARAMILLO HENAO, ZAPATA MÁRQUEZ, Op. Cit., p. 41.

## 1.2 LOS RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES COMO ACONDICIONARES DE SUELOS

En la investigación adelantada por Puerta (2003), se reconoce que el compostaje de residuos orgánicos municipales puede presentar riesgos y ocasionar daños al ser utilizado como acondicionador de suelos, debido al exceso de materiales inertes, emisión de malos olores, salinidad elevada, toxicidad por contaminantes orgánicos, toxicidad por metales pesados, inmadurez del proceso y presencia de organismos patógenos. Por lo anterior, es necesario hacer evaluaciones de los parámetros físico-químicos y microbiológicos del proceso, teniendo en cuenta la normatividad vigente colombiana que regula los materiales orgánicos usados como fertilizantes y acondicionadores de suelos para Colombia: Norma Técnica Colombiana 5167 y la Resolución 00150 del 21 de enero de 2003 del ICA<sup>55</sup>.

En este artículo (PUERTA 2003) también se determinan los parámetros físico-químicos y microbiológicos óptimos del compost para ser utilizado como acondicionador del suelo, según la NTC 33,34.

Los parámetros físico-químicos del producto sólido obtenido por mezcla o combinación de abonos orgánicos de origen animal y/o vegetal o provenientes de residuos sólidos urbanos no separados en la fuente que contienen porcentajes mínimos de materia orgánica expresada como carbono orgánico y de los elementos que se indican: Pérdidas por volatilización % \*, contenido de cenizas %\*, Contenido de humedad Máximo 15%\*, contenido de Carbono Orgánico Total >5 y <15%, N total+ P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + K<sub>2</sub>O min. 10%, riqueza mínima de cada elemento 2%, CaO + MgO + elementos menores mínimos. 10%, Densidad Mayor de 1 g/cc, pH reportarlo, residuo Insoluble Máximo 50% del contenido de cenizas = \* La suma de estos parámetros debe ser 100.

En la Tabla 8 se muestra los límites máximos permisibles de metales pesados en los residuos sólidos urbanos separados en la fuente

Tabla 8. límites máximos permisibles de metales pesados residuos sólidos urbanos separados en la Fuente

Elemento	Límite máximo permisible mg/Kg.
Arsénico	15
Cadmio	0,7
Cromo	70
Mercurio	1
Níquel	25
Plomo	140

Fuente: PUERTA ECHEVERRI, Silvia María. Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos, 2004.

<sup>55</sup> PUERTA ECHEVERRI, Silvia María. Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos, 2004.

Este mismo autor define cuales son los parámetros a garantizar en base húmeda: Contenido de carbono: % C, humedad máxima: %, contenido total de nitrógeno: % Nt, el nitrógeno se expresará en forma orgánica y mineral: N org N- NH<sub>4</sub> y N- NO<sub>3</sub>, contenido de Potasio: % K<sub>2</sub> O, contenido de Fósforo: % P<sub>2</sub> O<sub>5</sub>, contenido de Calcio: % CaO, contenido de Magnesio: % MgO, contenido de elementos menores: %, densidad en g/cc y contenido en elementos pesados.

Si los productos presentan contenidos de metales pesados superiores a los máximos citados anteriormente, pero no exceden los siguientes límites establecidos en mg/Kg: Arsénico (54,0), Cadmio (18,0), Cromo (1200), Mercurio (5,0), Níquel (180,0), y Plomo (300.0) deberá proponerse su uso únicamente para recuperación de zonas erosionadas, zonas de destinación forestal o zonas de recreación.<sup>56</sup>

De acuerdo con los parámetros de la NTC 5167, en este artículo el autor también definió los parámetros de los análisis microbiológicos para determinar la utilización del compost como fertilizante y acondicionador orgánico de origen no pedogenético, el cual deberá demostrar que no superan los siguientes niveles máximos de microorganismos patógenos: Salmonella sp.: Ausentes en 25 gramos de producto final, Enterobacterias totales: Menos de 100 UFC/g de producto final. Para evaluar si el producto presenta contenidos de microorganismos benéficos debe declararse el recuento de microorganismos mesófilos aerobios, mohos y levaduras. También se puede determinar la presencia o ausencia de protozoos y nematodos.

---

<sup>56</sup> PUERTA ECHEVERRI, Op. Cit., p. 62.

## 2. DIAGNÓSTICO

En este capítulo se muestra información general acerca del municipio de Alvarado, Tolima. La situación actual de los residuos sólidos residenciales en el pueblo, la cantidad producida y la composición de estos residuos, esto a través de la información brindada por la alcaldía municipal en el plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS) con última actualización el 24 de mayo de 2016 y el estudio de caracterización de los residuos realizado por la empresa INTERASEO S.A.S. E.S.P.

### 2.1 INFORMACIÓN GENERAL DEL MUNICIPIO DE ALVARADO

El municipio de Alvarado, se encuentra situado en el centro del Departamento del Tolima, su cabecera está a 35 Km de Ibagué, ciudad capital. Sus coordenadas y demás aspectos se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 9. Localización municipio de Alvarado Tolima

LOCALIZACIÓN		ASNM	TEMPERATURA °C	DISTANCIA A LA CAPITAL
Latitud norte	Longitud oeste			
4°34	74°57	439	26	35

Fuente: elaboración propia con referencia en PLAN DE DESARROLLO MUNICIPIO DE ALVARADO 2016 – 2019.

Municipio Alvarado, Tolima:

Imagen 1. Ubicación Geográfica



Imagen 2. Mapa Veredal



Fuente: PLAN DE DESARROLLO MUNICIPIO DE ALVARADO 2016 – 2019.

Alvarado limita al norte con el municipio de Venadillo, al sur con Ibagué, al oriente con el municipio de Piedras y al occidente con Anzoátegui. Según datos de la Alcaldía municipal, el pueblo cuenta con un área de 311.15 Kilómetros cuadrados, de los cuales el 0,19% (0.61 Km<sup>2</sup>) pertenecen al área urbana y el 99,81% (310,54Km<sup>2</sup>) al sector rural. La cabecera municipal se encuentra a 439 metros sobre el nivel del mar y la temperatura media es de 26° C. En cuanto a la división política – administrativa del municipio, el área urbana está conformada por 15 barrios y el área rural por 5 centros poblados y 30 veredas, como se muestra en las tablas 10, 11 y 12.

Tabla 10. Barrios de la zona Urbana Alvarado

<b>No. Barrio</b>	<b>Barrio</b>
1	El Carmen
2	Macondito
3	Helena Espinosa
4	Popular
5	Jorge Enrique Salive
6	Héctor Prada Salas
7	Olaya Herrera
8	Rafael Caicedo Espinosa
9	El Diamante
10	Los milagros
11	Caja Agraria
12	Centro
13	Luis Carlos Galán
14	Ofelia Rengifo
15	Sector la Bomba

Fuente: PLAN DE DESARROLLO MUNICIPIO DE ALVARADO 2016 – 2019.

Tabla 11. Centros poblados zona rural. Alvarado

<b>Centros poblados de la zona rural</b>	
Centro poblado	Caldas Viejo
Centro poblado	Rincón Chípalo
Centro poblado	Veracruz
Centro poblado	Totarito
Centro poblado	Tebaida

Fuente: PLAN DE DESARROLLO MUNICIPIO DE ALVARADO 2016 – 2019.

Tabla 12. Veredas del municipio de Alvarado

No.	Veredas	No.	Veredas	No.	Veredas
1	Cabecera del Llano	11	Juntas	21	Mercadillo
2	La caima	12	La chumba	22	Monte grande
3	Caldas Viejo	13	La guaruma	23	Piedras Blancas
4	Cruce de los guayabos	14	Laguneta	24	Potrerito
5	Cumina	15	La mina	25	Rincón Chípalo
6	Casitas	16	La pedregosa	26	Santo Domingo
7	El barro	17	La tebaida	27	Totarito
8	El convenio	18	La Tigra	28	Vallecito
9	Guamal	19	Los Guayabos	29	Veracruz
10	Hatico tamarindo	20	La Violetas	30	La Palmita

Fuente: PLAN DE DESARROLLO MUNICIPIO DE ALVARADO 2016 – 2019.

La economía del municipio se basa en la agricultura, la ganadería, sus grandes extensiones y su diversidad de zonas, tanto planas como montañosas sirven para el cultivo de diversidad de productos dentro de los que destacan el arroz, la caña la panelera, el café, el sorgo y la variedad de frutas. En cuanto a la ganadería, las ya mencionadas extensiones en pasto están dirigidas a la explotación de bovinos de carne y leche. En menor proporción se encuentra la Agroindustria dado a la producción de panela tipo exportación, quesos y derivados lácteos (quesillos, quesadillas, queso asado, entre otras).

## 2.2 GESTIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL MUNICIPIO DE ALVARADO

El municipio de Alvarado cuenta con una población total de 8.757 habitantes de los cuales 3.406 (38.89%) se encuentran ubicados en la cabecera municipal en 1.158 viviendas y el resto 5.351 (61.11%) se localizan en el área rural en 1.768 viviendas. Los habitantes de la zona urbana generan diariamente 3.1 toneladas de residuos sólidos, por lo tanto, se estima que se genera 0.3691kg/día en promedio por habitante de la zona urbana<sup>57</sup>.

<sup>57</sup> PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS. Municipio de Alvarado Tolima, 2016.

Tabla 13. Producción de residuos sólidos Alvarado 2015

Alvarado	Urbana		Rural		Total	
	Población	Viviendas	Población	Viviendas	Población	Viviendas
	3.406	1158	5.351	1768	8.757	2.926
Producción de residuos sólidos diarios: 3,1 Toneladas						
Promedio diario por habitante urbano: 0,91 Kg/día						

Fuente: elaboración propia, con referencia en: PLAN DE GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS. Municipio de Alvarado Tolima 2016-2019

El municipio tiene establecida una ruta para la recolección de los residuos sólidos que atiende 597 usuarios, 589 residenciales y 8 comerciales e industriales. El servicio se efectúa a través de un vehículo recolector y compactador de residuos sólidos y una cuadrilla de 3 operarios. Se realiza durante dos días a la semana, tanto en la cabecera municipal como en los centros poblados. La cobertura de recolección respecto a los usuarios (1.158) de la zona urbana, es del 51.55%. En el resto del sector rural la disposición final de desechos se realiza a cielo abierto sin ningún tipo de tratamiento y regularmente en los mismos alrededores de la vivienda.

El Municipio no cuenta con un sitio de disposición final residuos sólidos dentro de su jurisdicción, esta se realiza en Ibagué en convenio con la firma INTERASEO S.A.S ESP, la cual dispone de estos en la planta de tratamiento de residuos sólidos la MIEL legalmente autorizada.

Los desechos recolectados no tienen proceso de separación en la fuente, se puede evidenciar los días que se realiza la recolección cuando los habitantes sacan los residuos sólidos sin ningún tipo de clasificación. No existe la cultura sobre el manejo adecuado, la separación y aprovechamiento de estos. Las entidades gubernamentales han realizado campañas y jornadas de sensibilización al respecto. El proceso de recolección tampoco cuenta con los protocolos necesarios que permitan una separación de los residuos, todo va en un solo carro compactador, sin ninguna clasificación y en bolsas que no identifican el contenido de los mismos.

**2.2.1 Composición de los residuos sólidos del municipio de Alvarado.** De acuerdo con la clasificación de los residuos,<sup>58</sup> en la fuente en el área urbana, los que generan mayor cantidad de materia orgánica son los desechos alimenticios y de jardín con el 76.6%, los cuales podrían aprovecharse para la producción de abono orgánico. El 14.8% de los desechos es material reciclable, papel, plástico y cartón, y el resto son otros residuos.

Tabla 14. Composición de los residuos del municipio de Alvarado

<b>Tipo de residuo</b>	<b>% en peso</b>	<b>Ton/Día</b>
Residuos de comida y jardín	76.6%	0,651
Productos de papel	5.9%	0,050
Productos de cartón	5.32%	0,045
Plástico	3.6%	0,03
Caucho y cuero	0.72%	0,005
Textiles	0.94%	0,007
Madera	1.22%	0,010
Productos metálicos	0.5%	0,004
Vidrio	1.03%	0,008
Productos cerámicos, ceniza, roca y escombros	1.88%	0,015
Hueso	1.28%	0,010
Otros	1%	0,008
Total	99.89	0,849

Fuente: elaboración propia, con referencia en: PLAN DE GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS. Municipio de Alvarado Tolima 2016-2019

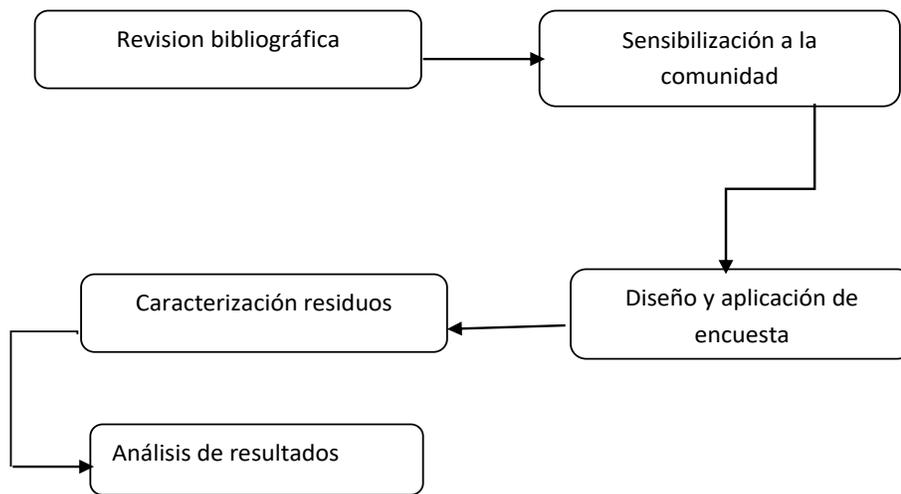
### **2.3 DESARROLLO DEL DIAGNÓSTICO**

Para el desarrollo de la caracterización y análisis de la situación de los residuos sólidos residenciales del municipio de Alvarado se realizaron las actividades que se muestran en el siguiente diagrama.

---

<sup>58</sup> INTERASEO S.A.S E.S.P. Caracterización de residuos sólidos residenciales, 2019

Figura 4. Diagrama de flujo Desarrollo del Diagnóstico



Fuente: elaboración propia

**2.3.1 Revisión datos históricos.** Esta revisión histórica se inició inmediatamente después de la identificación y definición del problema para la elaboración de la propuesta de aprovechamiento a través del compostaje de los residuos sólidos urbanos del municipio de Alvarado. Esta actividad se realiza a lo largo de todo el estudio. Primero se hizo la búsqueda de información sobre el aprovechamiento de residuos sólidos a través del compostaje en el municipio de Alvarado, al igual que reuniones con los funcionarios de la empresa de servicios públicos del municipio donde se discutió críticamente la información disponible en la empresa, la cual era útil para analizar los avances alcanzados en el manejo de los residuos sólidos urbanos.

Fuentes de información

- Primarias: Leyes, decretos, documentos CONPES, y demás normatividades que regulan el manejo de los servicios públicos, especialmente el de aseo y disposición final de residuos sólidos.
- Secundarias: Artículos científicos e investigaciones, informes y estudios de la empresa de servicios públicos del municipio, de la empresa INTERASEO y manuales orientadores para el manejo de los residuos sólidos.

**2.3.2 Sensibilización a la comunidad.** Con la ejecución del proyecto Educación Ciudadana en la Separación de Residuos Sólidos del Municipio Alvarado, Tolima, la Alcaldía municipal realizó la socialización de la propuesta a la comunidad por medio de reuniones, actividades pedagógicas, las cuales tuvieron gran aceptación debido a la importancia del tema y a la conciencia que, poco a poco, se ha ido generando en la comunidad al tocar los problemas ambientales y, además, genera expectativas económicas por presentar una oportunidad de negocio. En estas reuniones se realizaron campañas de orientación hacia la comunidad sobre el manejo de residuos sólidos desde sus hogares y la manera correcta de separarlos. Por último, se hizo énfasis en la importancia de reducir, reusar y reciclar para generar nuevos negocios y, al mismo tiempo, convertir a Alvarado en un municipio ambientalmente sostenible. (Folleto, Anexo A)

Campañas de sensibilización en el municipio por parte Alcaldía<sup>59</sup>

Imagen 3.



Fuente: INFORME PROYECTO EDUCACIÓN CIUDADANA EN LA SEPARACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO ALVARADO – TOLIMA. Arquitectura Humana, 2019

Imagen 4.



Fuente: INFORME PROYECTO EDUCACIÓN CIUDADANA EN LA SEPARACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO ALVARADO – TOLIMA. Arquitectura Humana, 2019

---

<sup>59</sup> INFORME PROYECTO EDUCACIÓN CIUDADANA EN LA SEPARACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO ALVARADO – TOLIMA. Arquitectura Humana, 2019.

### 2.3.3 Diseño y aplicación de la encuesta.

a) **Diseño Instrumento, la encuesta** Acerca de la construcción del instrumento, Hernández *et al.*, dicen que “esta etapa implica la generación de todos los ítems o reactivos y categorías del instrumento..., esta construcción depende del tipo de instrumento y formato... Al final de esta etapa el producto es una primera versión del instrumento”

Para la formulación de la encuesta se llevó una propuesta a la oficina de servicios públicos, la cual después de debatirla se le realizó las modificaciones y fue aprobada para su aplicación hacia la comunidad. Esta encuesta se diseñó para determinar el conocimiento de la comunidad sobre el manejo y aprovechamiento de los residuos sólidos. (Encuesta, Anexo B).

➤ **Técnica de muestreo.** Se utilizó la técnica de muestreo no probabilístico por conveniencia<sup>60</sup> que permite seleccionar aquellos casos accesibles que acepten ser incluidos. Para el desarrollo de este proyecto, se tomó una muestra superior al 10% de la población, que goza con el servicio de recolección de residuos (597 usuarios), residentes de los barrios Centro, Agrario y Olaya Herrera, teniendo en cuenta que este valor se considera representativo y lograra reflejar el comportamiento de la población estudio. Además, en este sector se realizan gran parte de las actividades comerciales del Municipio.

#### ➤ **Técnicas para recolectar la información**

- **Aplicación del instrumento:** Se aplicó la encuesta diagnóstica, se realizó mediante visitas a los lugares priorizados, donde se aplicó la encuesta y se brindó información complementaria sobre el proyecto a 100 usuarios residentes del sector urbano que habitan en los barrios Centro, Caja Agraria y Olaya Herrera e incluye establecimientos y viviendas diferentes estratos. Del total de la población visitada el 84% aceptó dar respuesta a la misma.

### 2.3.4 Caracterización de los residuos sólidos del municipio de Alvarado.

Como se indicó anteriormente, el municipio contrata con la empresa INTERASEO la prestación del servicio de disposición final de los residuos sólidos y esta se hace en el relleno sanitario la Miel ubicado en el municipio de Ibagué.

---

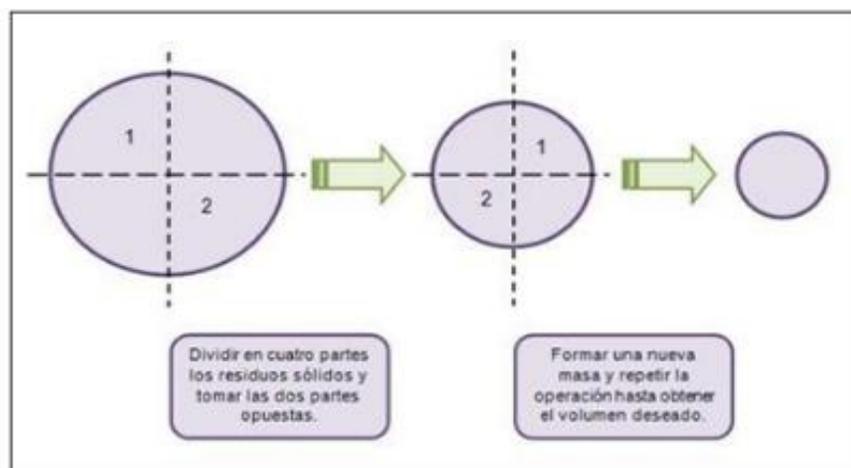
<sup>60</sup> OTZEN, Tamara y MANTEROLA, Carlos. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International journal of morphology*, 2017, vol. 35, no 1, p. 227-232.

La caracterización se tomó del estudio hecho por la entidad prestadora del servicio de disposición final de los residuos sólidos (Anexo C), INTERASEO S.A.E.S.P realizado bajo las especificaciones técnicas establecidas en el Numeral F1.4.3 del Título F del Reglamento de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2012.

En el informe se presentan los resultados por rutas regionales. En este caso, el municipio de Alvarado está incluida en la ruta Venadillo conformada por los municipios de Lérida, Venadillo, Anzoátegui y Alvarado, por lo tanto, para determinar la composición física y química de los residuos sólidos que están ingresando al relleno sanitario La Miel provenientes del municipio de Alvarado se realizó un análisis de las variables de participación de este municipio.

Según este informe<sup>61</sup>, durante el año 2018 se depositaron en el relleno sanitario La Miel 1.314.56 Toneladas provenientes de Alvarado. Para la caracterización de estos residuos utilizaron la técnica de cuarteo<sup>62</sup>, la cual consiste en tomar los residuos sólidos resultados del muestreo y verter el contenido formando un cono o pila sobre un área plana, luego se traspalea para homogenizar la muestra, a través de volteos; se divide en cuatro partes iguales 1, 2, 3, 4, como se observa en la figura 5, luego se eliminan las partes opuestas 3 y 4. Este proceso se repite hasta obtener el tamaño de la muestra requerida. Finalmente se tomó una muestra de 50 kg de residuos y se inició la caracterización de los residuos.

Figura 5. Especificaciones del tamaño de la muestra



Fuente: INTERASEO S.A.S E.S.P. Caracterización de residuos sólidos residenciales, 2019

<sup>61</sup> INTERASEO S.A.S E.S.P. Op. Cit. p. 32.

<sup>62</sup> JICA-MSPyBS. El estudio sobre el manejo de residuos sólidos en el área metropolitana de asunción. Japan International Cooperation Agency-Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social de la República del Paraguay, Py, 1994.

El tratamiento que se lleva a cabo luego de identificar los tipos de residuos que se encuentran en la muestra se rige bajo el Decreto 1713 de 2002 “Determinación de las características cualitativas y cuantitativas de los residuos sólidos, identificando sus contenidos y propiedades”.

Para la caracterización física se separaron los residuos según su tipo (las categorías contempladas fueron: papel y cartón, plástico, textiles, metales, madera, vidrio, residuos orgánicos y otros), los cuales fueron dispuestos en sacos o costales para luego proceder a su pesaje en la báscula.

De acuerdo con la clasificación de los residuos sólidos dispuestos en sacos, se procedió a pesar estos en la báscula para determinar el porcentaje de la muestra total. Finalmente se tomó una muestra de 12 kg, los cuales fueron analizados en laboratorio para determinar las características químicas. A la muestra se le realizó la respectiva cadena de custodia de acuerdo con las especificaciones técnicas establecidas en el Título F del RAS 2012, Numeral F.1.4.3.

A continuación se presenta el registro fotográfico de la metodología aplicada para la caracterización física de los residuos sólidos que llegan al relleno sanitario La Miel.<sup>63</sup>

---

<sup>63</sup> Ibid. p.17.

## Imagen 5. Registro fotografico de la metodologia de caracterizacio fisica de los RS MIEL



Fuente: El Consultor



Fuente: El Consultor



Fuente: El Consultor



Fuente: El Consultor



Fuente: El Consultor



Fuente: El Consultor

Fuente: INTERASEO S.A.S. E.S.P. Informe de Caracterización de los residuos sólidos en el relleno la Miel – Ibagué, 2019

A continuación, se presentan los resultados del diagnóstico, de la encuesta y los del estudio de caracterización de los residuos sólidos realizado por la empresa INTERASEO S.A.S. E.S.P.

**2.3.4.1 Análisis de resultados de la encuesta diagnóstica.** Para el diseño y formulación de las preguntas de la encuesta, inicialmente se tuvo en cuenta el objetivo de la misma, que es el de determinar el conocimiento de la comunidad sobre el manejo y aprovechamiento de los residuos sólidos, para lo cual se identifico la población a encuestar, el uso de preguntas cerradas, con opciones de respuestas para seleccionar, frente al servicio de recolección de residuos solidos en el area urabana del municipio de Alvarado. El análisis de los resultados de la encuesta se detalla a continuación:

Pregunta 1: ¿Cuántas personas permanecen en la vivienda o establecimiento?

Gráfico 1. Resultado primera pregunta de la encuesta

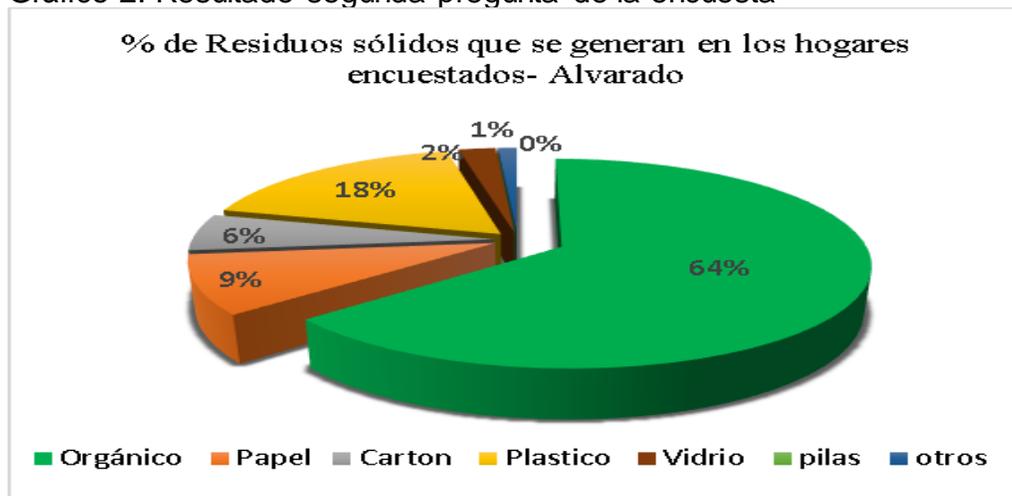


Fuente: elaboración propia

Para la primera pregunta del total de hogares encuestados en el 71% habitan más de dos personas, en el 27% dos y en el resto solo una persona, como se muestra en el gráfico 1.

Pregunta 2: Teniendo en cuenta que residuos sólidos se considera cualquier material en estado sólido, resultante del consumo diario, que generalmente se le conoce como basaura, ¿De los siguientes residuos sólidos cuales se generan con mayor cantidad en su hogar o establecimiento?.

Gráfico 2. Resultado segunda pregunta de la encuesta

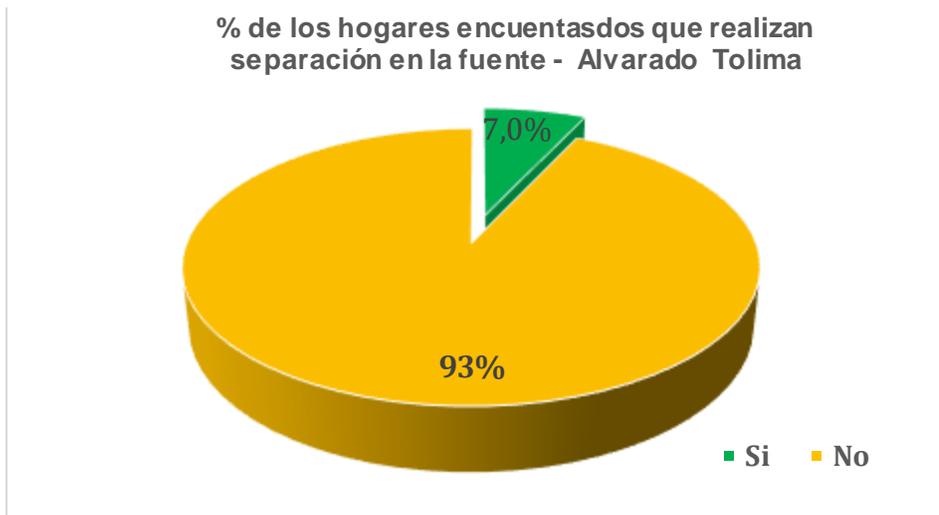


Fuente: elaboración propia

A la pregunta 2 del total de hogares encuestados en el 64% los residuos orgánicos son los que más se generan, seguido del plástico con el 17%. Es de resaltar que manifiestan que no generan residuos de baterías, como se evidencia en el gráfico 2.

Pregunta 3: ¿Realiza separación de estos residuos, en su hogar o establecimiento?

Gráfico 3. Resultado tercera pregunta encuesta



Fuente: elaboración propia

En la pregunta 3 del total de hogares encuestados el 93% no realiza separación de los residuos sólidos en la fuente, tal como se aprecia en el gráfico 3.

Pregunta 4: Si la respuesta anterior fue negativa, ¿Cuál cree usted que es la causa por la cual no se lleva a cabo la separación de residuos en su hogar?

Gráfico 4. Resultado cuarta pregunta encuesta.

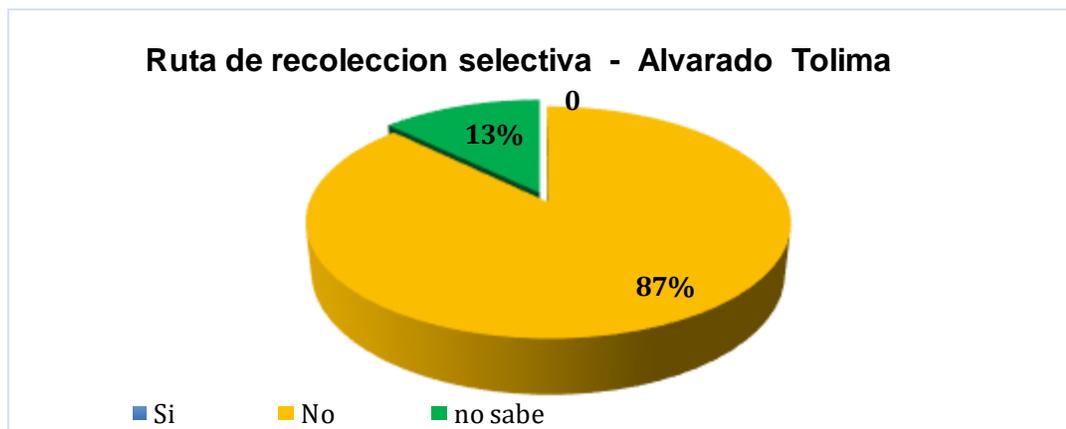


Fuente: elaboración propia

En el gráfico 4 se presentan los resultados a la pregunta cuatro del total de hogares encuestados el 47% manifestó que no realiza separación de los residuos sólidos en la fuente por falta de conocimiento y el 41% dice por falta de capacitación. Así mismo, el 13% dice que faltan estrategias por parte de la empresa de servicios públicos para poder hacer una separación en la fuente.

Pregunta 5: ¿Existe ruta de recolección selectiva en el sector donde reside?

Gráfico 5. Resultado quinta pregunta encuesta.

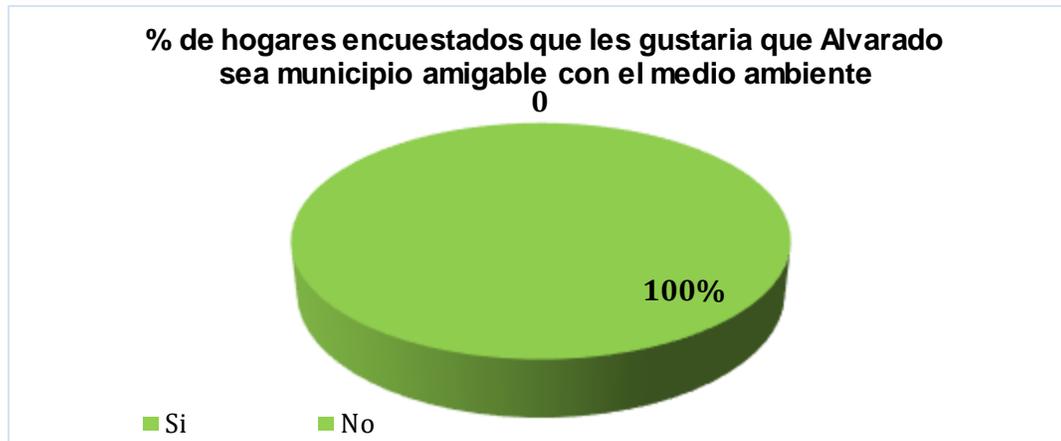


Fuente: elaboración propia

Del total de hogares encuestados el 87% manifiestan que no existen rutas selectivas, como se observa en el gráfico 5.

Pregunta 6: ¿Le gustaría que nuestro municipio sea reconocido como lugar limpio, libre de basuras y amigable con el medio ambiente?

Gráfico 6. Resultado sexta regunta encuesta.



Fuente: elaboración propia

En la pregunta número 6 el 100% de hogares encuestados manifiesta que el municipio de Alvarado sea reconocido como municipio amigable con el medio ambiente, tal como se aprecia en el gráfico 6.

De acuerdo con los resultados de la encuesta se puede evidenciar el desconocimiento que tiene la población sobre el manejo de los residuos sólidos domiciliarios. La empresa recolectora de residuos no tiene establecidas estrategias para que la comunidad realice la separación en la fuente.

Es necesario que la empresa de servicios públicos domiciliarios del municipio de Alvarado realice jornadas de capacitación, socialización, talleres a la comunidad y aprovechar el conocimiento que ya tienen algunas personas (7%) para que se conviertan en agentes ambientales como estrategia de acompañamiento a los hogares.

Establecer estrategias de identificación de los residuos sólidos en el momento de realizar la separación en la fuente, como bolsas diferentes colores, rutas de recolección diferenciadas, proponer bonos ambientales para los hogares que realicen la labor y determinar puntos ecológicos en espacios públicos.

**2.3.4.2 Análisis de resultados de la caracterización de los residuos sólidos del municipio de Alvarado<sup>64</sup>.** Del estudio de la caracterización de residuos sólidos residenciales depositados en el relleno sanitario La Miel, realizado por INTERASEO S.A.S E.S.P, 2019, se definió la características físicas y químicas de los residuos sólidos de Alvarado, teniendo en cuenta que en ese relleno se realiza la disposición final de los RSD de este municipio.

#### **a) Caracterización Física**

En razón a que la caracterización fue efectuada de forma agrupada por rutas, se determinó que la participación del municipio de Alvarado es de 8.03 kg de la muestra tomada de la ruta Venadillo (50 kg). La composición física de los residuos sólidos correspondientes a Alvarado arrojó el siguiente resultado:

Tabla 15. Composición física de los residuos sólidos Alvarado Tolima 2019

<b>Tipo de Residuo Sólido</b>	<b>kg</b>	<b>%</b>
Residuos orgánicos	2,41	30,05%
Papel y cartón	0,43	5,36%
Plástico	1,52	18,95%
Textiles	0,96	11,97%
Metales	0,29	3,62%
Vidrio	0,16	2,00%
Madera	0,05	0,62%
Otros	2,2	27,43%
<b>Total</b>	<b>8,02</b>	<b>100%</b>

Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en la Tabla 15 y en la figura anterior, la composición física de los residuos del municipio de Alvarado que llegan en mayor cantidad al relleno sanitario son los residuos orgánicos con el 30%, seguido de otros residuos con el 27,4%, los plásticos con el 19% y papel y cartón con el 5,4%. Los componentes de menor aporte son: madera, vidrio y metales, con una contribución que no supera el 4%.

Teniendo en cuenta lo anterior, se considera pertinente agrupar los diferentes componentes según el tipo de aprovechamiento caracterizados en las siguientes categorías: compostables, reciclables y no aprovechables, como se muestra en la tabla 16.

---

<sup>64</sup> Ibid., p. 22

Tabla 16. Categorización de los residuos según el tipo de aprovechamiento

<b>Tipo de residuo sólido según su aprovechamiento</b>	<b>Kg de la Muestra</b>	<b>Participation %</b>
<b>COMPOSTABLES</b>		
Residuos orgánicos	2,41	30,05%
Total compostable	2,41	30,05%
<b>RECICLABLES</b>		
Papel y cartón	0,43	5,36%
Plástico	1,52	18,95%
Textiles	0,96	11,97%
Metales	0,29	3,62%
Vidrio	0,16	2,00%
Madera	0,05	0,62%
Total Reciclables	3,41	42,52%
<b>NO APROVECHABLES</b>		
Otros	2,20	27,43%
Total no aprovechables	2,20	27,43%
Total	8,02	100,00%

Fuente: elaboración propia

En la siguiente grafica se puede observar que, para la aplicación del proyecto, los residuos del municipio poseen un porcentaje considerable de material aprovechable, reciclable un 43% y para compostable el 30%.

Gráfico 7. Tipo de composición de residuos sólidos que mas se genera en el municipio



Fuente: elaboración propia

## b) Caracterización Química<sup>65</sup>

En la tabla 17, se muestran los resultados fisicoquímicos de los análisis de laboratorio realizada a la muestra tomada de 12 kg, los cuales arrojaron las siguientes características químicas, de acuerdo con las especificaciones técnicas legales establecidas:

Tabla 17. Resultados fisicoquímicos de los residuos sólidos

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>BASE HÚMEDA</b>	<b>BASE SECA</b>
Peso específico	N/m	5.126.2	2.616.8
Humedad	%	48.95	
Conductividad hidráulica en residuos sólidos (Pem)	cm/h	70.21	
Carbono C	%	25.69	50.33
Hidrógeno H	%	3.40	6.66
Oígeno O	%	18.76	36.75
Nitrógeno N	%	0.26	0.51
Azufre S	%	0.029	0.06

Fuente: INTERASEO S.A.S. E.S.P. Informe de Caracterización de los residuos sólidos en el relleno la Miel – Ibagué, 2019, con referencia de: Laboratorio Dr. Carlderón.

El peso específico de los residuos sólidos para la muestra del relleno sanitario La Miel es de 5.126,2 N/m<sup>3</sup> (522,72 kg/m<sup>3</sup>) en base húmeda y 2.616,8 N/m<sup>3</sup> (266,83 kg/m<sup>3</sup>) en base seca. El contenido de humedad de base húmeda reportado fue de 48,95%.

Lo anterior indica que el comportamiento en el relleno sanitario La Miel evidencia una alta producción de materia orgánica, la cual tiende a tener un peso específico significativo al igual que contenido de humedad. Estos resultados son acordes a la caracterización física, en donde los residuos orgánicos representan el 30% del total de la caracterización realizada.

De igual manera, es importante recalcar que los valores en base seca de carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N) y azufre (S) indican que los residuos

<sup>65</sup> Ibid., p.32.

mantienen valores habituales de componentes combustibles de los residuos sólidos.

Finalmente, el resultado de la caracterización de los residuos orgánicos realizada por INTERASEO S.A.S ESP, como se observa en la gráfico 7, el 72,60% de los residuos cuentan con potencial de aprovechamiento, mientras que los no aprovechables tienen tan solo una participación del 27,40%, lo cual hace viable la producción de compostaje en toda la región analizada que incluye al municipio de Alvarado para la reducción de costos en el servicio de aseo por concepto de disposición final de los residuos y para la generación de una oportunidad de negocio.

### 3. PRODUCCIÓN DE COMPOST

En el siguiente capítulo se analizan y establecen los aspectos en el proceso de compostaje a través de un desarrollo experimental. Este inicia con la selección del tipo proceso a utilizar, seguido de la adecuación del terreno dispuesto por la alcaldía, posterior a esta se realiza la construcción del reactor para compostaje. Una vez esté en marcha el proceso se debe realizar medición y control de las variables que influyen en él, tal como se menciona en el numeral 1.2.5.2.1.1. Por último, se aplica el compost obtenido en un cultivo para analizar su eficiencia.

#### 3.1 MATRIZ DE SELECCIÓN DEL PROCESO

El proceso de compostaje se puede realizar en sistemas abiertos como son apilamiento estático y apilamiento con volteo y los sistemas cerrados son reactores estáticos y con volteo, los cuales pueden ser Horizontales y verticales, como se estableció en el numeral 1.2.5.3.4

Para la selección del tipo de proceso de compostaje a utilizar en este proyecto, en la siguiente tabla se muestran las ventajas y desventajas que presenta cada uno de estos para, posteriormente, ser evaluadas por medio de una matriz de selección con unos criterios establecidos de acuerdo a los requerimientos y necesidades de la administración municipal.

Tabla 18. Ventajas y Desventajas en los tipos de procesos de compostaje

Tipo de proceso de compostaje	Ventajas	Desventajas
Apilamiento estático	Puede ser empleado para pequeñas y grandes cantidades de residuos, al igual que su tiempo de procesamiento, dependerá del material a compostar (3 semanas a 4 meses). No requiere de equipos complementarios costosos lo cual lo convierte en el más económico de todos los procesos.	El tratamiento de grandes cantidades de residuos puede derivar en el aumento de tiempo de compostaje, al igual que una no homogenización de la mezcla a compostar. No se puede emplear cualquier residuo orgánico en diferentes condiciones. Puede presentar problemas sanitarios como lo son los malos olores, plagas, vectores, y algunas enfermedades. El material en el núcleo de la pila puede presentar compactaciones produciendo así zonas anaerobias, lo cual vuelve lento el proceso. La generación de gases por parte del proceso no puede ser controlada. Puede requerir grandes cantidades de terreno.

Tabla 18. (Continuación)

<p>Apilamiento con volteo</p>	<p>No requiere de altos costos al requerir solo los implementos para el volteo, el cual puede ser manual o con maquinaria. El volteo que se realiza permite la homogenización y aireación en todo el material, permitiendo que el proceso ocurra en toda la pila. Controla y disminuye el exceso de humedad y previene la compactación, evitando así la formación de zonas anaerobias.</p>	<p>El mayor problema es el de la salud pública al contener patógenos y generar malos olores. Puede ser un foco de roedores y vectores. El volteo promueve la disipación de calor generado, lo cual perjudica el proceso. Si la pila llega a ser muy grande la inversión en maquinaria para el volteo puede llegar a ser considerable, al igual que de requerir de grandes extensiones de tierra. Los gases generados por el proceso no son controlados.</p>
<p>Reactor Vertical</p>	<p>Permite controlar las diferentes variables del proceso como son la temperatura, humedad, O<sub>2</sub>, entre otras, lo cual ayuda mejorar la calidad del producto. Puede ser aireado con tubería interna, y tener un mezclador con propela permitiendo una mejor eficiencia. Pueden ser de gran y pequeña escala, lo cual permite manejar diferentes volúmenes. El tiempo de operación oscila entre 7 a 20 días, aunque puede ser superior si no se opera en condiciones ideales. Los gases generados son tratados por medio de filtros. En algunos casos tienen aislamiento lo que permite conservar el calor generado para alcanzar temperaturas deseadas. Evita problemas sanitarios al ser un sistema cerrado.</p>	<p>El costo inicial es muy alto al requerir el control de diferentes variables, al igual que los materiales de construcción del reactor. Su mantenimiento, al igual que la operación es alto al necesitar personal especializado. Parte del material antes y después del proceso requiere adecuaciones. Su sistema de mezclado tiene una limitación al tener acumulaciones en el fondo del reactor.</p>
<p>Reactor Horizontal</p>	<p>Permite controlar las diferentes variables del proceso como son la temperatura, humedad, O<sub>2</sub>, entre otras. Es aireado por medio de tubería interna que permite el flujo de aire. El reactor puede tener internamente álabes que permiten el mezclado. El tiempo de retención en el reactor es corto al ser de 3 a 20 días, dependiendo de las condiciones. Capacidad de operar de manera continua o discontinua, al igual que puede ser operado de forma estática o con volteo, ésta última es la que mejor resultados presenta. Los gases generados en el proceso son tratados por medio de filtros. El aislamiento empleado en ellos permite la preservación de calor, lo cual aumenta la temperatura para eliminar los patógenos. Evita problemas sanitarios al ser un sistema cerrado.</p>	<p>El costo inicial es muy alto al requerir el control de diferentes variables, al igual que los materiales de construcción del reactor. Su mantenimiento, al igual que la operación es alto al necesitar personal especializado. Parte del material antes y después del proceso requiere adecuaciones.</p>

Fuente. DIAZ, Luis., DE BERTOLDI, Marco y BIDLINGMAIER, Werner (ed.). *Compost science and technology*. Elsevier, 2011.

Los criterios de selección evaluados para este proyecto fueron: tiempo de duración, salubridad del proceso, área necesaria, eficiencia y costos. Al momento de hacer la socialización del proyecto en la alcaldía, el municipio recalca que el proceso a utilizar debe ser eficiente en términos de calidad de producto y tiempo, cumplir con las condiciones de salubridad necesarias para evitar enfermedades y vectores que aparecen por el mal manejo de los residuos, esto debido a la construcción de viviendas en el sector donde se ejecuta el proyecto. El área de trabajo está limitada a el lote puesto a disposición, teniendo en cuenta que algunas alternativas requieren de grandes extensiones de terreno. El último criterio son los costos o inversión, primordial a la hora de la toma de decisiones, por lo tanto, debió involucrarse en el momento de evaluar cada alternativa.

Después de definir los criterios de selección de la alternativa, se procede a establecer los parámetros metodológicos para seleccionar el proceso de compostaje más viable y que cumpla con las expectativas de la administración municipal. Para la evaluación de las alternativas se establecen unos parámetros de calificación, donde 1 es la calificación más baja, 3 la media y 5 la máxima, estas calificaciones se otorgan con base a los criterios evaluados en las ventajas y desventajas de cada tipo de proceso que fueron valoradas en la tabla 18. Para cada ítem del criterio se aplica una ponderación del 20% para sumar entre todos 100%. El proceso de compostaje que obtenga el puntaje más alto será el que se utilice para el desarrollo de la propuesta.

A continuación, se muestra en la tabla 19 la matriz para la selección del tipo de proceso a utilizar en la propuesta

Tabla 19. Matriz de selección de procesos de compostaje a emplearen el proyecto

<b>Item</b>	<b>Pila Estática</b>	<b>Pila con volteo</b>	<b>Reactor horizontal con volteo</b>	<b>Reactor vertical con volteo</b>
Tiempo	1	1	5	5
Salubridad	1	1	5	5
Area necesaria	3	3	5	5
Eficiencia	3	3	5	5
Costos	5	3	1	1
Total	2.6	2.2	4.2	4.2
Observaciones	*	*	*	Acumulaciones

Fuente: elaboración propia

De acuerdo a lo valorado en la matriz de selección, el reactor horizontal y el reactor vertical ambos con volteo fueron los que obtuvieron la mayor calificación

cada uno con 4,2 de 5,0 posibles, pero como diferencia se pudo notar que en el reactor vertical puede llegar a presentarse acumulaciones en el sistema de mezclado, por lo tanto, el reactor horizontal con volteo es el escogido para utilizar en el proceso.

### 3.2 ADECUACIÓN DEL TERRENO

La alcaldía localizó la ubicación para el desarrollo experimental del proyecto en el predio denominado plaza de ferias y exposiciones, el cual está ubicado a 600 metros del casco urbano en la vía Alvarado- Ibagué.

El lugar cuenta con un área construida (piso y techo) de alrededor de 9m<sup>2</sup>, donde se realizó la parte experimental del proyecto para evitar que el reactor quedara a exposición de la lluvia y el sol.

Imagen 6. Montaje del reactor en el lugar de trabajo

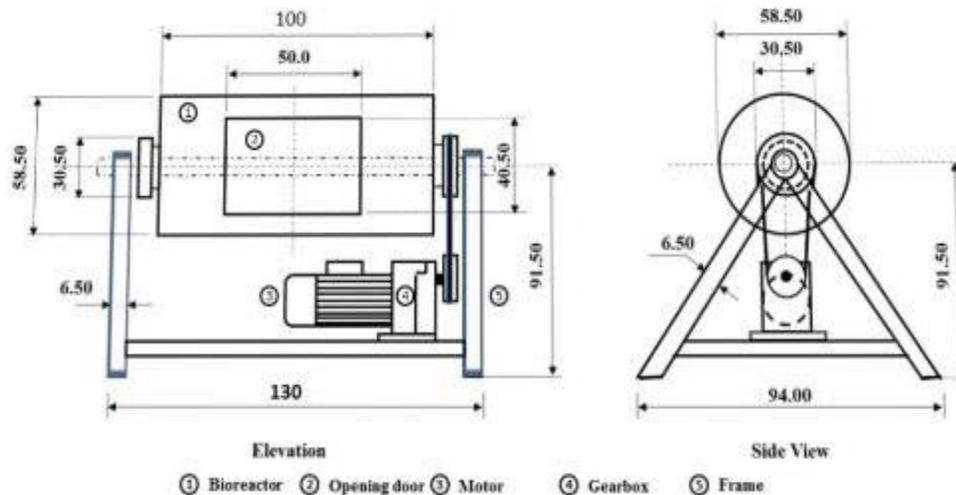


Fuente: elaboración propia

### 3.3 DESARROLLO EXPERIMENTAL

**3.3.1 Construcción del reactor.** Para la construcción del reactor experimental se siguió el diseño realizado por el departamento de ingeniería agrícola de la Universidad King Salud y el departamento de ingeniería de agricultura y biosistemas de la Universidad de Alexandria en su publicación Análisis energético de un bioreactor de tambor rotatorio para el compostaje de residuos de las plantas de tomate. Dicho diseño se basa en un soporte unido a las dos caras del tanque, una compuerta en la parte media del recipiente por donde se realizará la carga del reactor y la medición de variables, cuenta con un motor integrado en la parte inferior para la realización de los volteos como se observa en la figura 6.

Figura 6. Esquema de reactor horizontal con rotación empleado en el compostaje



Fuente: ENERGY ANALYSIS OF A ROTARY DRUM BIOREACTOR FOR COMPOSTING Tomato Plant Residues. Fahad N. Alkoaik, Ahmed M. Abdel-Ghany, Mohamed A. Rashwan, Ronnel B. Fulleros and Mansour N. Ibrahim

En el proceso de construcción del reactor se utilizó una caneca de polietileno de 60 litros con dimensiones de 0,34 metros de diámetro por 0,65 metros de longitud. En cuanto a las partes metálicas (platinas, tornillos, tuercas y bisagras) todas deben ser de acero inoxidable para prevenir contaminación por causa de corrosión de estos elementos. Para fines del volteo se instalaron unas aletas en PVC de longitud de 0,54 metros de forma paralela, por razones de facilidad y económicas para la construcción del reactor experimental se decide por instalar una manivela por medio de una platina en una de las caras del tanque para que el volteo sea manual y así no tener que involucrar parte eléctrica (motor). Para evitar el intercambio de calor del reactor con el ambiente, se forra el reactor con espuma de poliuretano, como se ve en la siguiente imagen, para que funcione a manera aislante térmico, como lo recomienda la bibliografía en los procesos a escala laboratorio, donde la masa a compostar es pequeña, como lo cita en su documento.<sup>66</sup>

<sup>66</sup> MEDINA ALVARO, Propuesta para la producción de un abono orgánico partiendo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales del colegio rochester, Op cit., p. 287.

Imagen 7. Reactor con aislante térmico



Fuente: elaboración propia

En la tabla 20 se presentan las especificaciones técnicas del reactor construido para la experimentación.

Tabla 20. Especificaciones técnicas del reactor construido para experimentación

<b>PARAMETRO</b>	<b>VALORES</b>	<b>UNIDAD</b>
Longitud del Reactor sin Soporte Base	0,650	Metros
Diámetro del Reactor sin aislante	0,340	Metros
Diámetro del reactor con aislante	0,350	Metros
Volúmen del Reactor	0,590	Metros Cúbicos
Longitud del Soporte Base	0,702	Metros
Ancho del Soporte Base	0,520	Metros
Masa del Reactor Vacío con Aislante y sin Soporte	5,020	Kilogramos
Masa del Reactor Lleno con Aislante y con Soporte	20,650	Kilogramos
Cantidad de Aletas para Mezclar	2	Unidad
Longitud de las Aletas para Mezclar	0,540	Metros
Cantidad de Válvulas del Reactor	2	Unidad
Diámetro de las Válvulas del Reactor	$\frac{3}{4}$	Pulgadas

Fuente: elaboración propia

**3.3.2 Parametrización variables iniciales.** Para la parametrización de las variables iniciales del proceso tales como relación carbono – nitrógeno, tamaño de

partícula, humedad, se realizó la revisión bibliográfica con la información consultada de diferentes autores y sus trabajos (ver Tabla 21).

Tabla 21. Referencias bibliográficas para parametrización variables iniciales

Referencia	Relación C/N	Tamaño de partícula (cm)	Contenido de humedad (%)
Mohee, Romeela y Mudhoo, Ackmez. (2005)	20-25	1,5-2	50-70
Tiquia, S. M. (2005)	16-28	X	50-70
Kalamdhad, A. S., Kazmi (2009)	22	2	61
Yañez, R.; Alonso, J. L. y Díaz, M. J. (2009)	10-20	4	60-70
Himanen, Marina y Hänninen, Kari <sup>[11]</sup> <sub>SEP</sub> (2011)	15-20	X	30-50
Manual compostaje FAO (2013)	25	2	70-75
Wu, Shaohua, <i>et al.</i> , (2016)	20-25	X	70
Yuan, Jing, <i>et al.</i> , (2016) <sup>[11]</sup> <sub>SEP</sub>	11,37	2-4	x

Fuente: elaboración propia

**3.3.2.1 Relación C/N.** En cuanto a la relación carbono/nitrógeno los autores recomiendan una relación cercana al 20 como se evidencia en la tabla 20. En su trabajo Mohee, Romeela y Mudhoo, Ackmez. (2005)., establecen que el rango óptimo para dar inicio al proceso es de 20-25, puesto que permitirá una mejor interacción entre los microorganismos presentes en el proceso de compostaje, por lo que se opta por una relación de 25 para realizar la parte experimental del proyecto.

**3.3.2.2 Humedad.** Como mencionó en el numeral 1.2.5.2.1.1 la humedad es un factor relevante para el éxito del proceso y puede causar la disminución en la eficiencia del proceso, la baja humedad representaría menor cantidad de agua para microorganismos y un alto contenido de ella disminuiría el transporte de oxígeno en la masa a compostar<sup>67</sup>. Según lo observado en la tabla 20 el rango ideal será de 50-70%, por ser el rango mas utilizado por los diferentes referentes consultados.

<sup>67</sup> RODRÍGUEZ MEDINA. Propuesta para la producción de un abono orgánico partiendo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales del Colegio Rochester, Op cit., p. 287.

**3.3.2.3 Tamaño de la partícula.** El tamaño de partícula indicado para el proceso está en el rango de 2-4 cm, puesto que, como referencian varios autores entre ellos Mohee, Romeela y Mudhoo, Ackmez. (2005). Con este tamaño se logra una mayor velocidad de degradación por parte de los microorganismos, no es recomendado tamaño de partícula inferior a 2 cm debido a la aparición de compactaciones y zonas anaerobias<sup>68</sup>.

**3.3.3 Balance de materia.** El balance de materia se requiere para conocer las cantidades necesarias de cada materia en el proceso, y así realizar un ajuste en ellas de acuerdo con la información teórica presentada en la bibliografía. En este proyecto se escogió la cascarilla de arroz como aditivo, por su alta relación Carbono /Nitrógeno (66/1), pero principalmente por la disponibilidad de este como se mencionó en la economía del municipio en el numeral 2.1. El balance de materia se contempló en estado estacionario, lo que quiere decir que no se considera acumulación ni generación de materia en el proceso. Para llevar a cabo la experimentación se recolectaron 20 kilogramos de residuos compostables y se realizaron los cálculos que se muestran a continuación.

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

Desarrollando la primera ecuación se obtuvo<sup>69</sup> :

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

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

Donde:

$M_{RS}$ : Es la masa de residuos sólidos orgánicos<sup>70</sup>

$C/N_{RS}$ : Es la relación carbono/nitrógeno de los residuos sólidos orgánicos (17/1).

$M_{Aditivo}$ : Es la masa del aditivo (cascarilla de arroz)<sup>70</sup>

$C/N_{Aditivo}$ : Es la relación carbono/nitrógeno de la cascarilla de arroz (66/1).

$M_{Total}$ : Es la masa total<sup>70</sup>

$C/N_{Total}$ : Es la relación carbono/nitrógeno recomendada (25/1).

Reemplazando 3 en 2<sup>70</sup>

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

Despejando  $M_{cascarilla\ de\ arroz}$  de la ecuación 4<sup>70</sup>

<sup>68</sup> MOHEE, Romeela y MUDHOO, Ackmez. Analysis of the Physical Properties of an In-Vessel Composting Matrix. Powder Technology, 2005. Vol. 155 nro. 1 pp.92-99

<sup>69</sup> NINCO CARDOZO, Cristhian Felipe y SÁNCHEZ GONZÁLEZ, Jennifer Johanna. Propuesta para la producción de abono orgánico mediante el compostaje de los residuos sólidos del municipio el Rosal, Cundinamarca. Tesis de Licenciatura. Fundación Universidad de América, 2017. p. 74.

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

Remplazando valores:

$$M_{cascarilla \text{ de arroz}} = [20 \text{ kg} * (25-17)] / [(66-25)]$$

$$M_{cascarilla \text{ de arroz}} = 3,90 \text{ kg}$$

Remplazando en 3

$$M_{Total} = 20 \text{ kg RS} + 4 \text{ kg Cascarilla arroz} = 24 \text{ kg.}$$

**3.3.4 Control de parámetros en el proceso.** Como se mencionó en el capítulo 1, en el proceso de compostaje es necesario hacer un control y el ajuste de las variables involucradas en el. A continuación, se explica la metodología utilizada para realizar las mediciones.

**3.3.4.1 Control de temperatura.** Para el registro de datos de este parámetro se realizaron 3 medidas a diferentes profundidades de la masa a compostar (5,10 y 20 cm). Se utilizó un termómetro con sonda, como se ve en la imagen 4, para alcanzar las profundidades mencionadas se utilizó una cinta métrica como guía.

Imagen 8. Medicion de temperatura en experimentación



Fuente: elaboración propia

**3.3.4.2 Control del pH.** Para el control y medición de esta variable se utilizó el papel indicador como instrumento de medida, se realiza la medición en un pequeño recipiente donde se toma una pequeña porción de masa del reactor y se agrega agua hasta que este no absorbe más, es decir hasta la saturación de la muestra como bien citan en su documento NINCO., CRISTHIAN., SANCHEZ., JOHANNA. 2017. A continuación se muestra la imagen 5 del momento de la medición de esta variable y la gráfica del comportamiento del pH en la experimentación.

Imagen 9. Medición de pH experimentación



Fuente: elaboración propia

**3.3.4.3 Control de humedad.** Para el control de esta variable si no se cuenta con los instrumentos para realizar la medición, la técnica empírica conocida como (Prueba del puño), que consiste en tomar cierta cantidad del material con la mano y apretarlo fuertemente. Si el producto de esta acción fue un hilo de agua continuo quiere decir que la humedad es la necesaria y estaría en un rango entre 50-60 %. Si produce un goteo intermitente quiere decir que está en una humedad cercana al 40%. Si el material no produce hilo ni gotea, pero mantiene la forma y no se desvanece tendrá un contenido de humedad cercano al 30%. Pero si el material luego de realizar la acción no mantiene la forma es porque la humedad es menor del 20%.

Se utilizó el termómetro (termohigrometro) que la alcaldía dispuso para la experimentación, este contaba con lectura de contenido de humedad, por lo que se obtuvo un valor más preciso en las mediciones que dicha técnica, pero esta se siguió realizando para comprobación de estos datos.

Imagen 10. Técnica prueba del puño

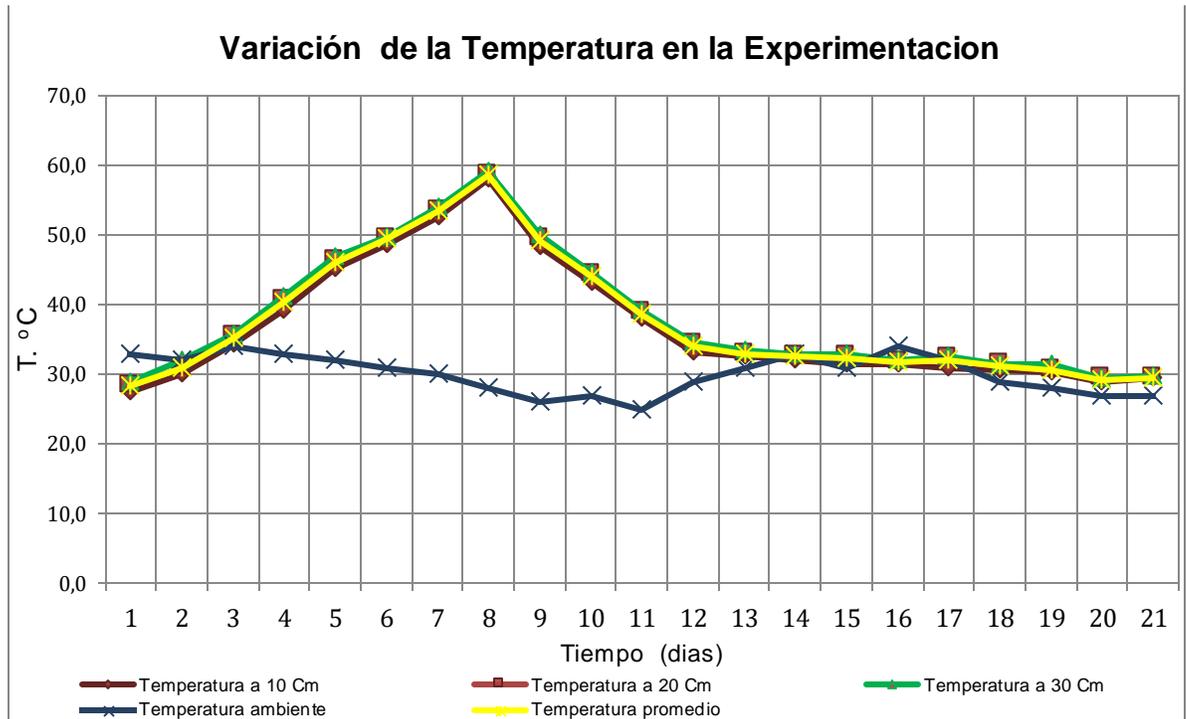


Fuente: elaboración propia

**3.3.5 Análisis de resultados.** A continuación, se presentan el análisis de los resultados obtenidos en el desarrollo experimental del proyecto. Se muestra el comportamiento de temperatura, pH y humedad a lo largo del proceso por medio de gráficas. Posterior a esto el producto es analizado por parte del laboratorio de la universidad del Tolima para comprobar sus propiedades y quedar apto para su aplicación.

**3.3.5.1 Temperatura.** Como se puede observar en la gráfica 8, entre el cuarto y el quinto día se alcanza temperaturas por encima de 45 °C, lo cual demuestra que el proceso alcanzó las temperaturas de etapa termófila. Esta etapa duró aproximadamente entre 5-6 días hasta el décimo día de experimentación. La temperatura más alta registrada fue de 58,5 °C en el octavo día a la profundidad de 20 cm. Hay evidencia de la efectividad del aislamiento térmico realizado, puesto que, como se observa en la gráfica, no hay intercambio de calor del reactor con el ambiente, siendo la curva azul el comportamiento de la temperatura ambiente en la experimentación. En esta misma grafica se evidencia que el proceso alcanzó temperaturas mayores a 55 °C por mas de 5 horas, que garantizó la eliminación de algunos agentes patógenos que pueden aparecer y compormeter la calidad del producto.

Gráfico 8. Variación temperatura en la experimentación



Fuente: elaboración propia

A continuación en la tabla 22 se muestra resumen de las temperaturas y tiempos necesarios para la eliminación de estos patógenos.

Tabla 22. Temperaturas y tiempos requeridos para eliminación de algunos patógenos.

Microorganismo	Temperatura (°C)	Tiempo de exposición
Salmonella spp	55	60 minutos
	65	15-20 minutos
Escherichia coli	55	60 minutos
	65	15-20 minutos
Brucella abortus	55	60 minutos
	62	3 minutos
Parvovirus bovino	65	15-20 minutos

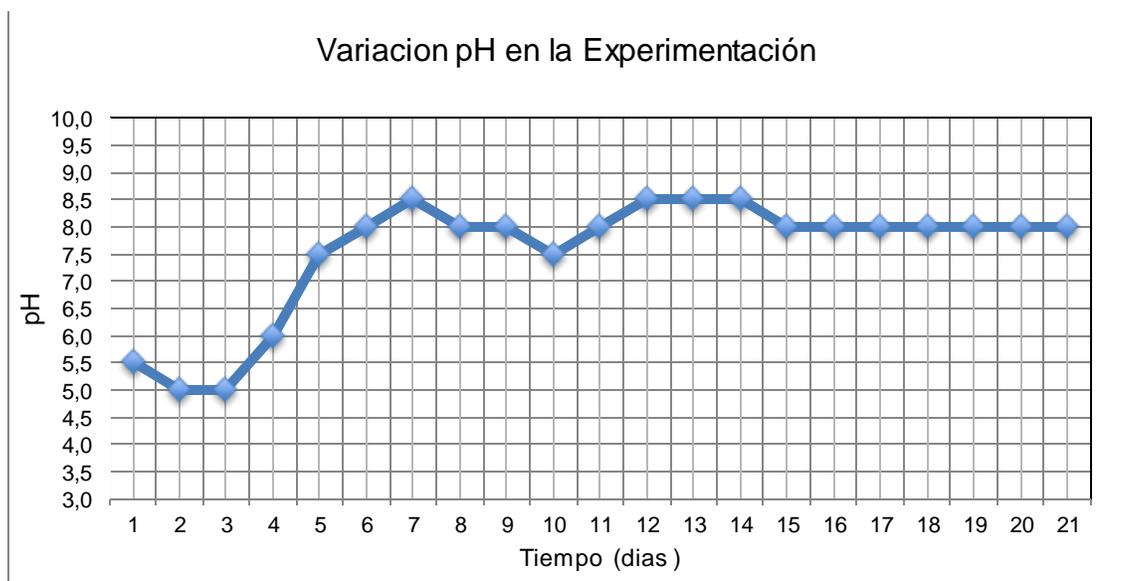
Fuente: PANTOJA, Román. Manual de compostaje del agricultor, Experiencias de América Latina, Santiago de Chile, 2013.

**3.3.5.2 pH.** Como se observa en la gráfica 9, el pH comienza en medio ácido con valores de 5 - 6 y a medida que el tiempo transcurre tiende a volverse neutro, terminando el proceso con un pH de aproximadamente 7-8. En el segundo día hay una leve disminución de pH de 6 a 5, que los autores la referencian debido a la

producción de intermediarios grasos y ácidos grasos por parte de los microorganismos presentes<sup>70</sup>.

El máximo valor de pH en la experimentación fue de 8,5, que fue registrado en los días 7,12,13 y 14. El valor mínimo alcanzó el 5 y se atribuyó a la producción de ácidos como se mencionó anteriormente. Cabe resaltar que los resultados de las mediciones pueden presentar errores, esto debido a la interpretación del resultado en el momento de la medida.

Gráfico 9. Variación pH en la experimentación



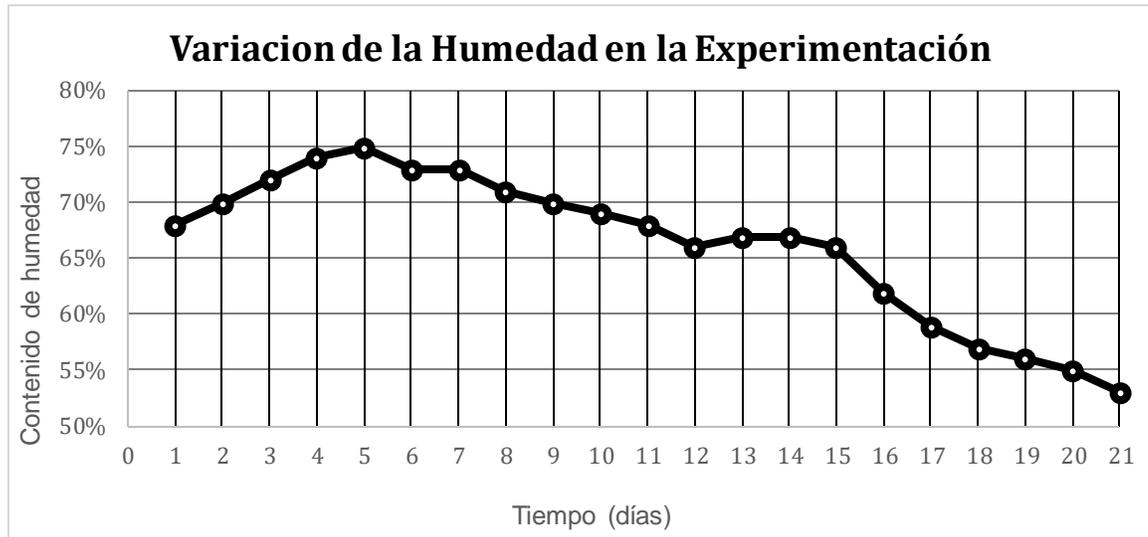
Fuente: elaboración propia

**3.3.5.3 Humedad.** En la gráfica 10 se analiza el comportamiento de la humedad a medida que transcurre el proceso en la experimentación, empezando con un contenido de humedad cercano al 70% y finalizando el proceso con una humedad cercana al 55% siendo este el valor mínimo de esta variable, el contenido de humedad máximo alcanzado en la experimentación fue de 75% presentado el día 5 de la experimentación.

---

<sup>70</sup> Ibid., p. 57.

Gráfico 10. Variación contenido de humedad en experimentación



Fuente: elaboración propia

**3.3.5.4 Producto final.** Al transcurrir el día 21 se procede a realizar la última toma de mediciones y posteriormente a retirar la masa del reactor para que siga con el secado y demás partes del proceso.

Imagen 11. Producto a la salida del reactor



Fuente: elaboración propia

Seguido de este proceso se deja el material a exposición del sol, tal como se muestra en la imagen 11, por el resto del día. Al final de este se filtra las partículas de mayor tamaño por medio de una malla filtradora, para que el producto quede apto para aplicar (ver imagen 12). Cabe resaltar que se tomó dos muestras de

aproximadamente 5 kg, una para el análisis microbiológico en el laboratorio control de calidad ACQUA Y Vida en la ciudad de Ibagué y la otra para el análisis químico del producto en el laboratorio la Universidad del Tolima.

Imagen 12. Producto final.



Fuente: elaboración propia

- **Rendimiento.** Para la experimentación realizada se obtuvo un rendimiento del 37,5 % en la experimentación. Se cargaron 24 kg al reactor y al finalizar todo el procedimiento de obtención del producto se obtuvieron 9 kg.

Rendimiento= masa inicial-(masa inicial- masa final) / masa inicial \* 100

Rendimiento= 30 kg-(30 kg-11 kg) / 30 kg \* 100

Rendimiento= 37,5 %

- **Análisis de laboratorio del producto.** Cuando el proceso finalizó completamente, el compost obtenido fue llevado para la práctica de análisis de laboratorio químico y microbiológico, esto con la intención de conocer las propiedades fisicoquímicas del producto y saber si este cumple con la normatividad existe para la aplicación como fertilizante.

- Análisis Químico.

Los elementos químicos que sirven de alimento a los vegetales y se clasifican en dos grupos: macronutrientes y micronutrientes. Los macronutrientes son los que las plantas necesitan en mayor proporción, ya que constituyen los elementos químicos más abundantes de su composición orgánica, entre los ellos se encuentra el Nitrógeno total (Rey, s.f.).

Con el fin de determinar las características químicas del abono se realizó el análisis, según los parámetros de la norma NTC 5167. Los resultados se muestran en la tabla 23.

Tabla 23. Resultado análisis químico

Parametros	Parámetros mínimos exigidos NTC 5167	Resultados del Análisis de la muestra
Nitrógeno	(%) $\geq 1\%$	2%
Carbono Orgánico	(%)	30%
Cenizas	< 60%	32.19%
Relación Carbono/Nitrógeno	Relación Carbono/Nitrógeno	14
Fosforo Disponible	(%) $\geq 1\%$	2%
Carbono Orgánico Oxidable Total o Materia Orgánica	(%) $\geq 15\%$	50%
Calcio (Ca)	(%) $\geq 1\%$	1%
Potasio (K)	(%) $\geq 1\%$	4%

Fuente: UNIVERSIDAD DEL TOLIMA. Prueba realizada por el Laboratorio Laserex, 2019

- ✓ Nitrógeno: Este nutriente es muy importante en la composición de las enmiendas de suelos orgánicos y favorece el crecimiento vegetativo, también da el color verde a las hojas. La presencia del nitrógeno es indispensable para promover el crecimiento de tallos y hojas, corrige el color amarillento en vegetales, ayuda a mejorar suelos alcalinos. De la misma manera, es indispensable para la producción de proteínas en vegetales comestibles.

Este parámetro se debe reportar solo si está presente en un porcentaje superior al 1%; esto demuestra que el abono orgánico generado tiene un contenido conveniente de Nitrógeno (2%) y aseguran un crecimiento adecuado de los cultivos en donde se le dé uso.

- ✓ Fósforo: Este macronutriente es importante en el proceso de fotosíntesis de las plantas y contribuye a que estas tengan una mayor resistencia a bajas temperaturas. El compost generado presenta un nivel de Fosforo del 2%, valor que se encuentra por encima del parámetro mínimo exigido (1%), esto se debe a que un alto porcentaje de la carga proviene de materia orgánica.
- ✓ Potasio: Es esencial para las plantas, las cuales necesitan cantidades elevadas de él, incluso semejantes a las necesidades del nitrógeno en algunos casos. El potasio contribuye en numerosos procesos metabólicos de las plantas, tales como; la fotosíntesis; la síntesis de proteínas y carbohidratos. De acuerdo con los resultados del análisis químico, el nivel de dicho parámetro es muy bueno (4%).

- ✓ Calcio: Como una enmienda para el suelo, el calcio ayuda a mantener un balance químico en la tierra, reduce la salinidad del suelo, y mejora la penetración del agua. También neutraliza los ácidos celulares. Los resultados muestran que el compost generado tiene una concentración de calcio del 1%, cifra que está dentro del límite establecido en la norma NTC 5167.
- ✓ Materia orgánica o Carbono Orgánico Oxidable Total: La presencia de esta tiene un efecto importante sobre la capacidad de intercambio catiónico del suelo, que podría considerarse como el potencial del mismo para retener e intercambiar nutrientes, influyendo directamente sobre la fertilización de los cultivos. Al mismo tiempo actúa como tampón de pH en el suelo, evitando degradación del mismo. Paralelamente, la materia orgánica evita la disgregación de las partículas de suelo y disminuye su erosión, mantiene la humedad disponible para los cultivos durante un tiempo superior y evita oscilaciones importantes de la temperatura, todo ello a la vez que mejora la vida microbológica, favorece la población de micro y macro organismos activos y aumenta la biodiversidad. El análisis muestra que el porcentaje de este material es del 50%, valor muy por encima del mínimo establecido (15%).
- ✓ Carbono Orgánico Total: El carbono orgánico proporciona nutrientes a las plantas y mejora la disponibilidad de agua y por ende mejora la fertilidad del suelo y su productividad. Además, ayuda a la estabilidad estructural del suelo promoviendo la formación de agregados que, junto con la porosidad, aseguran suficiente aireación e infiltración de agua para promover el crecimiento de las plantas. La concentración registrada en el análisis químico realizado al compost, registra un porcentaje del 30%, valor muy bueno para enmiendas de suelos.
- ✓ Relación Carbono/Nitrógeno: Es un valor numérico que determina la proporción de Carbono/Nitrógeno que podemos encontrar en un suelo. La relación C/N se utiliza para medir la biomasa y la evolución de la materia orgánica en los estudios de fertilidad del suelo. Los resultados muestran que esta relación es igual a 14, valor excelente teniendo en cuenta las recomendaciones para compost, hechas por el profesor *Peter Landschoot* de la *Pennsylvania State University*, que indica que la proporción ideal debe estar cercana a 25 y nunca superar el 30, pues se garantiza que la cantidad de materia orgánica presente en el suelo sea suficiente para la productividad del mismo.
- ✓ Cenizas: Es un valor numérico que se expresa en forma porcentual, este es calculado utilizando el método de pérdidas por volatilización, la norma técnica colombiana NTC 5167 establece un límite máximo del 60% para

acondicionadores de suelo en productos agrícolas. En la tabla 22 se observa el valor de 32.19%, inferior al límite permitido por la norma mencionada.

- Análisis Microbiológico.

Los Parámetros de calidad microbiológica en abonos orgánicos están definidos en la Norma técnica colombiana NTC 5167:2006. Esta indica que se debe efectuar análisis de enterobacterias, en donde el producto final debe reportar menos de 1000 UFC/gr. Esta norma también indica que se debe evaluar la presencia/ausencia de las Salmonella sp, y debe reportarse como ausente en 25 g de producto final. Además, si alguna de las materias primas es de origen vegetal, deberán estar exentos de fitopatógenos.

Respecto a abonos que contengan una carga microbiana específica (microorganismos benéficos), debe declararse el recuento de Microorganismos Mesófilos aerobios, mohos y levaduras.

Bajo estos parámetros y requisitos, el laboratorio **ACQUA y Vida** realizó el análisis microbiológico del compost producido de los residuos orgánicos del Municipio de Alvarado Tolima, el cual arrojó los resultados que se presentan en la tabla 24. (Anexo D):

Tabla 24. Resultado análisis microbiológico

Parámetro	Resultado
Recuento de Mesófilos	120 UFC/g
Recuento de coliformes Fecales UFC/g	0 UFC/g
S. aureus coagulasa positiva	0 UFC/g
Bacillus Cereus	0 UFC/g
Mohos y Levaduras	< 10 UFC/g
Salmonella s.p	Ausencia
Pseudomona aeruginosa	0 UFC/g

Fuente: elaboración propia con base en: prueba realizada por Lab. Acqua y Vida.

Las pruebas de laboratorio del análisis microbiológico permiten comprobar la buena calidad del compost, debido a la ausencia de coliformes fecales, salmonella s.p, pseudomona, mohos y levaduras, entre otros.

El sistema cerrado de compostaje utilizado, anaerobio-aerobio mediante reactor horizontal, permitió la eliminación casi total de los patógenos, obteniéndose un

producto apto para su aplicación como fertilizante en la producción agrícola de alimentos.

- **Aplicación del producto.** Luego de realizar los respectivos análisis de laboratorio al producto final obtenido y comprobar que el producto cumpla con la Norma Técnica Colombiana parámetros de la NTC 5167, la aplicación del producto se realizó en un cultivo orgánico de lechugas de la firma Monteverde S.A. del municipio de Ibagué, una empresa que se especializa en el cultivo de productos orgánicos, quienes mostraron gran interés en el proyecto e hicieron acompañamiento en el proceso.

Como se puede observar en el cuadro 1, el cultivo al que se le aplicó el compost obtenido evidencia un crecimiento óptimo de las plantas de lechuga, así como su color, sabor y textura de la hoja. No se observaron efectos negativos en las plantas ni en el suelo como lo menciona la ingeniera agrónoma (ver anexo D). La parte del cultivo a la que no se le aplicó el compost (izquierda) muestra un crecimiento en el tamaño de la planta más lento, lo que da certeza que el compost producido es funcional en cultivos para alimentos.

Cuadro 1. Seguimiento a la aplicación del Compost en Cultivo Experimental – Bioensayo

Dia	Seguimiento Registro Fotografico		Observaciones
Dia 1	 <p data-bbox="425 1453 748 1478">Cultivo sin aplicación del compost</p>	 <p data-bbox="776 1453 1105 1478">Cultivo con aplicación del compost</p>	<p data-bbox="1154 1178 1459 1394">Aplicación del compost en el momento de transplante de la lechuga variedad crespa</p>

Dia	Seguimiento Registro Fotografico	Observaciones
Dia 10	 <p data-bbox="423 600 748 625">Cultivo sin aplicación del compost</p> <p data-bbox="777 600 1110 625">Cultivo con aplicación del compost</p>	<p data-bbox="1156 306 1461 485">Desarrollo y crecimiento optimo de la hoja y color de la planta lechuga variedad crespa</p>
Dia 25	 <p data-bbox="423 972 748 997">Cultivo sin aplicación del compost</p> <p data-bbox="768 972 1101 997">Cultivo con aplicación del compost</p>	<p data-bbox="1156 726 1461 905">El tamaño, color y vigor de la planta son optimas e indican que estan listas para cosechar</p>
Dia 30	 <p data-bbox="440 1314 1114 1346">Lechuga del cultivo donde se aplico el compost</p>	<p data-bbox="1156 1020 1461 1314">Dia de la cosecha: el tamaño, color, textura y sabor de la hoja fueron atractivos, no se observaron efectos negativos en la planta ni en el suelo.</p>

Fuente: elaboración propia

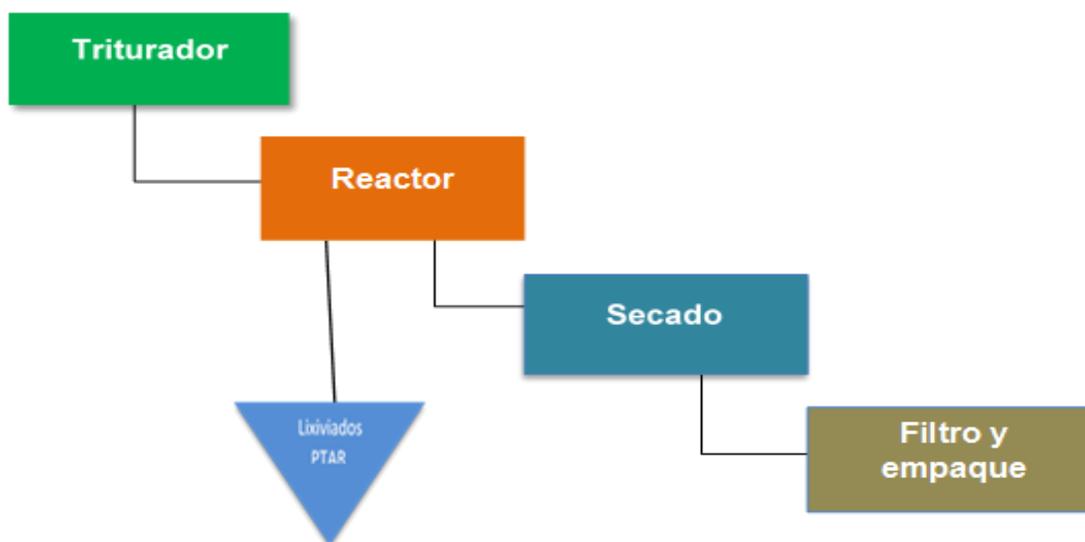
#### 4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

En este capítulo se estipulan las especificaciones técnicas que necesita la Alcaldía del municipio de Alvarado, en coordinación con la oficina de servicios públicos para implementar la planta de compostaje en el municipio, esto siguiendo todos los lineamientos y recomendaciones enunciados en el plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS).

Se inició con el escalamiento del reactor prototipo a utilizar en el proceso, seguido del dimensionamiento del proceso para tratar la cantidad de residuos orgánicos producidos, el transporte de los residuos hacia el sitio, la determinación de las condiciones para la recolección en la fuente, la recepción, clasificación y separación de estos residuos, pasando por un proceso de selección y trituración, seguimiento y control del proceso de compostaje y, finalmente, el empaque y almacenamiento del compost.

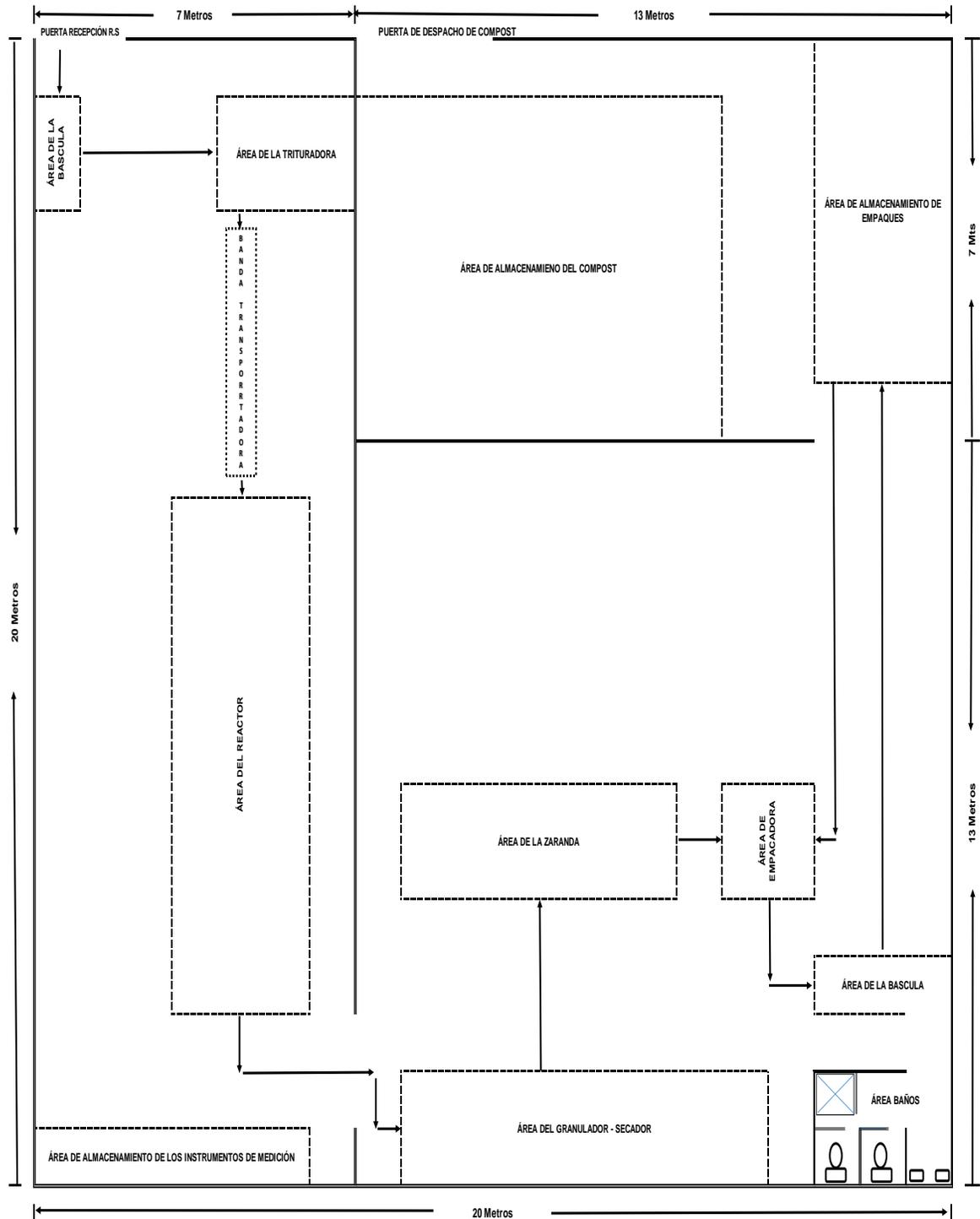
La planta debe contar con una capacidad de procesamiento de 9,1 toneladas, de las cuales 7,58 serán la masa de residuos sólidos orgánicos y las 1,48 toneladas restantes será la masa del aditivo (cascarilla arroz), cálculos realizados con el balance de materia presentado en el capítulo 3. Dicho número de residuos sólidos orgánicos es la cantidad aproximada que se recogerán en el municipio semanalmente de acuerdo con el estudio de caracterización presentado en el capítulo 2. El proceso tendrá una producción aproximada de 3,4 Toneladas de compost semanales.

Figura 7. Diagrama de proceso de la planta



Fuente: elaboración propia

Figura 8. Diseño de la planta



Fuente: elaboración propia

#### 4.1 ESCALONAMIENTO DEL REACTOR

Para realizar el escalonamiento del reactor para ser utilizado en el proceso, se uso como guía el trabajo de (Medina., 2017)<sup>71</sup>, dado a la similaridad en el sistema de compostaje a usar (reactor horizontal con volteo). Medina cita el modelo de Behrentz y Giraldo<sup>72</sup>, quienes en su trabajo relacionan la variable temperatura y la relación de Área-Volumen. Con esta relación se establece un factor de escalamiento ( $B_G$ ) en el cual se relacionan la tasa de calor disipado por área superficial ( $T_d$ ) y el calor generado por el volumen a compostar ( $T_g$ ).

$$BG = \frac{A}{V} = \frac{T_d}{T_g} \quad (1)$$

El factor de escalamiento  $B_G$  es adimensional y debe ser igual tanto para el modelo a escala y como el de laboratorio, esto se hace para asegurar un comportamiento similar de la temperatura para ambos.

La tasa de generación de calor esta expresada como:

$$T_g = \varphi \psi S \quad (2)$$

Donde:

$\varphi$ : Entalpia de reacción de degradación (J/mgSVB)

$\psi$ : Tasa especifica de reacción (1/s)

V: Volumen reaccionante (L)

S: Concentración de sustrato (mgSVB/L)

La tasa de disipación del calor sera el flujo de calor conductivo a través de una superficie.

$$T_d = -kF\Delta T \quad (3)$$

Donde:

k: conductividad térmica material (J/s.cm. °C)

F: factor geométrico de forma (cm)

$\Delta T$ : diferencia de temperaturas (°C)

Entonces reemplazando (2) y (3) en  $B_G$ :

$$BG = \frac{-KF\Delta T}{\varphi\psi VS} \quad (4)$$

---

<sup>71</sup> Ibid., p. 33.

<sup>72</sup> BEHRENTZ, E. y GIRALDO, E. Modelación a escala del proceso de compostaje aerobio en pila estática con aireación forzada. En: Revista Colombiana De Biotecnología, Colombia, 1999. v.2 fasc.2 p. 51 – 59.

Con esta expresión se calculan los valores que debe mantenerse para lograr un escalamiento.

$$\left(\frac{k*F*\Delta T}{\varphi*\psi*V*S}\right) prototipo = \left(\frac{k*F*\Delta T}{\varphi*\psi*V*S}\right) modelo \quad (5)$$

De la expresión (5) los autores (Behrentz, Giraldo, 1999) simplifican términos que no se ven afectados por la geometría y pueden considerarse constantes para ambas situaciones, tanto en el laboratorio como en la piloto, Los términos a simplificar son la entalpia de la reacción de degradación, la tasa específica de la reacción y la concentración de sustrato, esto por la no dependencia del cambio geométrico que pueda ocurrir y las condiciones no cambiarían en la escala laboratorio ni en la piloto por trabajar a la misma temperatura. Luego de la simplificación se obtiene

$$\left(\frac{k*F*\Delta T}{V}\right) prototipo = \left(\frac{k*F*\Delta T}{V}\right) modelo \quad (6)$$

Factor de forma de cilindro:

$$F = \frac{2*\pi*L}{Ln(r^o/r^i)} \quad (7)$$

Donde L es la longitud del cilindro, ri el radio interno y ro el radio externo.

Los autores indican que el factor de forma y el volumen reaccionante son distintos en ambas situaciones (prototipo y modelo), por lo que sugieren la manipulación de la conductividad térmica del material que contiene la mezcla y el gradiente de temperatura alrededor del volumen reaccionante para mantener la igualdad.

Behrentz, al analizar una experiencia real con aplicación a escala laboratorio, encuentra una relación entre el volumen, la geometría de la unidad de compostaje y el gradiente de temperatura que debe mantenerse en la experimentación<sup>73</sup>.

De la expresión 6 se realiza despeje y se obtiene la expresión (8) que permitirá variar las dimensiones a las que se desea modelar la unidad piloto.

$$\Delta T l = \frac{kp*Fp*\Delta Tp*Vl}{kl*Fl*Vp} \quad (8)$$

El volumen empleado en la escala laboratorio VI fue de 0,11m<sup>3</sup>, que es el

---

<sup>73</sup> BEHRENTZ y GIRALDO. Modelación a escala del proceso de compostaje aerobio en pila estática con aireación forzada, Op. cit., p 53.

calculado en el balance de materia del capítulo 3, con los resultados del estudio de caracterización de residuos sólidos del municipio presente en el capítulo 2, las densidades aparentes utilizadas para calcular dichos volúmenes fueron: densidad aparente de los residuos orgánicos (266,83 kg/m<sup>3</sup>) este valor es obtenido en los resultados del informe de laboratorio del estudio de caracterización de residuos sólidos del municipio de Alvarado presentado por la empresa INTERASEO S.A.S E.S.P y para la cascarilla de arroz (142 kg/m<sup>3</sup>)<sup>74</sup>. Para hallar el volumen del prototipo se necesita conocer la cantidad total de material a compostar (residuos orgánicos + cascarilla de arroz). Como se menciona en el inicio de este capítulo, la producción de residuos orgánicos es de 7,58 toneladas semanales, es decir que son necesarias 1,5 toneladas de cascarilla de arroz para llevar a cabo el proceso, esto considerando que el 100% de los residuos separados en la fuente como materia orgánica se pueda aprovechar mediante el compostaje. Pero como se observó en el momento de la recolección de residuos para la experimentación, que la cantidad de residuos orgánicos aptos para ser compostables representó un 73% del total de residuos orgánicos recolectados (20 kg de 27 kg posibles), razón por la cual el dimensionamiento del reactor se considerará dicha observación. A continuación, se muestran los cálculos del Volumen total de material a compostar.

$$\text{masa Residuos orgánicos} = 7580 \text{ kg} * 73\% = 5533,4 \text{ kg}$$

$$\text{masa cascarilla arroz} = 5533,4 \text{ kg RO} * \frac{(25 - 17)}{(66 - 25)} = 1079,7 \text{ kg}$$

$$\text{Vol Residuos Orgánicos} = \frac{m(\text{kg})}{\rho \text{ apa} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} = \frac{5533,4 \text{ kg}}{266,83 \text{ kg/m}^3} = 20,74 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol cascarilla arroz} = \frac{m(\text{kg})}{\rho \text{ apa} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right)} = \frac{1079,7 \text{ kg}}{142 \text{ kg/m}^3} = 7,69 \text{ m}^3$$

$$\text{Vol total} = \text{Vol Residuos orgánicos} + \text{Vol cascarilla arroz} = 20,7 \text{ m}^3 + 7,7 \text{ m}^3 = 28,4 \text{ m}^3.$$

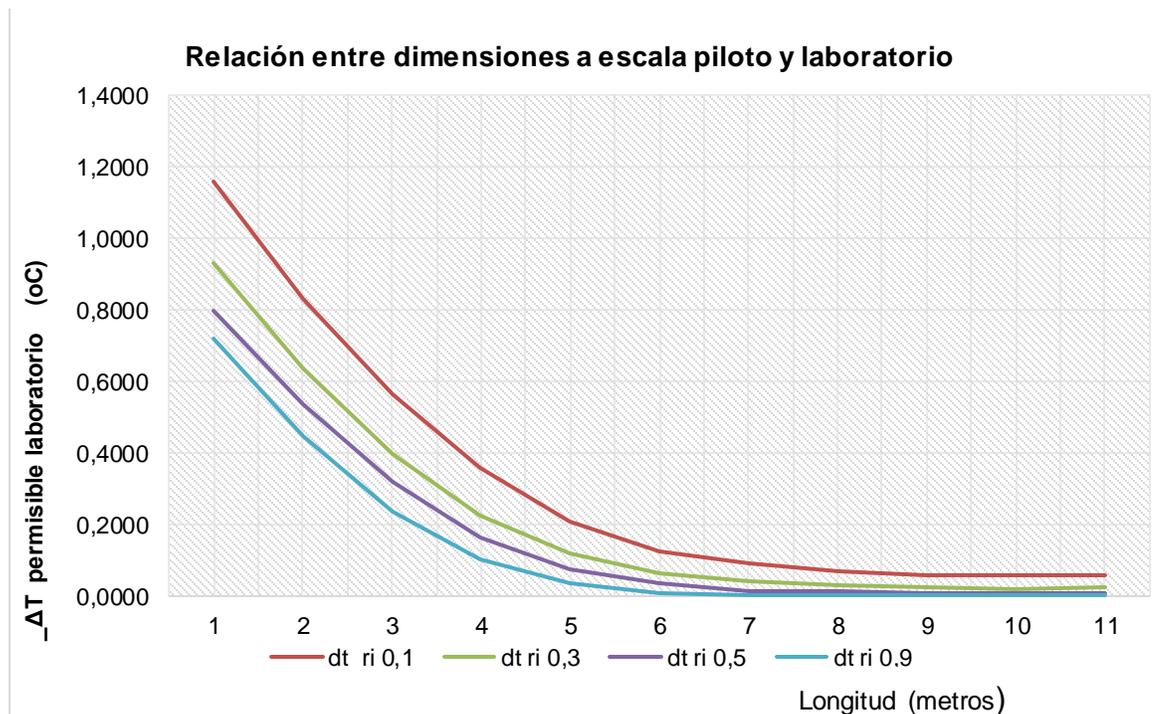
La conductividad térmica del poliuretano es de 0,039 W/mK<sup>75</sup>, una consideración que recomiendan los autores (Behrentz, Giraldo, 1999), es tratar de simular la

<sup>74</sup> POZZOLO, O.; HIDALGO, R.; MEICHTRY, M. *et al.*, Estudio de la Relación cascara-grano en el cultivo de Arroz implicancias con el silo bolsa. 2014. [En línea]. Recuperado en 2020-22-05. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-estudio\\_de\\_la\\_relacin\\_cscara\\_grano\\_en\\_el\\_cultivo.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-estudio_de_la_relacin_cscara_grano_en_el_cultivo.pdf)

<sup>75</sup> CANO, Palomo. Aislantes térmicos, Criterios de selección por requisitos energéticos. Universidad Politécnica de Madrid, 2017.

menor pérdida de calor posible, esto es posible cuando el diferencial de temperatura sea mínimo por lo que se tomara este valor como 1 °C cuando el reactor alcance la máxima temperatura.<sup>76</sup> Para el prototipo el material será de un espesor de pared no mayor a 0,02 metros en acero inoxidable, esto para la prevención de alguna alteración o modificación de las propiedades del producto, debido a la corrosión.

Gráfico 11. Relación entre dimensiones escala piloto con respecto al diferencial de temperatura permisible escala laboratorio.



Fuente: elaboración propia

Del gráfico 11 se puede observar y hacer selección de las dimensiones a usar en el reactor a escala piloto, por lo tanto, es necesario seleccionar la curva que mejor se comporte asintóticamente a las dimensiones requeridas. La curva de ri: 0,1 m, no alcanza la condición a la longitud evaluada. La curva de ri: 0,3 m alcanza la condición a una longitud cercana a los 10 metros como se observa en la gráfica 11, siendo su volumen de 2,83 m<sup>3</sup>, cantidad menor al calculado. Con un radio interno de 0,5 m se alcanza la condición a una longitud de 9,5 metros, contando

<sup>76</sup> POZZOLO, HIDALGO, MEICHTRY, *et al.*, Estudio de la Relación cascara-grano en el cultivo de Arroz implicancias con el silo bolsa, Op. cit., p 54.

con un volumen de 7,46 m<sup>3</sup>, cantidad pequeña con respecto al calculado. La curva con ri: 0,9 alcanza la condición cerca a los 8,5 metros lo que da un volumen de 21,7 m<sup>3</sup>, valor inferior al semanal calculado en el balance de material (28,4 m<sup>3</sup>). Por lo que hay que evaluar a diferentes longitudes hasta lograr alcanzar el volumén calculado. Las condiciones para que se cumpla con el volumen calculado son de 0,9 metros de radio interno, por una longitud de 13 m, lo que daría un volumen de 33,1m<sup>3</sup> lo que quiere decir que es cercano al calculado, teniendo la capacidad mínima necesaria para procesar dicho volúmen. Como en el momento de la experimentación el reactor se cargó sin tener en cuenta el volumen de gas producido en el proceso, esto debido al sistema utilizado y explicado en la construcción del reactor, (Behrentz, Giraldo, 1999) recomiendan que para el escalamiento del proceso se debe contar con una capacidad minimo del 20% superior al volumen requerido, por lo que la capacidad del reactor de 0,9 m de radio interno y 13 metros de longitud cubriría la capacidad necesaria del reactor con dicha recomendación. Los lixiviados saldrán a través de una valvula de ¾ de pulgada, localizada en el extremo inferior del recipiente. Los lixiviados seran tratados en la planta de tratamiento de aguas residuales.

En cuanto a la rotación del reactor, es necesario calcular la potencia requerida por el motor para cumplir con los volteos, la potencia viene expresada como<sup>77</sup>:

$$P = F * v \quad (1)$$

Donde:

F: fuerza necesaria

v: velocidad

Para calcular la fuerza necesaria para mover el reactor se utiliza la expresión:

$$F = m * a \quad (2)$$

$$F = (9064 \text{ kg}) * 9,8\text{m/s}^2 = 88827,2 \text{ N}$$

Posterior al cálculo de la fuerza se continúa calculando la velocidad:

$$v = 4 \text{ Rpm} * \frac{2\pi}{60 \text{ s}} * 0,9 \quad (3)$$

$$v = 0,377 \text{ m/s}$$

Remplazando (3) y (2) en (1) se obtiene:

$$P = 88827,2 \text{ N} * 0,377 \text{ m/s}$$

---

<sup>77</sup> Potencia mecánica fisicalab.

$$P = 33487 \text{ J/s} = 44 \text{ Hp}$$

## 4.2 SEPARACIÓN Y RECOLECCION EN LA FUENTE

Para que dicho proceso sea eficiente en todos los aspectos es importante que, con las actividades de socialización y sensibilización realizadas por la alcaldía, se haya creado en la comunidad un compromiso social respecto a la gestión de los residuos urbanos y exista una colaboración con la separación de los residuos en la fuente, diferenciándolos por medio de bolsas de colores, verde para orgánicos, gris para residuos aprovechables (reciclaje) y rojo para residuos peligrosos. Así mismo, es indispensable establecer rutas selectivas, por lo menos una vez a la semana, para la recolección de los residuos sólidos orgánicos y, de esta manera, evitar que sean mezclados en el vehículo compactador para evitar que el trabajo realizado por los usuarios en la separación sea en vano.

Imagen 13. Bolsas para separación en la fuente



Fuente: ARTICULO MERCADO LIBRE. Bolsas para separación en la fuente. [en línea]. 2019. Actualizado el 17 de junio de 2019. [Consultado 20 de octubre de 2019]. Disponible en: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-567077691-bolsas-de-basura-de-reciclaje-\\_JM?quantity=1#position=42&type=item&tracking\\_id=9bb64f65-450f-4677-a7de-29caddfc3f49](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-567077691-bolsas-de-basura-de-reciclaje-_JM?quantity=1#position=42&type=item&tracking_id=9bb64f65-450f-4677-a7de-29caddfc3f49)

## 4.3 RECEPCIÓN Y ADECUACIÓN DE MATERIA

Para la primera etapa del proceso a realizar en la planta se necesitarán de dos a tres operarios, quienes serán los encargados de recibir los residuos y verificar la previa clasificación realizada por cada usuario. Además, seleccionarán únicamente los orgánicos. Para esto el personal deberá contar con protección de seguridad industrial apropiada, debido a que en el manejo de los residuos estarán expuestos a focos de infecciones, insectos y otros vectores que transmiten

enfermedades y epidemias<sup>78</sup>. Para este proceso de selección se necesitará disponer de una banda transportadora, a través de la cual los residuos, ya clasificados, se trasladarán para continuar con el proceso de trituración.

Imagen 14. Banda transportadora



Fuente: BANDAS TRANSPORTADORAS DE COLOMBIA. Bantracol – Ingebandas. [en línea]. 2019. Actualizado el 5 de enero de 2019. [Consultado 17 de octubre de 2019]. Disponible: <https://www.bantracol.com/colombia-bandas-transportadorahttps://ingebandas.com/bandas-transportadoras-de-cinta-pvc/>

Posteriormente a esto se procederá a llevar el material a una trituradora.

Imagen 15. Triturador de Desechos Vegetales Trp – 11



**Fuente:** TRAPP BRASIL. Trituradores de ramas, troncos y residuos orgánicos. 2020. [En línea] Recuperado en 2020.05-04. Disponible en: <https://www.trapp.com.br/es/produutos/compostaje/trituradores-de-ramas,-troncos-y-residuos-organicos./produto/tr-200>

---

<sup>78</sup> Ibid., p. 74.

De la trituradora van a la balanza para proceder con el pesaje, realizar los balances y añadir la cantidad de insumos correspondientes para iniciar el proceso de compostaje.

Imagen 16. Bascula industrial tipo plataforma



Fuente: MEMORESCO. Bascula industrial tipo plataforma. [en línea]. 2019. Actualizado el 5 marzo de 2019. [Consultado 1 de marzo de 2020]. Disponible en: <http://www.basculasmoresco.com/bascula-industrial-1000kg.html>

#### 4.4 REACTOR

La planta funcionara con un reactor horizontal con agitación, como se observo en la experimentación la masa a compostar presenta una disminución a medida que pasa el tiempo en el proceso, condición por la cual se considera que el reactor trabajara de mejor manera continua razón que nos permite ir cargando el reactor y a su vez obteniendo producto sin necesidad de realizar paros en el proceso. Este reactor tendrá dimensiones de 1,8 metros de diámetro y una longitud de 13 metros para contar con un volumen de  $33,1\text{m}^3$ , cantidad que cubre con la demanda necesaria  $28,4\text{ m}^3$ , como se mostro en el comienzo del capítulo en el dimensionamiento de este.

Posterior a la homogenización del tamaño de partícula, se debe realizar análisis de contenido de humedad, pH, temperatura y relación C/N de la materia prima, dicho procedimiento para ajustar estos parámetros, como el contenido de humedad con material seco disponible, tal como se mencionó en el numeral 1.1.2.4.2.3 y se mostró en el numeral 3.6., se debe registrar información del proceso como tiempo de volteos, contenido de humedad, pH, temperatura interna y temperatura ambiente, fecha de la carga del reactor.

Para la selección del reactor en el mercado, que presente un comportamiento de manera similar al dimensionado y sea idóneo para el desarrollo de la propuesta, se relacionan el aumento de la población en el municipio en los próximos 10 años (según proyección DANE 2018) con la generación de residuos al año (valor obtenido en el estudio de caracterización de los residuos sólidos del municipio de Avarado) y se proyecta un volumen estimado para el año 10 del proyecto. Esto

con la intención de seleccionar un reactor que cumpla con ese volumen proyectado y sea acorde para la ejecución del proyecto en el tiempo establecido.

En el mercado no se encuentra un reactor con el dimensionamiento realizado, pero en la página Xactsystems se encontró un reactor que cuenta con dimensiones de diámetro 3 metros (ri:1,5 m) y longitud de 9 metros por lo que tendrá un volumen muy similar al del reactor escalado y funcionaría sin problema en la ejecución del proyecto.

Imagen 17. Reactor horizontal para compostaje



Fuente: XACTSYSTEMSCOMPOSTING. Reactor horizontal para compostaje. [En línea]. Recuperado en 2019-10-17. Disponible en: <https://xactsystemscomposting.com/wp-content/uploads/2015/04/Composting-equipment.jpg1>

## 4.5 CONTROL DEL PROCESO

Es necesario llevar un control en los parámetros involucrados en el proceso de compostaje mencionados en el numeral 1.1.2.4.2.3 para así saber en qué fase del proceso se encuentra y que ajustes son necesarios realizar.

**4.5.1 Temperatura.** Esta variable requiere de riguroso seguimiento, puesto que como se expresó en el numeral 1.1.2.4.2.3 esta variará según la etapa que se encuentre el proceso, se recomienda realizar diferentes medidas y realizar el promedio aritmético en el momento del registro. Para su medición se debe realizar con una termocupla rígida que permita llegar a la temperatura interna de la biomasa, debe aceptar humedad y material orgánico, como la que se muestra en la imagen 18.

Imagen 18. Termometro Termocupla Tipo-K



Fuente: HANNA INSTRUMENTS. Termometro Termocupla Tipo-K. En línea]. 2019. Actualizado el 5 de mayo de 2019. [Consultado 17 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.hannacolombia.com/productos/producto/hi-935003-termometro-termocupla-tipo-k>

**4.5.2 pH.** El pH puede tomar diferentes valores según el material de carga, pero a medida que pasa el tiempo el pH tiende a ser neutro hasta el final del proceso. Se debe utilizar un instrumento de campo como se muestra en la imagen 19.

Imagen 19. Medidor portátil de pH



Fuente: HANNA INSTRUMENTS. Medidor portátil de pH. [En línea]. 2019. Actualizado el 5 de mayo de 2019. [Consultado 17 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.hannacolombia.com/productos/producto/hi-935003-termometro-termocupla-tipo-k>

**4.5.3 Humedad.** El contenido de humedad del material debe estar en un rango del 40-60 % para que exista en proceso de degradación adecuado. Por lo que si está por debajo se debe agregar agua y si se encuentra por encima se debe aumentar el tiempo de volteo hasta que se encuentre en dicho rango. Para la medición se utiliza un higrómetro como el que se muestra en la imagen 20.

Imagen 20. Termohigrómetro



Fuente: HANNA INSTRUMENTS. Termohigrómetro. [En línea]. 2019. Actualizado el 5 de mayo de 2019. [Consultado 17 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.hannacolombia.com/productos/producto/hi-935003-termometro-termocupla-tipo-k>

#### **4.6 ADECUACIÓN Y EMPAQUE**

Después de la etapa de maduración se llevará el material resultante del reactor a un tambor de secado como se muestra en la imagen 21, puesto que retirar el exceso de humedad con el que sale el producto del reactor es fundamental para llevar a su posterior proceso de empaquetamiento.

Imagen 21. Secador de tambor



Fuente: EMMC MINING & AGRICULTURE. Secador. [En línea]. 2017. Actualizado el 5 de mayo de 2019. [Consultado 17 de octubre de 2019]. Disponible en: <http://www.fertimaquina.com/rotary-drum-dryer.html>

Antes de realizar el empaquetamiento se filtra todo material grueso e impurezas. Esto se realiza mediante una zaranda vibratoria como la que se muestra en la imagen 22.

Imagen 22. Zaranda vibratoria



Fuente: ARTICULO MERCADO LIBRE. Zaranda Clasificadora [en línea]. 2019. Actualizado el 22 de febrero de 2019. [Consultado 12 de noviembre de 2019]. Disponible en: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-452042705-zaranda-clasificadora-2-y-3-niveles-\\_JM#position=12&type=item&tracking\\_id=9940adba-7c0f-4a39-9097-e3a6d7163ae9](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-452042705-zaranda-clasificadora-2-y-3-niveles-_JM#position=12&type=item&tracking_id=9940adba-7c0f-4a39-9097-e3a6d7163ae9)

El empaque se realizará en sacos de polipropileno con ayuda de cosedora de estos como se observa en las imágenes 23 y 24.

Imagen 23. Cosedora de sacos



Fuente: ARTICULO MERCADO LIBRE. Cosedora de sacos. [En línea]. 2019. Actualizado el 19 de enero de 2019. [Consultado 22 de octubre de 2019]. Disponible en: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-458929330-cosedora-cerradora-de-sacos-y-costales-nuevas-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-458929330-cosedora-cerradora-de-sacos-y-costales-nuevas-_JM)

Imagen 24. Sacos de polipropileno



Fuente: SOLOSTOCKS. Sacos de polipropileno. 2019. [En línea]. Recuperado en 2019-22-10. Disponible en: [https://www.solostocks.com.co/venta-productos/sacos-polipropileno\\_b](https://www.solostocks.com.co/venta-productos/sacos-polipropileno_b)

## 5. EVALUACION FINANCIERA

El presente capítulo contiene el estudio de la viabilidad financiera de la propuesta para la producción de compost a base de los residuos orgánicos residenciales generados en el municipio de Alvarado Tolima, mediante el proceso anaerobio-aerobio empleando reactores horizontales.

Inicialmente se realizó el cálculo de los ingresos, teniendo en cuenta la cantidad de residuos orgánicos disponibles para la producción de compost y la capacidad de la planta, entre otras. Luego, se determinó el valor de los gastos fijos y variables que inciden en la producción; la inversión requerida; la determinación del flujo de caja y por último la definición de los indicadores financieros que permite evaluar la viabilidad económica de la propuesta.

### 5.1 CÁLCULO DE LOS INGRESOS

Para determinar los ingresos que se generaran por la venta del compost se toma en cuenta las siguientes variables:

- El rendimiento promedio de la producción de compost, según los resultados de la fase experimental fue del 37,5%
- La cantidad de residuos orgánicos generados en el casco urbano y centros poblados del municipio de Alvarado, Tolima se calculó de acuerdo con la información extraída de la caracterización de los residuos orgánicos de la firma INTERASEO SAS ESP, más la cantidad de cascarilla de arroz que se utilizarán como aditivo, lo cual corresponde a la suma de 496 toneladas/año.
- El precio de venta por bulto de compost se estableció calculando el valor de producción de cada uno según los gastos fijos y los variables y luego se comparó con los precios de venta en el mercado de un bulto de compost tipo bocashi (precio promedio \$116.111). El precio resultante fue de \$38.000 en el año 1.
- Los ingresos se calculan para un periodo de 10 años, como se muestra en la tabla 25.

Tabla 25. Estimación de los ingresos

Descripción/Periodo	Cantidad de Residuos Orgánicos (Kg)	Cantidad de Cascarilla de Arroz (Kg)	Cantidad de Compost Producido (Kg)	Cantidad de Bultos de Compost Producido	Precio de Venta Unitario	Total Ingresos por venta de Compost (\$)
Año 1	398.512	77.758	178.601	3.572.024	38.000	<b>135.736.920.185</b>
Año 2	402.046	78.448	180.185	3.603.703	39.140	<b>141.048.924.367</b>
Año 3	407.286	79.470	182.534	3.650.674	40.314	<b>147.174.013.456</b>
Año 4	412.039	80.398	184.664	3.693.276	41.524	<b>153.358.228.510</b>
Año 5	416.792	81.325	186.794	3.735.879	42.769	<b>159.781.039.854</b>
Año 6	419.473	81.848	187.996	3.759.911	44.052	<b>165.633.137.238</b>
Año 7	421.789	82.300	189.033	3.780.665	45.374	<b>171.543.863.051</b>
Año 8	423.373	82.609	189.743	3.794.866	46.735	<b>177.353.851.963</b>
Año 9	425.323	82.990	190.617	3.812.344	48.137	<b>183.515.800.706</b>
Año 10	426.420	83.204	191.109	3.822.175	49.581	<b>189.508.722.141</b>

Fuente: elaboración propia

## 5.2 CALCULO DE LOS GASTOS FIJOS Y VARIABLES

Para determinar la viabilidad financiera de la propuesta se calcula los gastos fijos y los variables en que se incurrirá para la puesta en marcha y operación de la planta de compostaje en el municipio de Alvarado Tolima.

**5.2.1 Gastos fijos.** Son aquellos que siempre se causarán, independiente del nivel de producción, tales como gastos de mano de obra directa, servicios públicos, reparaciones y conservación.

- **Mano de obra:** En la tabla 26 se muestra los gastos por concepto de mano de obra, están relacionados directamente con el número de personas involucradas en el desarrollo del proyecto. Teniendo en cuenta que el este será desarrollado por una entidad pública, el valor de mano de obra se establece de acuerdo con la escala salarial vigente de la entidad. Referente al número de personas necesarias, se determinó que será 2 de tiempo completo; Un técnico grado 1, con salario mensual de \$1.200.000 y un Operario con asignación mensual de \$900.000.
- **Servicios públicos:** Los gastos correspondientes a los servicios públicos se refiere a aquellas erogaciones permanentes y fijas para atender el pago de suministro de energía eléctrica, agua potable, servicios de alcantarillado y aseo de la parte administrativa y fueron tasados en \$50.000 mensuales, en razón a que corresponden a la parte administrativa de la planta de compostaje. (ver tabla 27).
- **Reparaciones y conservación:** Como su nombre lo indica, hace referencia a las erogaciones de mantenimiento y conservación de la infraestructura física y

equipos de la planta, la cual fue estimada en la suma de \$3.500.000 anuales. (ver tabla 28)

El valor de los gastos fijos estimados para los próximos 10 años se presenta en las siguientes tablas, proyectados con la inflación estimada del 3% anual según informe del Banco de la República<sup>79</sup>.

Tabla 26. Gastos fijos: Gastos de personal, mano de obra

Años	Gastos de Personal				Subtotal Gastos de Personal
	Salario	Prestaciones	Aportes Seguridad Social	Aportes Parafiscales Nómina	
Año 1	25.200.000	7.980.000	5.297.544	2.268.000	40.745.544
Año 2	25.956.000	8.219.400	5.456.470	2.336.040	41.967.910
Año 3	26.734.680	8.465.982	5.620.164	2.406.121	43.226.948
Año 4	27.536.720	8.719.961	5.788.769	2.478.305	44.523.756
Año 5	28.362.822	8.981.560	5.962.432	2.552.654	45.859.469
Año 6	29.213.707	9.251.007	6.141.305	2.629.234	47.235.253
Año 7	30.090.118	9.528.537	6.325.545	2.708.111	48.652.310
Año 8	30.992.821	9.814.393	6.515.311	2.789.354	50.111.880
Año 9	31.922.606	10.108.825	6.710.770	2.873.035	51.615.236
Año 10	32.880.284	10.412.090	6.912.093	2.959.226	53.163.693
<b>TOTALES</b>	<b>288.889.759</b>	<b>91.481.757</b>	<b>60.730.405</b>	<b>26.000.078</b>	<b>467.101.999</b>

Fuente: elaboración propia

Tabla 27. Gastos fijos: Servicios públicos

Años	Servicios Públicos				Subtotal Gastos Servicios Públicos
	Servicio de Energía Eléctrica	Servicio de Agua	Servicio de Alcantarillado	Servicio de Aseo	
Año 1	30.000	10.000	5.000	5.000	50.000
Año 2	30.900	10.300	5.150	5.150	51.500
Año 3	31.827	10.609	5.305	5.305	53.045
Año 4	32.782	10.927	5.464	5.464	54.636
Año 5	33.765	11.255	5.628	5.628	56.275
Año 6	34.778	11.593	5.796	5.796	57.964
Año 7	35.822	11.941	5.970	5.970	59.703
Año 8	36.896	12.299	6.149	6.149	61.494
Año 9	38.003	12.668	6.334	6.334	63.339
Año 10	39.143	13.048	6.524	6.524	65.239
<b>TOTALES</b>	<b>343.916</b>	<b>114.639</b>	<b>57.319</b>	<b>57.319</b>	<b>573.194</b>

Fuente: elaboración propia

<sup>79</sup>Informe de Inflación de junio, el Banco de la República redujo su proyección de crecimiento para el PIB de Colombia para 2019.

Tabla 28. Gastos Fijos: Reparaciones

Años	Reparaciones				Subtotal Gastos Mantenimiento
	Mantenimiento Infraestructura Física	Mantenimiento de Maquinaria	Mantenimiento de Equipos	Aseo Locativo	
Año 1	700.000	1.500.000	1.000.000	300.000	3.500.000
Año 2	721.000	1.545.000	1.030.000	309.000	3.605.000
Año 3	742.630	1.591.350	1.060.900	318.270	3.713.150
Año 4	764.909	1.639.091	1.092.727	327.818	3.824.545
Año 5	787.856	1.688.263	1.125.509	337.653	3.939.281
Año 6	811.492	1.738.911	1.159.274	347.782	4.057.459
Año 7	835.837	1.791.078	1.194.052	358.216	4.179.183
Año 8	860.912	1.844.811	1.229.874	368.962	4.304.559
Año 9	886.739	1.900.155	1.266.770	380.031	4.433.695
Año 10	913.341	1.957.160	1.304.773	391.432	4.566.706
<b>TOTALES</b>	<b>8.024.716</b>	<b>17.195.819</b>	<b>11.463.879</b>	<b>3.439.164</b>	<b>40.123.578</b>

Fuente: elaboración propia

**Depreciación:** Se calcula para un periodo de 10 años a través del método de línea recta, según las normas de contabilidad. Los resultados se presentan en la tabla 29.

Tabla 29. Depreciación

Años	Valor Planta Física	Costo de Depreciación Planta Física	Valor Maquinaria y Equipo	Costo de Depreciación Maquinaria y Equipo	Subtotal Depreciación
Año 0	132.205.000		145.288.294		277.493.294
Año 1		13.220.500		14.528.829	27.749.329
Año 2		13.220.500		14.528.829	27.749.329
Año 3		13.220.500		14.528.829	27.749.329
Año 4		13.220.500		14.528.829	27.749.329
Año 5		13.220.500		14.528.829	27.749.329
Año 6		13.220.500		14.528.829	27.749.329
Año 7		13.220.500		14.528.829	27.749.329
Año 8		13.220.500		14.528.829	27.749.329
Año 9		13.220.500		14.528.829	27.749.329
Año 10		13.220.500		14.528.829	27.749.329
<b>Totales</b>	<b>132.205.000</b>	<b>132.205.000</b>	<b>145.288.294</b>	<b>145.288.294</b>	<b>277.493.294</b>

Fuente: elaboración propia

**5.2.2 Gastos variables.** Son aquellos que se relacionan con la producción del compost, de tal forma que, a medida que aumenta la producción, también se incrementan los gastos. Los gastos para el presente análisis son la compra de materias primas, como empaques, cal agrícola, cascarilla de arroz, hilos para la costura de los sacos, guantes, tapabocas, servicio de energía eléctrica para los motores de los reactores, la picadora, el granulador y las básculas, servicio de transporte de la recolección de los residuos orgánicos a través de rutas selectivas, servicio de transporte de materia prima y producto terminado y descuentos sobre ventas.

Antes de hallar el monto de los gastos variables se debe indicar que el municipio de Alvarado Tolima, previa concertación con la industria molinera La Guaira, ubicada en dicha localidad, dispone de una cantidad de 77 toneladas de cascarilla de arroz, las cuales se emplearán como aditivo en el proceso de compostaje, reduciéndose anualmente, el valor de los gastos variables, en más de \$7'000.000 de pesos M/Cte.

El valor de los gastos variables estimados para los próximos 10 años se presenta en las tablas 30,31 y 32, proyectados con la inflación estimada por el Banco de la República y sin tener en cuenta los descuentos en ventas, por cuanto no se tienen previstos:

Tabla 30. Costos de la materia prima

Concepto del Gasto	Valor de la Materia Prima				Valor total materia prima (\$)
	Empaques (10 pacas de 300 lonas)	Hilo para Costura de Sacos (50 Rollos)	Cascarilla de Arroz (20 Bultos)	Cal Agrícola (5 Bultos de 25 Kilos)	
Año 1	1.600.000	691.250	60.000	283.500	2.634.750
Año 2	1.648.000	711.988	61.800	292.005	2.713.793
Año 3	1.697.440	733.347	63.654	300.765	2.795.206
Año 4	1.748.363	755.348	65.564	309.788	2.879.062
Año 5	1.800.814	778.008	67.531	319.082	2.965.434
Año 6	1.854.839	801.348	69.556	328.654	3.054.397
Año 7	1.910.484	825.389	71.643	338.514	3.146.029
Año 8	1.967.798	850.150	73.792	348.669	3.240.410
Año 9	2.026.832	875.655	76.006	359.129	3.337.622
Año 10	2.087.637	901.924	78.286	369.903	3.437.751
<b>TOTALES</b>	<b>18.342.207</b>	<b>7.924.407</b>	<b>687.833</b>	<b>3.250.010</b>	<b>30.204.456</b>

Fuente: elaboración propia

Tabla 31. Costos de los elementos y servicios

Concepto del Gasto	Valor de los Elementos y Servicios					Valor elementos y servicios
	Guantes de Látex	Tapabocas Industrial	Servicio de Energía Eléctrica	Servicios de Transporte	de	
Año 1	178.500	49.000	3.600.000	4.160.000		7.987.500
Año 2	183.855	50.470	3.708.000	4.284.800		8.227.125
Año 3	189.371	51.984	3.819.240	4.413.344		8.473.939
Año 4	195.052	53.544	3.933.817	4.545.744		8.728.157
Año 5	200.903	55.150	4.051.832	4.682.117		8.990.002
Año 6	206.930	56.804	4.173.387	4.822.580		9.259.702
Año 7	213.138	58.509	4.298.588	4.967.258		9.537.493
Año 8	219.532	60.264	4.427.546	5.116.275		9.823.618
Año 9	226.118	62.072	4.560.372	5.269.764		10.118.326
Año 10	232.902	63.934	4.697.183	5.427.856		10.421.876
<b>TOTALES</b>	<b>2.046.302</b>	<b>561.730</b>	<b>41.269.966</b>	<b>47.689.738</b>		<b>91.567.736</b>

Fuente: elaboración propia

Tabla 32. Gastos variables

Concepto del Gasto	Valor Total Materia Prima (\$)	Valor Total Elementos y Servicios	Total Gastos
Año 1	2.634.750	7.987.500	10.622.250
Año 2	2.713.793	8.227.125	10.940.918
Año 3	2.795.206	8.473.939	11.269.145
Año 4	2.879.062	8.728.157	11.607.219
Año 5	2.965.434	8.990.002	11.955.436
Año 6	3.054.397	9.259.702	12.314.099
Año 7	3.146.029	9.537.493	12.683.522
Año 8	3.240.410	9.823.618	13.064.028
Año 9	3.337.622	10.118.326	13.455.948
Año 10	3.437.751	10.421.876	13.859.627
<b>TOTALES</b>	<b>30.204.456</b>	<b>91.567.736</b>	<b>121.772.192</b>

Fuente: elaboración propia

### 5.3 CALCULO DE LA INVERSIÓN

Para la implementar la propuesta resulta importante indicar que el municipio de Alvarado Tolima dispone de un lote de terreno apto para construir la planta de compostaje y almacenamiento, lo cual reduce la inversion inicial en más de \$30'000.000 de pesos M/Cte.

**5.3.1 Gastos de inversión para la construcción de la planta.** La inversión por concepto de construcción de la planta de compostaje se estima en \$132.205.000 pesos M/Cte., e incluye obras de construcción de las bases o cimientos, de la placa o pisos, de la cubierta, de los muros externos o internos, la pintura, así como las redes eléctricas e hidráulicas, tal como se detalla en la tabla 33.

Tabla 33. Gastos de Inversión para la construcción de la planta de compostaje y almacenamiento

ITEM	CANTIDAD DE OBRA	PRECIO UNITARIO	VALOR TOTAL
Construcción Bases - Cimentación (Incluye Excavación)	120 Mts	\$ 49.000	\$ 5.880.000
Construcción Piso - Placa en Cemento	400 Mts <sup>2</sup>	\$ 47.500	\$ 19.000.000
Construcción Cubierta en Hoja de Zinc	441 Mts <sup>2</sup>	\$ 85.000	\$ 37.485.000
Construcción Muros (Externos e Internos) - Bloque	400 Mts <sup>2</sup>	\$ 81.000	\$ 32.400.000
Pintura	400 Mts <sup>2</sup>	\$ 28.500	\$ 11.400.000
Construcción Redes Eléctricas	112 Mts	\$ 25.600	\$ 10.240.000
Construcción Redes Hidráulicas	180 Mts	\$ 39.500	\$ 15.800.000
<b>TOTAL PRESUPUESTO CONSTRUCCIÓN PLANTA FÍSICA</b>		<b>\$ 356.100</b>	<b>\$ 132.205.000</b>

Fuente: elaboración propia

**5.3.2 Gastos de inversión para la dotación de equipos y maquinaria.** El proceso de compostaje anaerobio-aerobio, requiere de los siguientes equipos y maquinaria:

- Una Trituradora,
- Una Báscula Industrial de 500 Kilos
- Una Báscula Electrónica hasta 200 Kilos
- Una Báscula Electrónica capacidad mayor a 1000 Kilos
- Una Banda Transportadora (1 Mt Ancho X 9 Mt Largo)
- Tres Reactores horizontales discontinuos con motor eléctrico
- Un Granulador – Secador
- Una Zaranda Vibratoria
- Una Cosedora de Empaques
- Termómetro tipo K aplicaciones industriales
- Medidor de pH y Temperatura impermeable
- Un Termo higrómetro portátil
- Una Sonda de T° penetración.

Los gastos de inversión en la compra de la maquinaria y equipo para el compostaje de los residuos orgánicos residenciales del municipio de Alvarado,

Tolima ascienden a la suma de \$145.281.294 pesos M/Cte., según se muestra en la tabla 34.

Tabla 34. Inversión en maquinaria y equipo

Tipo de Maquinaria o Equipo	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Trituradora	1	\$ 949.000	\$ 949.000
Bascula Electrónica 200 Kilogramos	1	\$ 219.900	\$ 219.900
Bascula Electrónica capacidad mayor a 1000 Kilogramos	1	\$ 1.790.000	\$ 1.790.000
Banda Transportadora (1 Mt Ancho X 9 Mt Largo)	1	\$ 1.867.110	\$ 1.867.110
Reactor horizontal discontinuo con motor eléctrico	1	\$ 97.916.924	\$ 97.916.924
Granulador – Secador	1	\$ 25.371.500	\$ 25.371.500
Zaranda Vibratoria	1	\$ 14.000.000	\$ 14.000.000
Cosedora de Empaques	1	\$ 385.900	\$ 385.900
Termómetro tipo K aplicaciones industriales	1	\$ 269.990	\$ 269.990
Medidor de pH y Temperatura impermeable	1	\$ 1.579.990	\$ 1.579.990
Termo higrómetro portátil	1	\$ 626.990	\$ 626.990
Sonda de T° p/penetracion	1	\$ 310.990	\$ 310.990
<b>TOTAL MAQUINARIA Y EQUIPO</b>			<b>\$ 145.288.294</b>

Fuente: elaboración propia

**5.3.3 Inversión para la operación inicial.** La inversión necesaria para que la planta de compostaje pueda funcionar normalmente por un mes. Según las proyecciones, es de \$17.164.900 a pesos M/Cte., valor que corresponde a la mano de obra de instalación de la maquinaria y equipo (\$13.800.00), al pago salario de dos (2) funcionarios (\$2.100.000), los aportes a su seguridad social (\$609.000), el pago de servicios públicos (\$350.000) y gastos imprevistos (\$305.900), tal como se detalla en la tabla 35.

Tabla 35. Inversión para operación inicial

Descripción de la clase de Capital de Trabajo	Unidad de Medida	Cantidad	Valor Parcial	Valor Total
Mano de Obra - Instalación Maquinaria y Equipo	Instalador	3	\$ 4.600.000	\$ 13.800.000
Mano de Obra - Técnico de Planta de Compostaje	Funcionario	1	\$ 1.200.000	\$ 1.200.000
Operario de la Planta de Compostaje	Funcionario	1	\$ 900.000	\$ 900.000
Pago Seguridad Social Funcionarios	Funcionario	1	\$ 609.000	\$ 609.000
Servicios de Energía Eléctrica	Factura	1	\$ 350.000	\$ 350.000
Imprevistos	Unidad	1	\$ 305.900	\$ 305.900
<b>Total Capital de Trabajo Requerido</b>			<b>\$ 7.964.900</b>	<b>\$ 17.164.900</b>

Fuente: elaboración propia

Se definió la inversión necesaria para que la empresa pueda operar por valor de \$294.658.194 pesos M/Cte, que corresponde de sumar los gastos de construcción de la planta de compostaje y almacenamiento (\$132,205,000), más los gastos de dotación de equipos y maquinaria (\$145.288.294) y el capital de trabajo (\$17.164.900,00). Esto es lo que se conoce como el capital de trabajo o como activo corriente (efectivo, inversiones a corto plazo, cartera e inventarios).

## 5.4 FLUJO DE CAJA

El flujo de caja es el balance financiero del proyecto a través del cual se determina su viabilidad, tomando los ingresos estimados de la operación de la planta de compostaje y restándole los gastos necesarios para producir el abono orgánico, incluida la depreciación y el pago de impuestos. El flujo de caja para 10 años, del proyecto de la planta de compostaje propuesta para el municipio de Alvarado Tolima, se presenta en la tabla 36.

Tabla 36. Flujo de caja

Años	Ingresos	Gastos		Depreciación	Subtotal Utilidades	Impuesto de Renta	Subtotal Utilidades Despues de Impuestos	Depreciación	FLUJO DE CAJA NETO
		Gastos Fijos	Gastos Variables						
Año 1	135.736.920	44.295.544	10.622.250	-27.749.329	53.069.797	18.043.731	35.026.066	27.749.329	62.775.395
Año 2	141.048.924	45.624.410	10.940.918	-27.749.329	56.734.267	19.289.651	37.444.616	27.749.329	65.193.946
Año 3	147.174.013	46.993.143	11.269.145	-27.749.329	61.162.396	20.795.215	40.367.182	27.749.329	68.116.511
Año 4	153.358.229	48.402.937	11.607.219	-27.749.329	65.598.743	22.303.573	43.295.170	27.749.329	71.044.500
Año 5	159.781.040	49.855.025	11.955.436	-27.749.329	70.221.249	23.875.225	46.346.025	27.749.329	74.095.354
Año 6	165.633.137	51.350.676	12.314.099	-27.749.329	74.219.033	25.234.471	48.984.562	27.749.329	76.733.891
Año 7	171.543.863	52.891.196	12.683.522	-27.749.329	78.219.816	26.594.737	51.625.078	27.749.329	79.374.408
Año 8	177.353.852	54.477.932	13.064.028	-27.749.329	82.062.563	27.901.271	54.161.292	27.749.329	81.910.621
Año 9	183.515.801	56.112.270	13.455.948	-27.749.329	86.198.253	29.307.406	56.890.847	27.749.329	84.640.176
Año 10	189.508.722	57.795.638	13.859.627	-27.749.329	90.104.128	30.635.403	59.468.724	27.749.329	87.218.054
<b>Totales</b>	<b>1.624.654.501</b>	<b>507.798.770</b>	<b>121.772.192</b>	<b>-277.493.294</b>	<b>717.590.245</b>	<b>243.980.683</b>	<b>473.609.562</b>	<b>277.493.294</b>	<b>751.102.856</b>

Fuente: elaboración propia

## 5.5 INDICADORES FINANCIEROS

Los indicadores que se emplearán para determinar la viabilidad financiera del proyecto serán el valor presente neto – VPN y la tasa interna de retorno – TIR, el primero calcula la rentabilidad y el segundo el tiempo que la empresa tardará en recuperar la inversión inicial.



### 5.5.2 Tasa interna de retorno - TIR

La fórmula matemática que se empleará para hallar la TIR es:

$$VPN = -lo + \frac{FCN_1 \text{ año}}{(1+TIR)^1} + \frac{FCN_2 \text{ año}}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{FCN_n \text{ año}}{(1+TIR)^n}$$

Convenciones:

**lo** = Inversión inicial,  
**FCN**= Flujo de Caja Neto  
**TIR**= Tasa Interna de Retorno

La TIR se calcula llevando el VPN a cero, por lo cual el resultado de esta ecuación será un porcentaje que luego va a ser comparado con el porcentaje de interés que se haya definido como más seguro. Como su nombre lo indica, la TIR muestra el valor de rendimiento interno del proyecto, expresado en porcentaje, y comparable a una tasa de interés.

0	=	- lo	+	$\frac{FCN_1 \text{ año}}{(1+TIR)^1}$	+	$\frac{FCN_2 \text{ año}}{(1+TIR)^2}$	+	$\frac{FCN_3 \text{ año}}{(1+TIR)^3}$	+	$\frac{FCN_4 \text{ año}}{(1+TIR)^4}$	+			
			+	$\frac{FCN_5 \text{ año}}{(1+TIR)^5}$	+	$\frac{FCN_6 \text{ año}}{(1+TIR)^6}$	+	$\frac{FCN_7 \text{ año}}{(1+TIR)^7}$	+	$\frac{FCN_8 \text{ año}}{(1+TIR)^8}$	+	$\frac{FCN_9 \text{ año}}{(1+TIR)^9}$	+	$\frac{FCN_{10} \text{ año}}{(1+TIR)^{10}}$

**TIR = 20,35%**

Al realizar la operación matemática empleando la fórmula anterior, se definió que la TIR del proyecto es igual a 20,35%, viable, la inversión se recuperará en el quinto año, a menos que se aumente la producción con los residuos orgánicos de los demás Municipios de la ruta Venadillo, que al igual disponen sus residuos orgánicos en el relleno La Miel de INTERASEO SAS – ESP, teniendo en cuenta que la capacidad instalada de compostaje y el tamaño de la planta física, propuestas lo soportan.

Por último, se procede a efectuar el cálculo de la tasa que hace que el proyecto sea rentable, restándole a la Tasa Interna de Retorno - TIR (20,35%) el valor de la Tasa Interna de Oportunidad - TIO (8,03%), lo cual arroja un margen de rentabilidad (MR) anual del 12,32%, tasa que es muy similar a la tasa efectiva promedio que paga el sector financiero por el manejo de una cuenta de ahorros.

## 6. CONCLUSIONES

- Del este estudio de caracterización de los RSU del municipio de Alvarado, dispuestos en el relleno sanitario La Miel, realizado por INTERASEO S.A.S E.S.P, 2019, se determina que el 73% son aprovechables, de estos el 30% son orgánicos y el resto reciclables, lo cual indica un valor considerable para la ejecución del proyecto.
- El desarrollo experimental se realizó en un reactor horizontal a escala laboratorio, con seguimiento de la temperatura, el pH y la humedad. El producto obtenido en el reactor, cumplió con los parámetros físico-químicos, exigidos por la NTC5167 para abonos orgánicos sólidos de uso como fertilizante en la producción agrícola de alimentos.
- Mediante el método Behrentz, se determinó el escalonamiento del reactor prototipo, este modelo se basa en plantear una relación entre la temperatura y la relación de área volumen. Para este proyecto el reactor tendrá dimensiones de un radio interno de 0,9 metros y una longitud 13 metros.
- La inversión inicial del proyecto, alcanza la suma de \$294.65 millones. Esta inversión se recuperará en el 5 año del proyecto, con un margen de rentabilidad anual del 20.35%.

## 7. RECOMENDACIONES

- Continuar con la Implementación de programas de sensibilización e incentivar la cultura para la separación en la fuente y de aprovechamiento de los residuos sólidos como fuente de generación de empleo.
- Incentivar la participación de la comunidad con la implementación de estímulos económicos por parte de la administración municipal para los hogares que realicen separación en la fuente o para quienes desarrollen actividades de aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos.
- Realizar experimentación con diferentes valores en los parámetros que influyen en el proceso y así determinar las condiciones óptimas en la operación.
- La inversión total en planta (dimensión) y equipos (capacidad instalada) del proyecto permitirá ampliar la producción, con base en los residuos sólidos de los municipios vecinos de la ruta Venadillo, los cuales también disponen el relleno la Miel, lo cual haría que el VPN, la TIR y el MR, sean mayores y por ende la recuperación del valor inicialmente invertido sea más rápida, e incluso se podría reducir el precio del compost, a fin de que sea más asequible a los pequeños productores agropecuarios.
- Actualizar el plan de gestión integral de residuos sólidos para incluir la propuesta de aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos mediante la elaboración de compost.
- En el momento de la aplicación del producto obtenido, los agrónomos de la firma Monteverde S.A.S., recomiendan que el suelo este acondicionado con roca fosforica o cal dolomítica esto para balancear el pH y que no se encuentre muy ácido.

## BIBLIOGRAFÍA

ALVARO GUALOTO, Madeleine Estefanía y OLIVES ERAZO, Ana Cristina. Identificación del potencial aprovechable de los residuos sólidos orgánicos que se generan en mercados, supermercados, parques, jardines y diferentes sectores industriales de la Zona Sur del Distrito Metropolitano de Quito. Tesis de Licenciatura, 2013.

ARRIETA, B. G. Análisis de la Producción de Residuos Sólidos de Pequeños y Grandes Productores en Colombia. Santa Fe de Bogotá, Colombia, 2008.

ARROYAVE S, M.; VAHOS M, D. Evaluación del proceso de compostaje producido en un tanque bio reactor piloto por medio de bioaumentación. Universidad Nacional de Colombia. Medellín, 1999.

ARTICULO MERCADO LIBRE. Bolsas para separación en la fuente. [en línea]. 2019. Actualizado el 17 de junio de 2019. [Consultado 20 de octubre de 2019]. Disponible en: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-567077691-bolsas-de-basura-de-reciclaje-\\_JM?quantity=1#position=42&type=item&tracking\\_id=9bb64f65-450f-4677-a7de-29caddfc3f49](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-567077691-bolsas-de-basura-de-reciclaje-_JM?quantity=1#position=42&type=item&tracking_id=9bb64f65-450f-4677-a7de-29caddfc3f49)

ARTICULO MERCADO LIBRE. Cosedora de sacos. [en línea]. 2019. Actualizado el 19 de enero de 2019. [Consultado 22 de octubre de 2019]. Disponible en: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-458929330-cosedora-cerradora-de-sacos-y-costales-nuevas-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-458929330-cosedora-cerradora-de-sacos-y-costales-nuevas-_JM)

ARTICULO MERCADO LIBRE. Zaranda Clasificadora [en línea]. 2019. Actualizado el 22 de febrero de 2019. [Consultado 12 de noviembre de 2019]. Disponible en: [https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-452042705-zaranda-clasificadora-2-y-3-niveles-\\_JM#position=12&type=item&tracking\\_id=9940adba-7c0f-4a39-9097-e3a6d7163ae9](https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-452042705-zaranda-clasificadora-2-y-3-niveles-_JM#position=12&type=item&tracking_id=9940adba-7c0f-4a39-9097-e3a6d7163ae9)

BANDAS TRANSPORTADORAS DE COLOMBIA. Bantracol – Ingebandas. [en línea]. 2019. Actualizado el 5 de enero de 2019. [Consultado 17 de octubre de 2019]. Disponible: <https://www.bantracol.com/colombia-bandas-transportadora>  
<https://ingebandas.com/bandas-transportadoras-de-cinta-pvc/>

BARRADAS REBOLLEDO, Alejandro. Gestión Integral de los residuos sólidos municipales. Instituto Tecnológico de Minatitlán, Minatitlán, Veracruz, México, 2009.

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). Universidad de La Salle Ciencia, Ingeniería Ambiental y Sanitaria Facultad de Ingeniería, 2007.

BEHRENTZ, E. y GIRALDO, E. Modelación a escala del proceso de compostaje aerobio en pila estática con aireación forzada. En: Revista Colombiana De Biotecnología, Colombia, 1999. v.2 fasc.2 p. 51 – 59.

BERNAL, María.; CAMELO, Zuly.; ECHEVERRI, Carolina y SANABRIA, Robinson. Estrategias para un manejo responsable de los residuos sólidos a través del trabajo colaborativo.

BUENO MÁRQUEZ, Pedro.; DÍAZ BLANCO, Manuel Jesús y CABRERA CAPITÁN, Francisco. Factores que afectan al proceso de Compostaje. En: : MORENO CASCO, J.; MORAL HERRERO, R. coord. Compostaje. España. Mundi Prensa Libros S.A. 2008. pp. 93-110.

BUSTOS Lourdes, *et al.*, Manejo Integral de Residuos en la Corporación de Abastos. Bogotá, 2006.

CANO, Palomo. Aislantes térmicos, Criterios de selección por requisitos energéticos. Universidad Politécnica de Madrid, 2017.

CASTO, Carol. Evaluación de la Problemática Ambiental y alternativas de manejo de residuos sólidos orgánicos en los restaurantes del sector de la Universidad Javeriana. Localidad Chapinero. Bogotá, 2001.

CERRATO LICONA, Edilfredo. Gestión integral de residuos sólidos, Atlantic International University. Honolulu, Hawai.

COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Decreto 1075 (26, mayo, 2015). Por el cual se expide el Decreto Único reglamentario del sector Ambiente y Desarrollo Sostenible”, Bogotá D.C., 2015. Art.2.2.6.1.1.3. p.462

COLOMBIA, MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE. Decreto 2981 de 2013-Definiciones, publicado en el Diario Oficial N. 49010. 20, diciembre, 2013. p. 22.

COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Resolución 472 (28, febrero, 2017). Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición (RCD) y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C., 2017. Art. 2.

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

COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE REGIÓN METROPOLITANA. Estudio Caracterización de Residuos Sólidos Domiciliarios en la Región Metropolitana. Valparaíso, Chile: Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Fundación Universitaria Iberoamericana, 2006.

CONGRESO DE LA REPÚBLICA DE COLOMBIA. Ley 689 de 2001 “Por la cual se modifica parcialmente la Ley 142 de 1994”, 2001.

CÓRDOVA MOLINA, Carolina Alejandra. Estudio de factibilidad técnico-económica para instalar una planta de compostaje, utilizando desechos vegetales urbanos. Universidad De Chile Facultad De Ciencias Forestales Escuela De Ciencias Forestales Departamento De Manejo De Recursos Forestales SANTIAGO – CHILE, 2006.

DANTE, Flórez. Guía No. 2 para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos. Quito. 2001, p. 10

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN Plan Nacional de Desarrollo 2011 – 2014 Ley 1450 de 2011 Departamento Nacional de Planeación (2016). Conpes 3874 de 2016. Política nacional para la gestión integral de residuos sólidos, 2011.

DIAZ, Luis., DE BERTOLDI, Marco y BIDLINGMAIER, Werner (ed.). *Compost science and technology*. Elsevier, 2011.

DOCUMENTO CONPES 3874. Política nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos. Bogotá, DC, 21 de noviembre de 2016

EMMC MINING & AGRICULTURE. Secador. [En línea]. 2017. Actualizado el 5 de mayo de 2019. [Consultado 17 de octubre de 2019]. Disponible en: <http://www.fertimaquina.com/rotary-drum-dryer.html>

FORTUNECITYS. Los residuos sólidos. Ingeniería ambiental y medio ambiente.

GESTIÓN Y TRATAMIENTO DE RESIDUOS URBANOS. Gestión de los RSU. Universidad de Educación a Distancia – UNED, Semana de la Ciencia, España.

HANNA INSTRUMENTS. Medidor portátil de pH. [En línea]. 2019. Actualizado el 5 de mayo de 2019. [Consultado 17 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.hannacolombia.com/productos/producto/hi-935003-termometro-termocupla-tipo-k>

HANNA INSTRUMENTS. Termohigrómetro. [En línea]. 2019. Actualizado el 5 de mayo de 2019. [Consultado 17 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.hannacolombia.com/productos/producto/hi-935003-termometro-termocupla-tipo-k>

HANNA INSTRUMENTS. Termometro Termocupla Tipo-K. [En línea]. 2019. Actualizado el 5 de mayo de 2019. [Consultado 17 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.hannacolombia.com/productos/producto/hi-935003-termometro-termocupla-tipo-k>

HIMANEN, Marina y HÄNNINEN, Kari. Composting of Bio-waste, Aerobic and Anaerobic Sludges – Effect of Feedstock on the Process and Quality of Compost. Bioresource Technology, 2011. Vol. 102 nro. 3 pp. 2842-2852.

INFORME PROYECTO EDUCACIÓN CIUDADANA EN LA SEPARACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DEL MUNICIPIO ALVARADO – TOLIMA. Arquitectura Humana, 2019.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Resolución ICA 00150 del 21 de enero de 2003 por el cual se adopta el reglamento técnico de fertilización y acondicionadores de suelos para Colombia, 2003.

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO. Resolución ICA 2935 de octubre 23 de 2001: Sobre bioseguridad de organismos modificados genéticamente (OMG) de interés pecuario, 2001.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Compendio de normas para trabajos escritos. NTC-1486-6166. Bogotá D.C. El instituto, 2018. ISBN 9789588585673 153 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Norma Técnica Colombiana GTTC 24. Gestión Ambiental. Residuos Sólidos. Guía para la Separación en la fuente. Tercera actualización, 2009. [En línea]. Recuperado en 2019-07-15. Disponible en: <https://tienex.co/media/b096d37fcdee87a1f193271978cc2965.pdf>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. NTC 5167. Productos para la industria Agrícola. Bogota D.C., 2011.

INTAGRI. Humus, Huminas, Ácidos Húmicos y Ácidos Fúlvicos, 2001.

INTERASEO S.A.S E.S.P. Caracterización de residuos sólidos residenciales, 2019

INTERASEO S.A.S. E.S.P. Informe de Caracterización de los residuos sólidos en el relleno la Miel – Ibagué, 2019

JARAMILLO HENAO, Gladys y ZAPATA MÁRQUEZ, Liliana María. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Monografía de Especialización en Gestión Ambiental. Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería. Medellín, Antioquia, 2008.

JICA-MSPyBS. El estudio sobre el manejo de residuos sólidos en el área metropolitana de Asunción. Japan International Cooperation Agency-Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social de la República del Paraguay, Py, 1994.

KALAMDHAD, Ajay y KAZMI, A. A. Effects of C/N ratio on mixed organic waste composting in a rotary drum composter International Journal of Environmental Engineering, 2009. vol.1 nro.2

MANUAL DE COMPOSTAJE DEL AGRICULTOR. Experiencias en América Latina. p.23. [en línea]. 2019. Actualizado el 3 junio de 2019. [Consultado 3 de diciembre de 2019]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

MARMOLEJO, Luis Fernando.; OVIEDO, Édgar Ricardo.; JAIMES, Juan Carlos, *et al.*, Influencia de la separación en la fuente sobre el compostaje de residuos sólidos municipales. Cali, 2010.

MARQUES RANGEL Mariana. Estudio estadístico de la gestión de residuos sólidos urbanos. Universidad de Sevilla, Sevilla, 2019. p. 17

MEDINA ALVARO, José. Propuesta para la producción de un abono orgánico partiendo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales del colegio rochester. Trabajo de grado de Ingeniería Química. Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías. Bogotá, 2017.

MEMORESCO. Bascula industrial tipo plataforma. [en línea]. 2019. Actualizado el 5 marzo de 2019. [Consultado 1 de marzo de 2020]. Disponible en: <http://www.basculasmoresco.com/bascula-industrial-1000kg.html>

MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Decreto 838 (23, marzo 2005). Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. Bogotá D.C. El Ministerio, 2005.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Clasificación de la NTC-GTC 24. En: Guía de Planeación Estratégica para el Manejo de Residuos Sólidos de Pequeños Municipios en Colombia, 2017.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO, MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE. Resolución 0754 (25, noviembre 2014). Por la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Colombia. El Ministerio, 2014.

MOHEE, Romeela y MUDHOO, Ackmez. Analysis of the Physical Properties of an In-Vessel Composting Matrix. Powder Technology, 2005. Vol. 155 nro. 1 pp.92-99

MONROY Oscar. Biorreactores anaeróbicos. Cuernavaca. México, 1977.

MURILLO, Gregorio. Los ácidos húmicos y ácidos fúlvicos. Ácidos húmicos fertilizantes agrícolas. Jisa Jicola Industrial S.A. Agronutrientes.

NEGRO, M. J, VILLA, F, AIBAR, J, ALARCÓN, R, CIRIA. P. CRISTÓBAL. M. V. *et al.*, Producción y Gestión del Compost., p. 12. [En línea]. Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/16792/1/2000%20Compost%20CIEMAT.pdf>

NINCO, Cristhian, y SÁNCHEZ, Johanna. Propuesta para la producción de abono orgánico mediante el compostaje de los residuos sólidos del municipio el rosal, Cundinamarca. Trabajo de grado de Ingeniería Química. Fundación Universidad de América. Facultad de Ingenierías. Bogotá, 2017

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC 1927: Fertilizantes y acondicionadores de suelos. Definiciones, clasificación y fuentes de materias primas (3° actualización de 2001).

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. NTC 5167. Reglamenta los limitantes actuales para el uso de materiales orgánicos, los parámetros físico – químicos de los análisis de las muestras de materia orgánico, los límites máximos de metales pesados y enuncia algunos parámetros para los análisis microbiológicos, 2003

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA. Manual compostaje del agricultor: Experiencias en América latina. Santiago de Chile, 2013

OTZEN, Tamara y MANTEROLA, Carlos. Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. International journal of morphology, 2017, vol. 35, no 1, p. 227-232.

PANTOJA, Román. Manual de compostaje del agricultor, Experiencias de América Latina, Santiago de Chile, 2013.

PÉREZ, N. Compostaje Vs Residuos Orgánicos, Cuba, 2010. p. 19.

PLAN DE DESARROLLO MUNICIPIO DE ALVARADO 206-2019. Disponible en: [https://concejoalvarado.micolombiadigital.gov.co/sites/concejoalvarado/content/files/000043/2149\\_pla-de-desarrollo--2019.pdf](https://concejoalvarado.micolombiadigital.gov.co/sites/concejoalvarado/content/files/000043/2149_pla-de-desarrollo--2019.pdf)

PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS. Municipio de Alvarado Tolima, 2016.

POZZOLO, O.; HIDALGO, R.; MEICHTRY, M. *et al.*, Estudio de la Relación cascara-grano en el cultivo de Arroz implicancias con el silo bolsa. 2014. [En línea]. Recuperado en 2020-22-05. Disponible en: [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-estudio\\_de\\_la\\_relacin\\_cscara\\_grano\\_en\\_el\\_cultivo.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-estudio_de_la_relacin_cscara_grano_en_el_cultivo.pdf)

PUERTA ECHEVERRI, Silvia María. Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos, 2004.

QUISPE INCA, Edelman Romel y CAMPOS PRIETO, José Luis. Caracterización y propuesta de manejo de residuos sólidos urbanos en el distrito de Santiago de Chuco-La Libertad, 2018.

RAMOS VELÁSQUEZ, Henry Alexander. Propuesta para el manejo de los desechos sólidos residenciales generados en el área urbana del municipio de San Pedro Sacatepéquez, departamento de San Marcos. Citado Por SANTOS PAIZ, Ruben. En caracterización de los desechos sólidos domiciliarios, en la cabecera del municipio de San Vicente Pacaya, Escuintla.

REAL ACADEMIA ESPAÑOLA. Residuo. Madrid, 2020.

RODRÍGUEZ MEDINA, Alvaro José. Propuesta para la producción de un abono orgánico partiendo de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales del Colegio Rochester. Tesis de Licenciatura. Fundación Universidad de América, 2017. p.36

SALAMANCA CASTRO, Eduard. Estrategias para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en la plaza de mercado de Fontibón, Bogotá D.C, 2014. p.14.

SALDARRIAGA, Juan Fernando. Compuestos orgánicos volátiles (VOCs). En el proceso de compostaje de los residuos sólidos urbanos y su efecto en la salud humana. Tesis M Sc Ing. Urb. Universidad de Medellín, 2009.

SANTOS PAIZ, Esbin Rubén. Caracterización de los desechos sólidos domiciliarios, en la cabecera del municipio de San Vicente Pacaya, Escuintla. Tesis Doctoral. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2018.

SISTEMAS Y TÉCNICAS PARA EL COMPOSTAJE. p. 4. [En línea]. Recuperado en 2020-03-01. Disponible en: [https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/sistemas\\_y\\_tecnicas\\_para\\_el\\_compostaje.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/sistemas_y_tecnicas_para_el_compostaje.pdf)

SOLOSTOCKS. Sacos de polipropileno. 2019. [En línea]. Recuperado en 2019-22-10. Disponible en: [https://www.solostocks.com.co/venta-productos/sacos-polipropileno\\_b](https://www.solostocks.com.co/venta-productos/sacos-polipropileno_b)

COMANDO SULUDA. António Inácio. *Optimización del compostaje de residuos sólidos urbanos en proceso de serie anaerobio-aerobio*. Tesis Doctoral. ETSI Caminos, Canales y Puertos (UPM), 2006.

SUAREZ GÓMEZ, Claudia Inés. Problemática y gestión de residuos sólidos peligrosos en Colombia, 2000.

TCHOBANOGLIOUS, George. Caracterización de residuos sólidos urbanos en el municipio de Pereira. Gestión integral de residuos sólidos. España: McGraw-Hill, 1994.

TCHOBANOGLIOUS, George., THEISEN, H. y VIGIL, S. Gestión Integral de Residuos Sólidos. Vol. I y II. Madrid. España: McGraw-Hill, 1994.

TIQUIA, S. M. Microbiological parameters as indicators of compost maturity. J Appl Microbiol, 2005 vol. 99 nro. 4 pp.816-28.

TRAPP BRASIL. Trituradores de ramas, troncos y residuos orgánicos. 2020. [En línea] Recuperado en 2020.05-04. Disponible en: <https://www.trapp.com.br/es/produtos/compostaje/trituradores-de-ramas,-troncos-y-residuos-organicos./produto/tr-200>

TORTOSA, Germán. Definición de compostaje. ¿Qué es el compost? 2008. [En línea] Recuperado en 2020-04-06. Disponible en: <http://www.compostandociencia.com/2008/09/definicion-de-compostaje-html/>

UNIVERSIDAD DEL TOLIMA. Prueba realizada por el Laboratorio Laserex, 2019

URIZA SUÁREZ, Nubia Esperanza. Caracterización de los residuos sólidos domiciliarios en el sector urbano de la ciudad de Tunja y propuesta de sensibilización para su separación en la fuente. Tesis de Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Universidad de Manizales Facultad de Ciencias Contables, Económicas y Administrativas, 2016.

VICENTE, J., CARRASCO, J. E., NEGRO, M. J. y Centro de Investigaciones Energeticas, Medioambientales y Tecnologicas-CIEMAT, Madrid (Spain). El

compostaje como tecnología para el tratamiento de residuos compostaje de bagazo de sorgo dulce con diferentes fuentes nitrogenadas. *Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. Ed. Ciemat. Madrid, España. Informe Técnico*, 1996. (802), 49.

WU, Shaohua.; HUIJUN, HE.; INTHAPANYA, Xayanto, *et al.* Role of biochar on composting of organic wastes and remediation of contaminated soils-a reviewWu, *Environmental Science and Pollution Research* vol. 24 nro. 20 pp.16560-16577

XACTSYSTEMSCOMPOSTING. Reactor horizontal para compostaje. [En línea]. Recuperado en 2019-10-17. Disponible en: <https://xactsystemscomposting.com/wp-content/uploads/2015/04/Composting-equipment.jpg1>

YAÑEZ, Remedios.; ALONSO, José Luis y DÍAZ, Manuel Jesús. Influence of bulking agent on sewage sludge composting process. *Bioresource Technology*, 2009. Vol. 100 No. 23. pp. 5827-33.

YUAN, Jing.; CHADWICK, David.; ZHANG, Difang *et al.* Effects of aeration rate on maturity and gaseous emissions during sewage sludge composting. *Waste Management*, 2016. Vol. 56; pp. 403-410.

# **ANEXOS**

ANEXO A.  
FOLLETOS E INFORMACION CAMPAÑA SENSIBILIZACIÓN



**SEPARAR, RECICLAR Y COMPOSTAR UN NEGOCIO PARA EL MEDIO AMBIENTE**

EL COMPOSTAJE ES UN PROCESO DE TRANSFORMACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA PARA OBTENER COMPOST, UN ABONO NATURAL. ESTA TRANSFORMACIÓN SE LLEVA A CABO EN CUALQUIER CASA MEDIANTE UN COMPOSTADOR, SIN NINGÚN TIPO DE MECANISMO, NINGÚN MOTOR NI NINGÚN GASTO DE MANTENIMIENTO.

**COMPOSTAJE**

LA RECOLECCIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS Y SU DISPOSICIÓN ADECUADA PROTEGEN LA SALUD Y AYUDAN A CONSERVAR EL MEDIO AMBIENTE.

**SÍ**

- VERDURA Y FRUTA
- PAN, CEREALES Y LEGUMBRES
- HUEVOS Y CÁSCARAS
- CARNE Y HUESOS
- PESCADO Y RASPOS
- CAFÉ E INFUSIONES
- PAPEL DE COCINA
- RAMAS, HOJAS Y PLANTAS

**NO**

- HECES DE PERROS O GATOS
- RESTOS DE LA ASPIRADORA
- PAÑALES O COMPRESAS
- PAPEL IMPRESO EN COLORES

CASCARAS RESTOS DE ALIMENTOS RESIDUOS DE VEGETALES

RESTOS VIBRIS O PLASTICO LATAS

**COMPOST**

**"UN GOBIERNO CON RECTITUD Y SERIEDAD"**

ANEXO B.  
ENCUESTA DIAGNOSTICO APLICADA A LA COMUNIDAD



ALCALDÍA MUNICIPAL DE ALVARADO TOLIMA  
OFICINA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO  
ENCUESTA PARA DETERMINAR EL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS  
EN EL MUNICIPIO DE ALVARADO TOLIMA

**OBJETIVO:** Determinar el conocimiento de la comunidad acerca del manejo de los residuos sólidos domiciliarios a una muestra de aproximadamente del 10% de los usuarios (597 usuarios), en el sector urbano del Municipio de **ALVARADO** Tolima, para cotejar con los resultados obtenidos de las diferentes fuentes de información.

Marque con una X la respuesta que considere.

1. **¿Cuántas personas permanecen en la vivienda o establecimiento?**

Una  Dos  más de Dos

2. **¿Teniendo en cuenta que residuos sólidos se considera cualquier material en estado sólido, resultante del consumo diario, que generalmente se le conoce como basura, de los siguientes residuos sólidos cuales se generan con mayor cantidad en su hogar o establecimiento?**

Orgánicos (restos de cocina y comida)  Papel  Cartón

Vidrio  Plástico  Pilas  Otros  Cuales \_\_\_\_\_

3. **¿Realiza separación de estos residuos en su hogar o establecimiento?**

Si  No

4. **¿Si la respuesta anterior fue negativa, cuál cree usted que es la causa por la cual no se lleva a cabo la separación de residuos sólidos en su hogar?**

Falta de conocimiento  Falta de capacitación  Poco Interés

Falta de Estrategias de la empresa responsable de la recolección

5. **¿Existe ruta de recolección selectiva en el sector donde usted Reside?**

Si  No  No sabe

6. **¿Le gustaría que nuestro Municipio sea reconocido como un lugar limpio, libre de basuras y amigable con el medio ambiente?**

Si  No

**"UN GOBIERNO CON RECTITUD Y SERIEDAD"**

Parque Principal Cra. 5 Calle 4 Esp. Tel. 282 01 08 – 282 01 14 – Celular – 316 480 48 92  
CODIGO POSTAL 730320 Alvarado – Tolima – Colombia

ANEXO C.  
ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN RESIDUOS SOLIDOS MUNICIPIO  
ALVARADO



Cód.: H2091M	CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN EL RELLENO SANITARIO LA MIEL	
Fecha: Junio 2019		
Versión: 0		

CONTENIDO

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>6</b>
2.1 OBJETIVO GENERAL	7
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
<b>3. INFORMACIÓN GENERAL</b>	<b>8</b>
<b>4. METODOLOGÍA</b>	<b>12</b>
4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	14
4.2 POBLACIÓN OBJETO DE ESTUDIO	15
4.3 METODOLOGÍA EMPLEADA PARA TRABAJO DE CAMPO	19
4.4 EQUIPOS	20
<b>5. RESULTADOS Y ANÁLISIS</b>	<b>21</b>
5.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICA	22
5.2 COMPILADO COMPOSICIÓN FÍSICA	30
<b>6. CONCLUSIONES</b>	<b>33</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>35</b>
<b>8. ANEXOS</b>	<b>47</b>

ANEXO D.  
RESULTADOS ANALISIS DE LABORATORIO DEL PRODUCTO

	<b>SISTEMA DE GESTIÓN DE CALIDAD</b>		Código: PS-P04-F07
	<b>REPORTE RESULTADOS ANÁLISIS QUÍMICO BROMATOLÓGICOS- FOLIARES Y OTROS LASEREX</b>		Versión: 04
USUARIO (persona o entidad)		MUNICIPIO DE ALVARADO - DANIEL SANTIAGO OSORIO FLOREZ	
FECHA DE RECEPCION		FECHA DE MUESTREO	FECHA DE ENTREGA
5/11/19		14/12/19	20/12/19
TIPO DE ANALISIS		VEREDA	MUNICIPIO
ABONO COMPLETO		----	ALVARADO
DEPARTAMENTO		TOLIMA	
N° CONSECUTIVO		942	
OBSERVACIONES		----	
IDENTIFICACION		ABONO ORGÁNICO	
PUNTO DE MUESTREO		----	
PARAMETROS	UNIDADES	942	METODO ANALÍTICO
pH		6,89	Potenciométrico
C.I.C	meq/100 g	31	NH4OAc – pH 7
Materia Orgánica	%	50	Walkley - Black
Carbono Orgánico	%	30	Walkley - Black
Nitrógeno	%	2	Kjeldahl
Proteína cruda	%	----	Kjeldahl
Fibra Bruta	%	----	Gravimétrico
Humedad	%	44,7	Gravimétrico
Materia seca	%	55,3	Gravimétrico
Cenizas	%	32,19	Mufla. Pérdidas por volatilización
Relacion C/N		14	Teórico
CaO	%	----	Volumétrico
Calcio	%	1	Volumétrico
Magnesio	%	1,8	Espectrofotométrico/AA
Sodio	mg/Kg	0,9	Espectrofotométrico/AA
Potasio	%	4	Espectrofotométrico/AA
Hierro	mg/Kg	658,3	Espectrofotométrico/AA
Cobre	mg/Kg	9,7	Espectrofotométrico/AA
Manganeso	mg/Kg	75,8	Espectrofotométrico/AA
Zinc	mg/Kg	21,8	Espectrofotométrico/AA
Boro	mg/Kg	41,0	Espectrofotométrico/Uv-Vis
Fósforo	%	2	Espectrofotométrico/Uv-Vis
Azufre	%	0,11	Espectrofotométrico/Uv-Vis
<p><b>Observaciones:</b></p> <p>1. Los resultados son reportados en base seca.</p> <p>2. Los resultados encontrados son válidos únicamente para la muestra analizada. La misma fue tomada por personas ajenas al laboratorio.</p> <p>3. LASEREX no se hace responsable de la interpretación de los resultados ni de la forma como se proceda con ellos.</p>			
<p><b>Certificados bajo las normas: ISO 9001:2008 SC 6995 - 2 Y GP1000: 2009 GP 168 - 2</b></p>			
		<p>FIRMA:</p> 	<p><b>DIRECTOR LASEREX</b></p> <p>LUIS OVEIMAR BARBOSA JAIMES</p> <p>PQ-2316</p> <p>2771212 EXT 9359</p>
<p>GP 168-2SC</p> <p>6995-2008-SC</p> <p>6995-2</p>		<p>NOMBRE:</p> <p>MAT. PROF:</p> <p>TELEFAX:</p>	



## REPORTE DE RESULTADOS

CÓDIGO: FR-PC-039

Versión: 1  
Página 1 de 1

Fecha de elaboración:  
13/06/2018

Fecha de  
actualización:

MUNICIPIO: Alvarado - Toíma.  
SOLICITADO POR: Daniel Osorio.

### IDENTIFICACION DE LA MUESTRA

TIPO DE MUESTRA: Compostaje de residuos orgánicos.  
FECHA DE TOMA: Noviembre 18 del 2019.  
No. DE MUESTRA: 1219.  
FECHA DE REPORTE: Noviembre 23 del 2019.

### ANALISIS MICROBIOLÓGICO Parámetros NTC 5167

PARAMETRO	RESULTADOS
Recuento de Mesófilos	120 UFC/g
Recuento de Coliformes Fecales ufc/g	0 UFC/g
S. aureus coagulasa positiva	0 UFC/g
Bacillus Cereus	0 UFC/g
Mohos y levaduras	<10 UFC/g
Salmonella s.p	Ausencia
Pseudomona aeruginosa	0 UFC/g

CONCEPTO BACTERIOLÓGICO: De acuerdo a los análisis de control de calidad realizados a la muestra, el producto está dentro de los parámetros establecidos por la NTC 5167

NOTA: Este resultado aplica únicamente a la muestra recibida y analizada.  
Los informes de análisis tendrán un periodo de retención de un año  
Las muestras perecederas se conservaran por un periodo de tres días.

  
Elsy Amparo Ovalle Garzón  
R.P. 06047  
Bacterióloga U. Javeriana  
Magister en Microbiología U. Rio de Janeiro

El anterior análisis obedece a los resultados obtenidos, siguiendo las normas. Utilizando los equipos autorizados y exigidos por STANDARD METHODS y el Instituto Nacional de Salud para dicho estudio. SUPERVISADO POR EL - PCCAP - INS -

 Carrera 4G No. 38A-01 B. Magisterio  
 322 709 6825; - 316 433 7356 - Ibagué

 [acquayvida@gmail.com](mailto:acquayvida@gmail.com)

ANEXO E.  
CARTA MONTEVERDE S.A ACERCA DE LA APLICACIÓN DEL PRODUCTO



Ibagué, 22 de noviembre de 2019

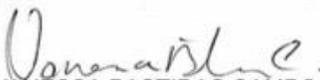
Señores  
FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA  
Bogotá, D.C.

Respetados señores:

Comendidamente me permito certificar que, en la Finca Bellavista, ubicada en el Municipio de Ibagué (Tolima), sede de la Comercializadora Agropecuaria Monteverde SAS, se realizó un ensayo de campo para evaluar el efecto en la producción y calidad de la lechuga, variedad verde crespa, del biofertilizante de tipo compost, desarrollado por el estudiante DANIEL SANTIAGO OSORIO FLÓREZ, a partir de los residuos orgánicos provenientes del Municipio de Alvarado (Tolima). El compost fue aplicado durante el momento del transplante y la duración del bioensayo fue de un (1) mes.

Dentro de los principales resultados obtenidos se pudo evidenciar un desarrollo y crecimiento óptimo de las plantas de lechuga, el tamaño de sus hojas y el vigor de las plantas fueron óptimas, así como el color, sabor y textura de la hoja fueron atractivos, favoreciendo la calidad. Además de lo anterior, no se observaron efectos negativos en las plantas ni en el suelo. De dichos resultados, se desprende que se pueden realizar y recomendar aplicaciones a nivel comercial de dicho compost en la producción de hortalizas de hoja.

Cordialmente,

  
VANESSA BASTIDAS CAMPO  
Ingeniera Agrónoma  
Gerente Comercializadora Agropecuaria Monteverde SAS  
[monteverde.gerencia@gmail.com](mailto:monteverde.gerencia@gmail.com)  
313-4874376  
Ibagué - Tolima

COMERCIALIZADORA AGROPECUARIA MONTEVERDE SAS  
NIT 900878139-8  
[monteverde.gerencia@gmail.com](mailto:monteverde.gerencia@gmail.com)  
3134874376  
Ibagué - Tolima

ANEXO F.  
COTIZACIONES Y PRECIOS EQUIPOS E INSTRUMENTOS

Triturador



Usado

Trapp Triturador De  
Residuos Organicos  
Jtr200

\$ 949.000

12 cuotas de \$ 79.083 sin interés



Más información

Entrega a acordar con el vendedor  
Bello, Antioquia

[Ver costos de envío](#)

Cantidad: 1 Unidad (10 disponibles)

Banda transportadora



<b>COTIZACIÓN N°</b>	<b>1256</b>
<b>FECHA</b>	
10/11/2019	
<b>CLIENTE</b>	

BANTRACOL S.A.S.  
 Lina María Rúa Henao  
 901.067.318-3  
 CALLE 13 SUR N° 51 C26  
 MEDELLÍN - ANTOQUIA  
 320 537 45 63  
 bantracol@gmail.com

DANIEL SANTIAGO OSORIO FLOREZ  
 ATEN: DANIEL SANTIAGO OSORIO FLOREZ  
 1.110.551.927  
 TOLIMA  
 MUNICIPIO DE ALVARADO TOLIMA  
 CEL: 317 853 75 94  
 danielosorio747@gmail.com

VENDEDOR	TRABAJO	FORMA DE PAGO	VENCIMIENTO
LINA MARÍA RÚA	BANDA PVC SINTETICA	VER CONDICIONES COMERCIALES	25-nov.-19

ITEM	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	1	BANDA PVC SINTETICA DE 3 LONAS X 4MM ESPESOR COLOR VERDE SANITARIA, UNIDAD EN CALIENTE DE 1 DE ANCHO X 9 MTS DE LARGO.	1.569.000	1.569.000
2				0
3				0

SUB TOTAL \$	1.569.000
I.V.A 19% \$	298.110
TOTAL \$	1.867.110

Esta cotización, está sujeta a los siguientes términos y condiciones que se enuncian a continuación:

FORMA DE PAGO:	CONTADO
TIEMPO DE ENTREGA:	1 DÍAS HÁBILES
TIEMPO DE MONTAJE:	NO INCLUYE
GARANTÍA:	
VALIDEZ DE LA OFERTA:	10 DÍAS HÁBILES
LUGAR DE ENTREGA:	MUNICIPIO DE ALVARADO TOLIMA
TRAMOS:	PAQUETES
FLETES:	NO INCLUYE

NOTAS: LAS ACOMETIDAS ELÉCTRICAS Y OBRAS CIVILES REQUERIDAS, VAN POR CUENTA DEL CLIENTE

Gracias por hacer negocios con nosotros!

LINA MARÍA RÚA  
 GERENTE COMERCIAL  
 CEL. 320 537 45 63  
 Bantracol@gmail.com

Bascula

	<b>Documento Especifico Formato de Cotizaciones</b>	Identificación: <b>DEFC-01</b>
		Revisión: <b>1</b>
		Fecha: <b>28/10/2018</b>

**Formato de cotización**

**FC6-0011**

<b>MORESCO JM SAS</b> Nit: 901.123.619-5 Carrera 18 12-11 Barrio Centro Bogota D.C. Colombia Ventas de Régimen Común	<b>Cliente:</b> Razon Social: Daniel Santiago Osorio F. Email: <a href="mailto:danielosorio747@gmail.com">danielosorio747@gmail.com</a> Dirección: Telefono: 310 862 62 48	<b>Fecha:</b> 08/11/2019 <b>Contacto:</b> NIT: 1110551927 Movil: Vendedor: Leonardo M
--	--	---

Cant.	Imagen	Ref.	Item	Descripcion	Precio/Unitario	Total \$
1		M6-1000		Bascula tipo plataforma Industrial, con capacidad de 1000kg y división 200g. Para Trabajo Pesado	\$ 1 600 000	\$1 600 000
				Funciona concoriente a 110 VAC y bateria incorporada recargable. Incluye Cargador .		
				Pantalla LCD con contraste para visibilidad en zonas oscuras. Garantia de 1 año Entrega inmediata, opcion conexión a PC ó Impresora		

<b>Términos y Condiciones:</b>	Subtotal (\$):	\$ 1 600 000
BASCULAS MORESCO hace 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. BASCULAS MORESCO no será responsable por cualquier error de precios que contengan.	Iva 19%:	\$ 304 000

<b>Forma de Pago</b> Pago 100% por Adelantado – Generar pagos/Transferencia Bancarias a: Davivienda. Cuenta de Ahorros: 90600966181 Titular MORESCO JM SAS Nit: 901.123.619-5	<b>Total \$:</b>	<b>\$ 1 904 000</b>
--	------------------	---------------------

<b>Envios/Fletes</b> 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 MORESCO JM SAS 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.		
<b>Tiempo de Garantía:</b> Los Productos Cotizados cuentan con una Garantía Limitada de <b>12 Meses Apartir de su Compra</b>		

Elaborado por: Leonardo Moreno  
Director de Ventas

Aprobado Por: Steven Moreno

Moresco JM SAS \*\* Soluciones de Medición y Control \*\* Nit: 901.123.619 - 5 \*\* IVA de régimen común \*\* Actividad Principal: 4774 ICA 11.04 x 1000  
[www.basculasmoresco.com](http://www.basculasmoresco.com) \*\* Email: [ventas@basculasmoresco.com](mailto:ventas@basculasmoresco.com) \*\* Tel: +571 247 3828 \*\* Carrera 18 # 12-11 Bogota D.C. Centro

## Instrumentos medicion de variables en el proceso



Hanna Instruments S.A.S.  
NIT: 900352772-2  
Regimen Común - ICA Actividad Económica 204 - 11.04\*1000 -  
CIUJ 4659 Tarifa de Retención Impuesto CREE 0,4%  
Autoretenedores de Renta. Resolución 003346 del 24 de abril de 2015

### COTIZACION N° 151440

Fecha : 05/11/2019 - Vigencia : 20/11/2019

Señores: DANIEL SANTIAGO OSORIO FLORES

Atención: Sr. DANIEL SANTIAGO OSORIO FLORES Fono: 3178537594 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.	Cantidad	Precio	Total
1	HI 991001	Medidor de pH y Temperatura impermeable <i>Stock disponible de 5 a 6 semanas</i>	C/U	1	\$1.579.990	\$1.579.990
2	HI 935003	Termómetro tipo K aplicaciones industriales <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$269.990	\$269.990
3	HI 9564	Termo higrómetro portátil <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$626.990	\$626.990
4	HI 756C	Sonda de T° p/penetración <i>Stock disponible inmediatamente, salvo previa venta</i>	C/U	1	\$310.990	\$310.990

#### CONDICIONES COMERCIALES

Forma de Pago Contado

Lugar de Entrega Según especificaciones informadas en orden de compra

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

Neto	\$2.787.960
IVA (19%)	\$529.712
<b>Total</b>	<b>\$3.317.672</b>

Wendy Barrios  
HANNA Instruments  
email: wendy@hannacolombia.com  
cel: (317) 3957778

Carrera 98 No 25G-10 Bodega 9 - Bogotá Colombia  
email:ventas@hannacolombia.com  
Teléfono: (571) 5189995 / 4154551

## Reactor



Ver imagen más grande



US\$ 3.958,00 - US\$ 6.590,00 / Set | 1 Set (Pedido mínimo)

Número de Mod...	JZ-600	US\$ 3.958,00	-	0
	JZ-800	US\$ 6.205,00	-	0
	JZ-1000	US\$ 6.590,00	-	0

Customization: Logotipo personalizado (Pedido mínimo: 1 Set)  
Embalaje personalizado (Pedido mínimo: 1 Set) More ▾

**Garantía comercial** Protege tus pedidos de Alibaba.com

Pago: **VISA** **Online Bank Payment** **T/T** **Pay Later** **WesternUnion/WU**

Logística de Alibaba.com · Soluciones de inspección

## Zaranda vibratoria



Nuevo - 1 vendido

### Zaranda Clasificadora 2 Y 3 Niveles

\$ 14.000.000

12 cuotas de \$ 1.166.667 sin interés

VISA Mastercard

Más información

Entrega a acordar con el vendedor  
Medellín, Antioquia  
Ver costos de envío

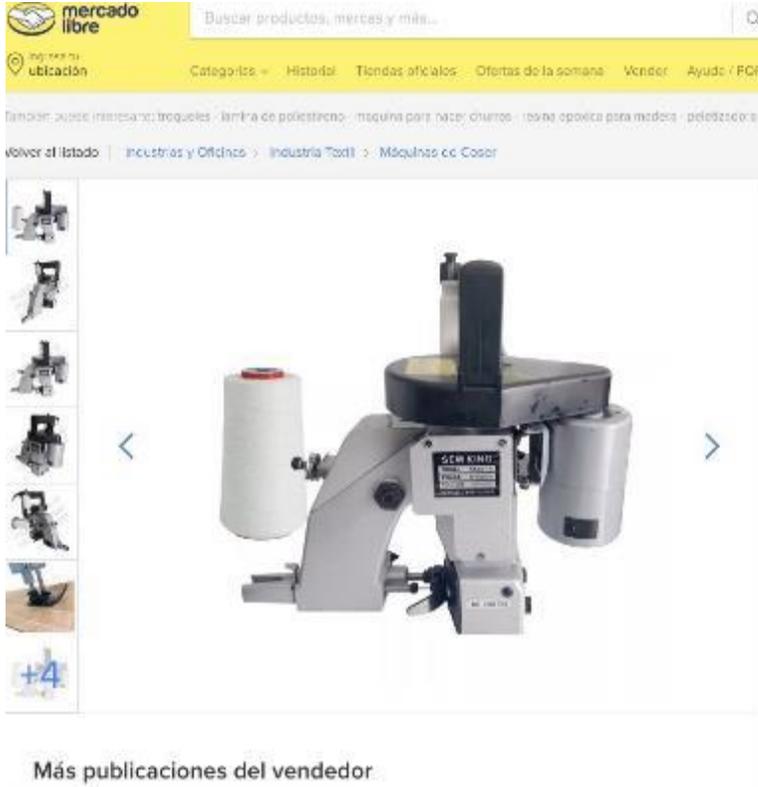
¡Único disponible!

Comprar

Compra Protegida, recibe el producto que esperas o te devolvemos tu dinero

Sumas 7.000 Mercado Puntos

## Cosedora de sacos



mercado libre

Buscar productos, marcas y más...

Disfruta tu beneficio de envío gratis

ubicación

Categorías - Historial - Tiendas oficiales - Ofertas de la semana - Vender - Ayuda / PQR

Crear tu cuenta - Ingresar - Mis compras

También puede interesarte: troqueles - lamina de poliestireno - maquina para hacer cuartos - resina epoxica para maderas - poliestireno

volver al listado - Industrias y Oficinas > Industria Textil > Máquinas de Coser

Compartir - Vender uno igual

Nuevo - 185 vendidos

### Maquina Cerradora Cosedora Selladora Sacos Costales + Hilo

★★★★★ 6 opiniones

\$ 385.900

36 cuotas de \$ 10.719

VISA Mastercard

Más información

Envío gratis a nivel nacional  
Conoce los tiempos y las formas de envío  
Calcular cuando llega

Cantidad: 1 Unidad (16 disponibles)

Comprar

Compra Protegida, recibe el producto que esperas o te devolvemos tu dinero

Sumas 192 Mercado Puntos

Más publicaciones del vendedor