

EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD TÉCNICO-FINANCIERA DE LA
PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO MEDIANTE EL COMPOSTAJE PARA EL
MANEJO ADECUADO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL MUNICIPIO DE
PUERTO GAITÁN, META

MARÍA PAULA ABRIL PRIETO
MARÍA CAMILA PÉREZ PÉREZ

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2019

EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD TÉCNICO-FINANCIERA DE LA
PRODUCCIÓN DE ABONO ORGÁNICO MEDIANTE EL COMPOSTAJE PARA EL
MANEJO ADECUADO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL MUNICIPIO DE
PUERTO GAITÁN, META

MARÍA PAULA ABRIL PRIETO
MARÍA CAMILA PÉREZ PÉREZ

Proyecto integral de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERIAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C
2019

Nota de Aceptación

Ingeniero Oscar Libardo Lombana
Presidente del jurado

Ingeniero David Triviño
Jurado 1

Ingeniero Fernando Moreno
Jurado 2

Bogotá D.C, Febrero 2019

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Director del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y de Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Decano General de la Facultad de Ingenierías

Ing. Julio César Fuentes Arismendi

Director del Programa de Ingeniería Química

Ing. Leonardo de Jesús Herrera Gutiérrez

Las directivas de la 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.

A Dios principalmente por ser mi más grande guía, a mis padres por ser siempre mi motivo y mis fuerzas para seguir adelante y mi mayor ejemplo a seguir, a mis hermanos por su apoyo incondicional en cada paso que doy y finalmente a mi compañero de vida que me hace crecer como ser humano cada día.

Principalmente, a Dios por darme todas las bendiciones y ser mi guía espiritual en cada etapa de mi vida. A mis padres, quienes siempre me han inculcado los valores y principios que debo tener para alcanzar las metas y objetivos que me proponga; y de esta forma, lograr ser una persona exitosa, tanto en el ámbito laboral como personal. Además de brindarme la educación y apoyo económico incondicional. A mi hermana, quien me ha enseñado la verdadera amistad, el positivismo y la seguridad que debo tener en cada decisión de mi vida. A mi mejor amiga, quien es como mi otra hermana, por brindarme su apoyo y amistad incondicional; y a mi compañero, quien me ha enseñado a creer en mis aptitudes, a tener paciencia, y a nunca rendirme, mediante su cariño y palabras de aliento.

AGRADECIMIENTOS

Al culminar este trabajo de grado, agradecemos a:

Dios por darnos la vida, la salud; y guiarnos durante toda la ejecución del proyecto.

Nuestros padres, quienes nos apoyaron incondicionalmente, tanto personal como económicamente.

El ingeniero Oscar Libardo Lombana, orientador del proyecto, por brindarnos sus experiencias y contribuciones para el éxito del proyecto.

La Universidad de América y profesores, quienes nos proporcionaron el espacio, las herramientas y el conocimiento durante nuestra formación como ingenieras químicas.

Todas las personas que siempre nos brindaron palabras de aliento, y aportes de sus experiencias vividas, durante el desarrollo de este trabajo de grado.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	28
OBJETIVOS	29
1. GENERALIDADES	30
1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS Y SUS CARACTERÍSTICAS	30
1.1.1 Según su estado físico	31
1.1.2 Según su origen	31
1.1.3 Según su composición	32
1.1.4 Según su peligrosidad	33
1.2 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	33
1.2.1 Composición	34
1.2.2 Propiedades físicas, químicas y biológicas	35
1.2.2.1 Propiedades Físicas	35
1.2.2.2 Propiedades químicas	39
1.2.2.3 Propiedades biológicas	41
1.2.3 Tratamiento	42
1.2.4 Técnicas de aprovechamiento	43
1.2.5 Impacto ambiental y socioeconómico	44
1.2.6 Manejo adecuado	45
1.3 EL COMPOSTAJE	46
1.3.1 Ventajas y desventajas del proceso de compostaje	46
1.3.2.1 Fase Mesófila	47
1.3.2.2 Fase Termófila o de Higienización	47
1.3.2.3 Fase de Enfriamiento o Mesófila II	47
1.3.2.4 Fase de Maduración	48
1.3.3 Microbiología	48
1.3.4 Parámetros de control	48
1.3.4.1 Oxígeno	48
1.3.4.2 Densidad	49
1.3.4.3 Humedad	49
1.3.4.4 Temperatura	49
1.3.4.5 pH	50
1.3.4.6 Relación Carbono/Nitrógeno	51
1.3.4.7 Tamaño de partícula	52
1.3.4.8 Materia orgánica	52
1.3.4.9 Nitrógeno total	53
1.3.4.10 Carbono total	53
1.3.4.11 Nutrientes	53
1.3.5 Higienización o inocuidad	53
1.3.6 Material compostable	54
1.3.7 Fertilización	54

1.3.8 Propiedades del abono orgánico	55
1.3.9 Aplicación del abono orgánico	55
1.3.10 Beneficios del abono orgánico	57
2. DIAGNÓSTICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE PUERTO GAITÁN	58
2.1 GENERALIDADES DE PUERTO GAITÁN	58
2.1.1 Localización	58
2.1.2 Climatología	59
2.1.3 Geología	59
2.1.4 Los residuos sólidos	61
2.1.4.1 Caracterización física	61
2.1.5 CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	62
2.1.6 APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	64
2.2 DESARROLLO DEL DIAGNÓSTICO	66
2.2.1 Selección de la técnica de compostaje	66
2.2.1.1 Técnicas de compostaje	66
2.2.1.2 Requerimientos y observaciones	68
2.2.1.3.1 Vermicompost	71
2.2.2 Técnica de muestreo	74
2.2.3 Estrategias de socialización del manejo de los residuos sólidos orgánicos	76
2.2.4. Elección del vermicompostador	76
2.2.5. Cantidad de lombrices requeridas	77
2.2.6 Recolección de los residuos sólidos orgánicos	77
2.2.7 Caracterización fisicoquímica de la muestra de residuos sólidos orgánicos	78
2.2.7.1 Análisis de la caracterización fisicoquímica	78
3. DESARROLLO EXPERIMENTAL	81
3.1 DEFINICIÓN DE VARIABLES Y CONSTANTES	81
3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL	82
3.3 ELECCIÓN DEL LUGAR	82
3.4 RECOLECCIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS ORGÁNICOS	83
3.5 BALANCE DE MATERIA DE AJUSTE DE LA RELACIÓN C/N	84
3.6 ADECUACIÓN DEL ALIMENTO Y ADITIVOS	87
3.7 MONTAJE DEL SISTEMA DE VERMICOMPOSTAJE	88
3.8 MONITOREO DE TEMPERATURA, HUMEDAD Y PH	90
3.8.1 Temperatura	90
3.8.2 Humedad	91
3.8.3 pH	92
3.9 PLAN DE HIGIENIZACIÓN EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE	92
3.10 FINALIZACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE	93
3.11 TAMIZADO DEL COMPOST	93
3.12 TOMA DE MUESTRAS DE ABONO PARA LABORATORIO	94
3.13 RENDIMIENTO DEL ABONO ORGÁNICO PRODUCIDO	95
3.14 RESULTADOS DEL DESARROLLO EXPERIMENTAL	95
3.14.1 Fase de campo	95

3.14.1.1 Temperatura	96
3.14.1.2 Humedad	99
3.14.1.3 pH	101
3.14.2 Fase de laboratorio	104
3.14.2.1 Análisis de la caracterización fisicoquímica del abono orgánico	104
4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PROCESO DE VERMICOMPOSTAJE	107
4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	107
4.2 DIMENSIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA DE COMPOSTAJE	109
4.3 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL	110
4.4 RECOLECCIÓN EN LA FUENTE	111
4.5 RECEPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS	112
4.6 ADECUACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS	112
4.7 AJUSTE DE LA RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO	113
4.8 INSTRUMENTACIÓN PARA EL MONITOREO DEL PROCESO	114
4.9 COMPROBACIÓN DE LA FINALIZACIÓN DEL PROCESO Y EXTRACCIÓN DE LAS LOMBRICES	116
4.10 REMOCIÓN DEL CONTENIDO DEL HUMEDAD EN EL HUMUS OBTENIDO	116
4.11 BALANCE DE CALOR EN EL SECADOR ROTATORIO	117
4.12 REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA	123
4.13 EMPACADO DEL ABONO ORGÁNICO	124
5. ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROCESO DE VERMICOMPOSTAJE	125
5.1 INVERSIÓN PARA LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO	125
5.2 INGRESOS Y EGRESOS DEL PROYECTO	127
5.2.1 Ingresos	127
5.2.2 Egresos	130
5.3 VIABILIDAD DEL PROYECTO	133
5.3.1 Flujo de caja neto	133
5.3.1.1 Valor Presente Neto	134
5.3.1.2 Tasa Interna de Retorno	135
5.3.2 Rentabilidad del proyecto	135
5.4 COMPARACIÓN DEL ESCENARIO ACTUAL FRENTE A LA PROPUESTA DE PROYECTO	136
6. CONCLUSIONES	137
7. RECOMENDACIONES	138
BIBLIOGRAFÍA	139

LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1. Diagrama de bloques del proceso de vermicompostaje	108
Ilustración 2. Diagrama PDF	108
Ilustración 3. Distribución de la planta	110
Ilustración 4. Trituradora de residuos sólidos orgánicos BT5	112
Ilustración 5. Mezclador de residuos sólidos orgánicos	113
Ilustración 6. Termohigrómetro, medidor de temperatura y humedad	115
Ilustración 7. PH metro, medidor de pH	116
Ilustración 8. Secador rotatorio de contacto directo para sólidos	117
Ilustración 9. Zaranda vibratoria	124
Ilustración 10. Sacos de hilo 100% poliéster y cosedora	124

LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
Gráfica 1. Comportamiento de la temperatura en el compostaje aerobio	50
Gráfica 2. Comportamiento del ph según las fases del compostaje	51
Gráfica 3. Proyección de crecimiento de la población en puerto gaitán	62
Gráfica 4. Proyección de generación de residuos para el área urbana y rural el municipio de puerto gaitán	63
Gráfica 5. Generación de residuos en puerto gaitán por material para el 2018	64
Gráfica 6. Comportamiento de la temperatura en el tratamiento 1, con restos de maíz	96
Gráfica 7. Comportamiento de la temperatura en el tratamiento 2, con estiércol de bovino	97
Gráfica 8. Comportamiento de la humedad en el tratamiento 1, con restos de maíz	99
Gráfica 9. Comportamiento de la humedad en el tratamiento 2, con estiércol de bovino	100
Gráfica 10. Comportamiento del pH en el tratamiento 1, con restos de maíz	102
Gráfica 11. Comportamiento del pH en el tratamiento 2, con estiércol de bovino	102
Gráfica 12. Proyección de los residuos sólidos del municipio a un horizonte medio (2019-2030)	128
Gráfica 13. Flujo de caja neto	134

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Composición física de los RSU	34
Tabla 2. Datos sobre peso específico y contenido de humedad de algunos tipos de residuos	37
Tabla 3. Datos sobre el análisis elemental del material presente en los residuos sólidos domésticos, comerciales e industriales	40
Tabla 4. Análisis elemental de los materiales orgánicos utilizados como alimentación en los procesos de conversión biológica.	41
Tabla 5. Dosis de aplicación de humus de lombriz.	56
Tabla 6. Composición física de los residuos sólidos del municipio de puerto gaitán	61
Tabla 7. Toneladas de residuos sólidos al mes recuperados en el municipio de puerto gaitán.	65
Tabla 8. Comparación de los tipos de compostaje en sistema cerrado	70
Tabla 9. Zonas urbanas del municipio de puerto gaitán	74
Tabla 10. Características del vermicompostador	76
Tabla 11. Caracterización fisicoquímica de la muestra	78
Tabla 12. Detalles del diseño experimental	82
Tabla 13. Distribución del material por tratamiento	89
Tabla 14. Rendimiento del abono orgánico obtenido por cada tratamiento	95
Tabla 15. Formato de registro de tomas de temperatura semanal	96
Tabla 16. Análisis “t-student” a través de hipótesis entre la muestra 1a y 2a con respecto a la temperatura	98
Tabla 17. Formato de registro de tomas del contenido de humedad semanal	99
Tabla 18. Análisis “t-student” a través de hipótesis entre la muestra 1a y 2a con respecto a la humedad	101
Tabla 19. Formato de registro de tomas ph semanal	101
Tabla 20. Análisis “t-student” a través de hipótesis entre la muestra 1a y 2a con respecto al pH	103
Tabla 21. Prueba de laboratorio	104
Tabla 22. Elementos de protección personal para vermicompostaje	111
Tabla 23. Mobiliarios y equipos de oficina	125
Tabla 24. Maquinarias, útiles y herramientas	126
Tabla 25. Materiales e insumos para la construcción de la planta	126
Tabla 26. Inversión inicial	127
Tabla 27. Fórmula del tratamiento dos	128
Tabla 28. Proyección de producción de abono orgánico a horizonte medio (2019-2030)	129
Tabla 29. Ipc proyectado a horizonte medio (2019-2030)	130
Tabla 30. Ingresos del proyecto	130
Tabla 31. Costos variables	131
Tabla 32. Electricidad y combustible anual	131

Tabla 33. Sueldos y salarios	132
Tabla 34. Depreciación anual de propiedad, planta y equipos	133
Tabla 35. Costos fijos	133

LISTA DE IMAGENES

	pág.
Imagen 1. Geografía del meta	59
Imagen 2. Área potencial de aprovechamiento agrícola, pecuario y forestal	60
Imagen 3. Sistemas abiertos o en pilas	67
Imagen 4. Sistemas cerrados o en recipiente	68
Imagen 5. Lombriz californiana	70
Imagen 6. Distribución geográfica de puerto gaitán	74
Imagen 7. Sistema de vermicompostaje elegido	77
Imagen 8. lugar del sistema de vermicompostaje	83
Imagen 9. Montaje de los ensayos de vermicompostaje	90
Imagen 10. Lombrices ingresadas	90
Imagen 11. Medición de la humedad	91
Imagen 12. Instrumento de medición del pH	92
Imagen 13. Tamizado del vermicompost obtenido	94

LISTA DE ECUACIONES

	pág.
Ecuación 1. Peso específico	36
Ecuación 2. Contenido de humedad	36
Ecuación 3. Tamaño de un componente	37
Ecuación 4. Coeficiente de porosidad	38
Ecuación 5. Contenido de lignina de los residuos	41
Ecuación 6. Porcentaje de residuos de tipo orgánico aprovechados	72
Ecuación 7. Balance general	89
Ecuación 8. Balance de materia del tratamiento 1	90
Ecuación 9. balance de materia del tratamiento 2	91
Ecuación 10. Balance de materia del proceso de secado	120
Ecuación 11. Humedad libre del sólido	121
Ecuación 12. Flujo del sólido	122
Ecuación 13. Entalpía de gas de entrada	122
Ecuación 14. Determinación CS	122
Ecuación 15. Entalpía gas de salida	122
Ecuación 16. Entalpía del sólido húmedo	122
Ecuación 17. Balance de calor	123
Ecuación 18. Valor presente neto (VPN)	131
Ecuación 19. Tasa interna de retorno (TIR)	132

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Clasificación de los residuos y sus características	30
Figura 2. Jerarquía del manejo de los residuos	46
Figura 3. Ventajas y desventajas del proceso de compostaje	46
Figura 4. Material orgánico que se debe incluir o no en el compostaje	54
Figura 5. Esquema del proceso	81
Figura 6. Muestra el esquema del balance de materia del proceso	84
Figura 7. Montaje del contenido de la compostera	89
Figura 8. Proceso de flujo para secado rotatorio a contracorriente	118

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Proyección de residuos en toneladas del área urbana para el municipio de puerto gaitán	146
Anexo B. Proyección de residuos en toneladas del área rural para el municipio de puerto gaitán	147
Anexo C. Volante diseñado para la socialización del manejo de los residuos sólidos	147
Anexo D. Resultados de la caracterización fisicoquímica de los residuos sólidos	148
Anexo E. Resultados fisicoquímicos de los tratamientos obtenidos	149
Anexo F. Cotizaciones de los equipos	150
Anexo G. Dimensionamiento de camas o sistemas de vermicompostaje	169
Anexo H. IPC proyectado	170
Anexo I. Flujo de caja neto	171

ABREVIATURAS

RS: Residuos Sólidos

RSU: Residuos Sólidos Urbanos

RSO: Residuos Sólidos Orgánicos

PGIRS: Plan de Gestión Integral de los Residuos Sólidos

GLOSARIO

ABONADO: es toda acción o proceso cuya finalidad es hacer que la tierra sea fértil o productiva, mediante la aplicación de fertilizantes. Los fertilizantes pueden ser de tipo sintético o natural.¹

ABONO ORGÁNICO O COMPOST: es un material fertilizante de origen animal o vegetal que suministra uno o más nutrimentos asimilables por la planta cuya eficacia para mejorar la fertilidad y productividad de los suelos que poseen gran cantidad de materia orgánica, por lo que favorecen la fertilidad del suelo, incrementan la actividad microbiana de este, y facilitan el transporte de nutrientes a la planta a través de las raíces.

ALMACENAMIENTO DE LOS RESIDUOS: el depósito temporal de los residuos sólidos en contenedores previos a su recolección, tratamiento o disposición final.²

APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS: es el conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundados o de energía.³

ACOPIO: toda acción relacionada con la reunión de los residuos sólidos en un lugar determinado y adecuado para su recolección, tratamiento o disposición final.⁴

BIODEGRADABLE: toda sustancia perceptible a la rápida descomposición en compuestos simples por alguna forma de vida como: bacterias, hongos, gusanos o insectos.⁵

CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS: es el estudio y determinación de las propiedades físico y químicas de los residuos de un emplazamiento.

CENTRO DE ACOPIO: es el lugar destinado para la recuperación y almacenamiento de materiales aprovechables.⁶

¹ ROMÁN Pilar, MARTÍNEZ María, PANTOJA Alberto. Manual de compostaje del agricultor. Chile. 2013. p.11 [Consultado el 3 de agosto del 2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

²JARAMILLO HENAO Gladys, ZAPATA MÁRQUEZ Liliana. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Universidad de Antioquia. Colombia. 2008. [Consultado el 3 de agosto de 2018] Disponible en: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>

³ Ibíd., p.7

⁴ <http://ambientebogota.gov.co/web/escombros/conceptos-basicos>

⁵ <http://www.biblioteca.org.ar/libros/88761.pdf>

⁶ <http://ambientebogota.gov.co/web/escombros/conceptos-basicos>

CENTRO DE TRATAMIENTO INTEGRAL DE RESIDUOS: es el lugar de clasificación de los residuos para su reciclaje, compostaje y eliminación a vertedero.

COMERCIALIZACIÓN: toda operación de venta o transferencia de subproductos y materias o sustancias recuperadas para reincorporarlas al proceso productivo.

COMPOSTAJE: es el proceso de aprovechamiento completo de la materia orgánica mediante el cual ésta es sometida a fermentación en estado sólido, controlada (aerobia) con el fin de obtener un producto estable, de características definidas y útil para la agricultura.⁷

COMPOSTAJE INMADURO: es una materia orgánica que ha pasado por las etapas mesofílica y termofílica del proceso de compostaje, en el cual se ha experimentado la descomposición inicial pero no las etapas de enfriamiento y maduración requeridas para la obtención de un compost de clase A o B.⁸

COMPOST MADURO: aquella materia orgánica que hace referencia al compost o abono orgánico que ha completado todas sus etapas del proceso de compostaje.⁹

CONTAMINACIÓN: toda alteración reversible o irreversible de los ecosistemas debido a la presencia o actividad de sustancias o energías extrañas a un medio determinado, causando un desequilibrio ecológico.

CONTAMINANTE: toda materia o sustancia, sus combinaciones o compuestos, los derivados químicos o biológicos, así como toda forma de energía, radiaciones ionizantes, vibraciones o ruido, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, aguas, suelo, flora, fauna o cualquier elemento ambiental, alteren o modifiquen su composición, o afecten la salud humana.

DISPOSICIÓN FINAL: la acción de depositar o confinar permanentemente residuos sólidos en sitios o instalaciones cuyas características prevean afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos.

GENERACIÓN: La acción de producir residuos sólidos a través de procesos productivos o de consumo.

⁷ *Ibíd.*, p.8

⁸ COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. Norma de calidad del compost. p.3. [Consultado el 3 de agosto de 2018]. Disponible en. <http://www.lombricultura.cl/lombricultura.cl/userfiles/file/biblioteca/normas/Norma%20calidad%20COMPOST.pdf>

⁹ *Ibíd.*,

GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS: es el manejo que implica la cobertura y planeación de todas las actividades relacionadas con la gestión de los residuos desde su generación hasta su disposición final.¹⁰

IMPACTO AMBIENTAL: cualquier cambio en el ambiente, sea adverso o beneficioso, resultante en todo o en parte de las actividades, productos y servicios de una organización.¹¹

LIXIVIADOS: son los líquidos que se forman por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos sólidos y que contienen sustancias en forma disuelta o en suspensión que puedan infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositen residuos sólidos.¹²

MATERIAL RECUPERABLE: todo material reutilizable como materia prima y devolverse al flujo de materiales y cuyo procesamiento puede ser económicamente viable.

PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS: es un conjunto ordenado de objetivos, metas, programas, proyectos y actividades, definidos por el ente territorial para la prestación del servicio de aseo, acorde con los lineamientos definidos en los Planes y/o Esquemas de Ordenamiento Territorial y basado en la política de Gestión Integral de Residuos Sólidos.¹³

PGIRS: es el Plan de Gestión Integral de los Residuos Sólidos.

PLANTA DE COMPOSTAJE: es el centro donde se elabora el compost o abono orgánico a partir de los residuos sólidos.¹⁴

PROCESO DE DEGRADACIÓN: todo 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.

¹⁰INSTITUTO NACIONAL DE SALUD. Manual de gestión integral de los residuos. 2010. p.6 [Consultado el 3 de agosto de 2018] Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/IA/INS/manual-gestion-integral-residuos.pdf>

¹¹Ibíd.,

¹² JARAMILLO HENAO Gladys, ZAPATA MÁRQUEZ Liliana. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Universidad de Antioquia. Colombia. 2008.p.14 [Consultado el 3 de agosto de 2018] Disponible en: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>

¹³ OBSERVATORIO AMBIENTAL DE BOGOTÁ. [Consultado el 3 de agosto 2018] Disponible en: <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/preguntas-frecuentes/que-es-el-plan-de-gestion-integral-de-residuos-solidos-y-como-se-implementa>

¹⁴Ibíd.,p.15

RELLENO SANITARIO: es un método diseñado para la disposición final de la basura. Estos se esparcen y compactan reduciéndolos al menor volumen posible para que así ocupen un área pequeña. Luego se cubren con una capa de tierra y se compactan nuevamente al terminar el día.¹⁵

RESIDUO: cualquier tipo de material que este generado por la actividad humana y que está destinado a ser desechado.¹⁶

RESIDUOS SÓLIDOS: son aquellos que se encuentran en estado físico sólido, y se clasifican en agropecuarios, forestales, mineros, industriales y urbanos.

RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU): son aquellos residuos generados de espacios urbanizados como consecuencia de las actividades de consumo y gestión de actividades domésticas, servicios y tráfico viario de pequeño y gran tamaño.

RESIDUOS ORGÁNICOS: son aquellos desechos que se descomponen gracias a la acción de los desintegradores. Algunos de éstos son restos de comida y de jardín.

RSO: Residuo Sólido Orgánico.

TRATAMIENTO: todo proceso de transformación física, química o biológica de los residuos, utilizado para modificar sus características, con el propósito de disponerlos.

TRATAMIENTO BIOLÓGICO: proceso que se enfoca en los residuos orgánicos, como los alimentos o los residuos del jardín, entre otros. Algunos ejemplos son el compostaje o lombricultura.

VERMICOMPOSTAJE: es una técnica de compostaje que consiste en un proceso de bio-oxidación y estabilización de la materia orgánica, mediante la acción de lombrices rojas californianas y microorganismos presentes en la materia, del que se obtiene un producto final denominado vermicompost.¹⁷

¹⁵MINISTERIO DE SALUD. Disposición correcta de la basura. Puerto Rico. 1997. [Consultado el 4 de agosto de 2018] Disponible en: <http://www.binasss.sa.cr/poblacion/rellenosanitario.htm>

¹⁶ Ibíd., p.17

¹⁷ AGROWASTE. Vermicompostaje. p.1 [Consultado el 4 de agosto de 2018]. Disponible en: <http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/campus/doc/htmls/sostenibilidad/vermicompostaje.pdf>

RESUMEN

Hoy en día, la problemática que se presenta en Colombia es el mal aprovechamiento de los residuos sólidos generados, ya que deriva un impacto negativo al medio ambiente. A pesar de esto, existen varias tecnologías que tienen como función principal el aprovechamiento, tratamiento y disposición final de estos mismos. Así mismo, el objetivo de este proyecto es generar una propuesta para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos por medio de la producción de abono orgánico mediante el compostaje en el municipio de Puerto Gaitán, Meta. Como primera instancia, se realizó un diagnóstico de los residuos sólidos generados en el municipio, teniendo en cuenta como base la información presentada en el PGIRS. Posteriormente, se compararon los principales tipos de compostaje utilizados actualmente, llegando a la conclusión de que el procedimiento más factible y eficiente, es el vermicompostaje.

Seguido a esto, se planteó realizar una técnica de muestreo con el objetivo de saber en cuantos lugares se haría la recolección de los RSO. Adicionalmente, se implantó una estrategia de socialización en el municipio acerca del manejo de los residuos orgánicos, con el fin de facilitar la recolección de estos. Para el diagnóstico de este proyecto, se realizó una recolección aleatoria, en algunas viviendas del sector urbano del municipio, en donde se obtuvo en total 17 Kg de residuo sólido orgánico. Posteriormente, se tomó una muestra del residuo recolectado para su caracterización, con la finalidad de ajustar los parámetros fisicoquímicos más influyentes, y de esta forma poder iniciar el proceso de vermicompostaje. De acuerdo a lo anterior, se propuso ajustar la relación Carbono/Nitrógeno, siendo el parámetro más influyente en la calidad del abono orgánico.¹⁸

Luego de esto, se dispuso la realización del desarrollo experimental haciendo una elección del terreno, debido a que debe tener algunas especificaciones para el desarrollo del compostaje. Una vez escogido el terreno, se adecuó el material con el aditivo escogido, en este caso, estiércol de bovino y restos de maíz. La cantidad de aditivo añadido se calculó según el análisis de la caracterización fisicoquímica de los RSO; el cual arrojó una relación C/N del 13,51%, encontrándose fuera del rango recomendado para vermicompostar. Por tal motivo, resultó indispensable añadir este aditivo. Posterior a esto, se llevó a cabo el montaje del vermicompostaje donde se añadió un lecho o base para sistema, las lombrices, el RSO y el aditivo. Para este tipo de compostaje, se utiliza una especie de lombriz (Lombriz roja californiana), la cual se encarga de acelerar el proceso. Durante el proceso, es vital el monitoreo de los parámetros de humedad, temperatura y pH, controlándolos y ajustándolos semanalmente a un rango recomendado según la teoría.¹⁹

¹⁸ <http://organicsa.net/relacion-cn-en-el-compost.html>

¹⁹ <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

Pasadas diez semanas de haber empezado el proceso, se debe confirmar la no distinción de ningún tipo de material orgánico añadido para poder realizar la extracción de las lombrices, y así, por medio de operaciones unitarias (tamizado y secado) obtener el abono orgánico final. Al abono orgánico obtenido, se le realizó un análisis fisicoquímico para establecer su calidad según la norma NTC 5167; el cual arrojó el resultado de que el abono obtenido no se encontraba totalmente maduro, debido al tiempo limitado para el desarrollo del proceso. Sin embargo, se determinó que los dos tipos de aditivo no presentan diferencias significativas; por tanto, se propuso elegir el estiércol de bovino, debido a que es el aditivo más accesible y económico dentro del municipio.

A partir de lo anterior, se establecieron las especificaciones técnicas del proceso, a escala industrial, con base en los resultados y análisis obtenidos del desarrollo experimental. Finalmente, se evaluaron aspectos financieros del proceso de producción de vermicompost especificado, como el Valor Presente Neto, la Tasa Interna de Retorno, el tiempo de recuperación de la inversión inicial y los beneficios obtenidos. Todo esto, con la finalidad de determinar la viabilidad del proyecto.

Palabras Clave: vermicompostaje, abono orgánico, residuos sólidos orgánicos, relación carbono nitrógeno, aprovechamiento, disposición final.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, en el municipio de Puerto Gaitán, Meta, se generan 17.027,3 toneladas de residuos sólidos por día, los cuales se disponen finalmente, en el relleno sanitario Bioagrícola ubicado en la ciudad de Villavicencio, a 193,6 km de distancia del municipio. Debido a la extensa distancia del recorrido para la disposición final de los residuos recolectados, la empresa Plus Ambiente S.A.S E.S.P, decide proponer la realización de un relleno sanitario ubicado dentro del municipio de Puerto Gaitán.

Debido a la gran cantidad de residuo que se genera diariamente, se busca una solución para que estos residuos logren tener una disposición final que no afecte al medio ambiente. Para esto se busca implementar la Gestión Integral de los residuos sólidos, que abarca procedimientos básicos como la separación desde la fuente, hasta la transformación de los residuos para su aprovechamiento, o la disposición final de estos.

Algunas alternativas para el tratamiento de los RSU son las conversiones biológicas y químicas, como son el vermicompostaje, procesos de hidrólisis y biogeneración anaerobia. Por esta razón, se decide realizar esta propuesta para mitigar el impacto negativo que trae consigo el no aprovechamiento de los RSU, en cuanto a un mejor manejo de las basuras permitiendo generar un aporte de gran beneficio hacia el municipio, donde también se puedan generar otras alternativas de aprovechamiento de estos mismos. Por esta razón, se seleccionó la generación de abono orgánico mediante el vermicompostaje, por medio de los RSO generados en el municipio de Puerto Gaitán.

Este proyecto contiene cinco capítulos; donde, en el primero se presentan las generalidades de los RS, su manejo, y posibles tratamientos; y del proceso de compostaje, describiendo sus respectivos parámetros, etapas, y beneficios y aplicaciones del producto obtenido. A partir del segundo capítulo, se comienzan a desarrollar cada uno de los objetivos propuestos para la realización del proyecto. Finalmente, se presentan las conclusiones del proyecto con sus respectivas recomendaciones.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la viabilidad técnico-financiera de la producción de abono orgánico por medio de la técnica de compostaje, para el manejo adecuado de los residuos sólidos en el municipio de Puerto Gaitán, Meta.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar la situación actual de los residuos sólidos generados.
- Desarrollar el diseño experimental del proyecto.
- Establecer las especificaciones técnicas del proceso.
- Realizar el análisis financiero del proceso.

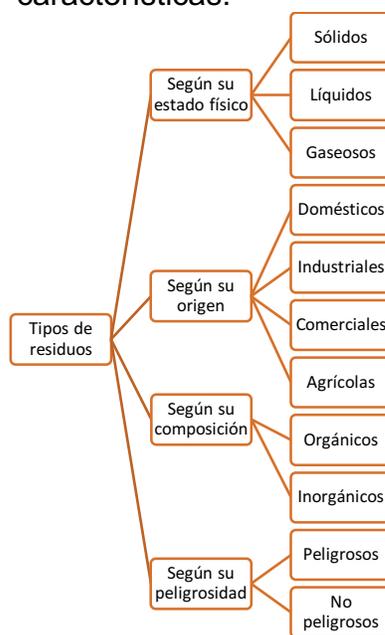
1. GENERALIDADES

El residuo, según la Ley 22/2011, se define como cualquier sustancia u objeto que su poseedor deseché o tenga la intención o la obligación de desechar.²⁰ Este residuo se puede encontrar en cualquier estado físico (sólido, líquido, gaseoso y sus respectivas mezclas), y puede ser liberado en cualquier medio receptor (atmósfera, agua y suelo).²¹ De acuerdo con esto, es necesario eliminar los residuos, pero en lo posible, recuperarlos y reutilizarlos; para así, evitar problemas sanitarios o medioambientales que se puedan presentar, a consecuencia de su disposición final.

1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS Y SUS CARACTERÍSTICAS

Los residuos pueden clasificarse en distintas categorías (ver Figura 1).

Figura 1. Clasificación de los residuos y sus características.



Fuente: Elaboración propia

²⁰ INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE. Gestión de residuo: clasificación y tratamiento. 2015.p.2 [Consultado el 10 de agosto de 2018] Disponible en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/NTP/NTP/Ficheros/1043a1054/ntp-1054w.pdf>

²¹REVERTIA. Glosario de términos. [Consultado el 10 de agosto de 2018] Disponible en: <https://revertia.com/es/quienes-somos-empresa-especializada-en-residuos-electronicos/glosario/>

- **1.1.1 Según su estado físico.** Los residuos están definidos según el estado físico en que se encuentren.
-
- **Residuos sólidos:** Son aquellos que se producen dentro de los núcleos urbanos y sus zonas de influencia. Estos residuos son producidos especialmente en los domicilios particulares, oficinas o tiendas. Se encuentran conformados por materiales que el ser humano ya no necesita, debido a que ya no tienen ningún uso o valor, incluyendo los residuos domésticos²².
- **Residuos líquidos:** Estos residuos se definen como la combinación de agua y de residuos, procedentes de residencias o lugares públicos, establecimientos agropecuarios, comerciales e industriales, los cuales contienen sólidos en suspensión, cuya calidad se ha degradado por diferentes usos²³.
- **Residuos gaseosos:** Un residuo gaseoso se entiende por un producto que se encuentra en estado gaseoso, proveniente de un proceso de extracción, transformación o utilización²⁴.

1.1.2 Según su origen. Los residuos son diferentes en cuanto a la cantidad y a la naturaleza de acuerdo con su procedencia. Estos pueden ser:

- **Residuos domésticos:** Son todos los residuos generados en los hogares y domicilios como consecuencia de la actividad doméstica. De igual forma, muchos de estos residuos se generan en comercios, oficinas, servicios e industrias; cuya composición y naturaleza es similar a la de los residuos generados en los hogares. Estos residuos en su mayoría son biodegradables como restos de comida, alimentos, papeles, cartón, vidrio, plástico, entre otros.²⁵
- **Residuos industriales:** Son aquellos residuos resultantes de procesos de fabricación de productos, de transformación de materias primas, de utilización, de consumo, de limpieza o de mantenimiento, generados por la actividad industrial, excluidas las emisiones a la atmósfera reguladas en la Ley 34/2007, de 15 de noviembre.²⁶

²² SÁEZ Alejandrina, URDANETA Joheni. Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. 2014. [Consultado el 30 de septiembre 2018]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/737/73737091009/>

²³ ECURED. Residuales líquidos. Cuba. [Consultado el 30 de septiembre 2018]. Disponible en: https://www.ecured.cu/Residuales_L%C3%ADquidos

²⁴ INDUSTRIAMBIENTE. Residuos gaseosos. [Consultado el 30 de septiembre del 2018], Disponible en: <https://www.industriambiente.com/residuos-gaseosos>

²⁵ RECYTRANS. Soluciones globales para el reciclaje. [Consultado el 30 de septiembre de 2018]. Disponible en: <https://www.recytrans.com/blog/clasificacion-de-los-residuos/>

²⁶ *Ibid.*,

- Residuos comerciales: Son aquellos residuos generados por la actividad propia del comercio, sea al por mayor o al por menor; de oficinas, de los mercados, de servicios de restauración, de bares, de cafeterías, entre otros sectores de servicios. Su principal problema se da cuando se consideran residuos no peligrosos y se recogen junto con los residuos domésticos, de esta forma se saturan los circuitos de recogida. Por esto, la importancia de optimizar la gestión y manejo de estos residuos, diferenciándolos.²⁷
- Residuos agrícolas: Son aquellos residuos generados en las actividades propias de la agricultura, horticultura y la silvicultura. Este tipo de residuos se caracteriza por una marcada estacionalidad, tanto por razón del momento de su producción como por la necesidad de retirarlos del campo en el menor tiempo posible para no interferir en otras tareas agrícolas o forestales, y evitar la propagación de plagas e incendios.²⁸

1.1.3 Según su composición.

- Residuos orgánicos: Son aquellos residuos biodegradables que poseen el poder de desintegrarse fácil y rápidamente, transformándose en otra clase de materia orgánica. Algunos ejemplos son los restos de comida, frutas, verduras, sus cáscaras, carne, huevos, entre otros.
- Residuos inorgánicos: Son aquellos residuos que por sus características químicas sufren una descomposición natural muy lenta. La mayoría de estos residuos son de origen natural, sin embargo, no son biodegradables. Por ejemplo, latas, vidrios, plásticos, gomas, entre otros.

Generalmente, los residuos orgánicos se tratan para su aprovechamiento en medios como composteras caseras o plantas de tratamiento para la obtención de abonos orgánicos como el compost. Todo esto con el fin de reutilizarlos para el beneficio de los terrenos de cultivo o jardines, gracias a su composición que le proporciona el poder de fertilidad a los suelos.

Por otro lado, los residuos inorgánicos se clasifican en los reciclables y los no reciclables. Los primeros, son reutilizados con el fin de no contaminar el medio ambiente, y para la obtención de productos de bajo costo como el vidrio, papeles, cartones, botellas de plásticos, latas, entre otros. Los no reciclables no se pueden reaprovechar, por tanto, se transportan al relleno sanitario para su respectiva disposición.²⁹

²⁷Ibíd.,

²⁸Ibíd.,

²⁹UNIVERSIDAD ICESI. Manejo de residuos orgánicos e inorgánicos. [Consultado el 2 de octubre del 2018] Disponible en: <http://eduteka.icesi.edu.co/proyectos.php/2/10735>

1.1.4 Según su peligrosidad.

- Residuos peligrosos: Son aquellos residuos que poseen características de peligrosidad siendo radioactivos, inflamables, corrosivos, explosivos, tóxicos e infecciosos ocasionando un riesgo para la salud humana y medio ambiente. De igual manera, se consideran peligrosas las sustancias u objetos que hayan estado en contacto con estos residuos.³⁰
- Residuos no peligrosos: Son aquellos residuos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. No son solubles, ni combustibles, ni reaccionan física ni químicamente de ninguna otra manera, ni son biodegradables, ni afectan negativamente a otras materias con las cuales entran en contacto, de forma que pueda dar lugar a contaminación del medio ambiente o perjudicar la salud humana. Algunos de estos residuos son biodegradables, reciclables y no reciclables.³¹

Los residuos no peligrosos se pueden dividir como residuos aprovechables, no aprovechables.

- Residuos aprovechables: Son aquellos desechos que no tienen valor para quien lo genera, pero se pueden incorporar nuevamente a un proceso productivo.
- Residuos No aprovechables: Son aquellos desechos que no ofrecen ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o reincorporación a un proceso. No tienen ningún valor comercial, por lo tanto, requieren disposición final.³²

1.2 RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS (RSU)

Según la Ley 10/1998 del 21 de abril, son aquellos residuos generados en los domicilios particulares, comercios, oficinas y servicios, así como todos aquellos que no tengan la clasificación de peligrosos y que por su naturaleza o composición puedan asimilarse a los producidos en los anteriores lugares o actividades.³³

³⁰MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Colombia. Decreto 2676 (22, diciembre, 2000). Por el cual se reglamenta la gestión integral de residuos hospitalarios y similares. 2000. 5 p.

³¹Ibíd.,

³²MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Colombia. Decreto 1713 de 2002. Por el cual se reglamenta la gestión integral de residuos hospitalarios y similares. 2000.

³³INFOAGRO. Problemática, clasificación y gestión de los residuos sólidos urbanos. [Consultado el 2 de octubre del 2018] Disponible en: http://www.infoagro.com/documentos/problemativa__clasificacion_y_gestion_residuos_solidos_urbanos.asp

1.2.1 Composición de los RSU. Composición es el término utilizado para describir los componentes individuales que constituyen el flujo de residuos sólidos y su distribución relativa, usualmente basada en porcentajes de peso.³⁴

Conocer la composición de los residuos sólidos urbanos es primordial para evaluar las necesidades de equipos, sistemas de tratamiento, y planificar estrategias para su adecuado manejo. Con la evolución de la sociedad, esta composición cada vez resulta ser más heterogénea, voluminosa y de difícil manejo, por lo que es indispensable su evaluación. En la Tabla 1 se presenta la composición física de los componentes típicos de los residuos sólidos urbanos.

Tabla 1. Composición física de los RSU.

Componente	Porcentaje en peso		
	Rango	Típico	Materiales de embalaje
Orgánico			
Residuos de comida	6-8	9,0	—
Papel	25-40	34,0	50 60
Cartón	3-10	6,0	—
Plásticos	4-10	7,0	12-16
Textiles	0-4	2,0	—
Goma	0-2	0,5	—
Cuero	0-2	0,5	—
Residuos de jardín	5-20	18,5	—
Madera	1-4	2,0	4-8
Orgánicos misceláneas	—	—	—
Inorgánicos			
Vidrio	4-12	8,0	20-30
Latas de hojalata	2-8	6,0	6-8
Aluminio	0-1	0,5	2-4
Otros metales	1-4	3,0	—
Suciedad, cenizas, etc.	0-6	3,0	—
Total	100,0		

Fuente: Gestión de RSU. Propiedades físicas, químicas y biológicas de los RSU. [Consultado el 5 de Agosto de 2018].
 Disponible en:
https://aulagaasociacion.files.wordpress.com/2015/03/3_composicion_rsu.pdf

La distribución porcentual de los RSU (ver Tabla 1), indica que la fracción mayoritaria corresponde a los componentes orgánicos, lo cual ha generado que la evolución experimentada de la sociedad centre su interés en la elaboración de productos procedentes de esta fracción orgánica, implementando procedimientos para su aprovechamiento.

³⁴ GESTIÓN DE RSU. Composición de los residuos sólidos. p.11. [Consultado el 3 de octubre del 2018] Disponible en: https://aulagaasociacion.files.wordpress.com/2015/03/3_composicion_rsu.pdf

1.2.2 Propiedades físicas, químicas y biológicas de los RSU. Comprender las características físicas, químicas y biológicas de los RSU es fundamental para el diseño de los sistemas o tratamientos que componen la gestión integral de los mismos.

1.2.2.1 Propiedades Físicas de los RSU. Las características físicas que se deben considerar en la gestión integral de los RSU son: el peso específico, el contenido de humedad, el tamaño de partícula y distribución del tamaño, la capacidad de campo y la porosidad de los residuos compactados³⁵.

- **Peso específico:** Se describe como el peso de un material por unidad de volumen. En unidades del Sistema Internacional está dado en [kg/m³] y en unidades del Sistema Ingles en [lb/pie³].

Ecuación 1. Peso específico

$$\gamma = \frac{\text{Peso}}{\text{Volumen}} = \frac{w}{v} = \frac{mg}{v} = \rho g \quad (1)$$

Fuente: Gestión de RSU. Propiedades físicas, químicas y biológicas de los RSU. [Consultado el 4 de octubre]. Disponible en: https://aulagaasociacion.files.wordpress.com/2015/03/4_propiedades_rsu.pdf

Los valores de peso específico son muy utilizados para determinar la masa y el volumen total de los residuos a tratar. Sin embargo, su variabilidad depende de la localización geográfica, clima y tiempo de almacenamiento, por lo que se debe tener cautela al momento de seleccionar los valores típicos³⁶. El rango de variabilidad de peso específico de los RSU varía entre 178 kg/m³ y 415 kg/m³, con un valor típico de 300kg/m³.

- **Contenido de humedad:** Relación entre el peso de agua contenida en la muestra y el peso de la muestra, se necesita de una humedad alta al principio del proceso cuando la actividad es más intensa, se busca inicialmente del 35% al 55%³⁷; la ecuación usada para el método está dada por³⁸:

³⁵ Gestión de RSU. Propiedades físicas, químicas y biológicas de los RSU. [Consultado el 4 de octubre]. Disponible en: https://aulagaasociacion.files.wordpress.com/2015/03/4_propiedades_rsu.pdf

³⁶ *Ibíd.*, p.15

³⁷ NINCO CARDOZO, Cristhian Felipe, SANCHEZ GONZALEZ, Jennifer Johana. Propuesta para la producción de abono orgánico mediante el compostaje de los residuos sólidos del municipio del Rosal-Cundinamarca. Fundación Universidad de América, 2017.

³⁸ *Ibíd.*,

Ecuación 2. Contenido de humedad

$$M = \frac{(w - d)}{w} * 100 \quad (2)$$

Fuente: Gestión de RSU. Propiedades físicas, químicas y biológicas de los RSU. [Consultado el 4 de octubre]. Disponible en:

https://aulagaasociacion.files.wordpress.com/2015/03/4_propiedades_rsu.pdf

Donde:

M: Contenido de humedad en porcentaje.

W: Peso de la muestra recogida (kg).

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

En la Tabla 2, se puede observar los pesos específicos típicos de algunos residuos compactados o no compactados.

Tabla 2. Datos sobre peso específico y contenido de humedad de algunos tipos de residuos.

Tipos de residuos	Peso específico, kg/m ³		porcentaje en peso	
	Rango	Típico	Rango	Típico
Domésticos (no compactados)				
Residuos de comida (mezclados)	131-481	291	50-80	70
Papel	142-131	8	94-10	6
Carbón	42-80	50	4-8	5
Textiles	42-101	65	6-15	10
Cuero	101-261	160	8-12	10
Residuos de jardín	59-225	101	30-80	60
Madera	131-320	237	15-40	20
Residuos de jardín domésticos				
Hojas (sueltas y secas)	30-148	59	20-40	30
Hierba verde (suelta y húmeda)	208-297	237	40-80	60
Hierba verde (húmeda y compactada)	593-831	593	50-90	80
Residuos de jardín (triturados)	267-356	297	20-70	50
Residuos de jardín (compostados)	267-386	326	40-60	50
Comerciales				
Residuos de comida (húmedos)	475-950	540	50-80	70
Cajas de madera	110-160	110	10-30	20
Ramas de árboles	101-181	148	20-80	5
Basura (combustible)	50-181	119	10-30	15
Basura (no combustible)	181-362	300	5-15	10
Industriales				
Restos de cuero	100-250	160	6-15	10
Aserrín	101-350	291	10-40	20
Madera (mezclada)	400-676	498	30-60	2.5
Agrícolas				
Agrícolas (mezclados)	400-751	561	40-80	50
Animales muertos	202-498	359	---	--
Residuos de frutas (mezclados)	249-751	359	60-90	75
Estiércol (húmedo)	899-1,050	1,000	75-96	94
Residuos de vegetales (mezclados)	202-700	359	60-90	75

Fuente: Elaboración propia basada en Marco teórico. Capítulo 1 [Consultado el 5 de Agosto de 2018]. Disponible en:

<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/11086/Capitulo1.pdf>

- Tamaño de partícula y distribución de tamaño: Estas consideraciones son importantes en el proceso de recuperación de material, especialmente en medios mecánicos. El tamaño de un componente puede definirse mediante una de las siguientes medidas³⁹:

³⁹ Gestión de RSU. Propiedades físicas, químicas y biológicas de los RSU. [Consultado el 4 de octubre]. Disponible en: https://aulagaasociacion.files.wordpress.com/2015/03/4_propiedades_rsu.pdf

Ecuación 3. Tamaño de un componente

$$Sc = l$$
$$Sc = (l + w)^{1/2}$$
$$Sc = (l + w + h)^{\frac{1}{3}}$$

Fuente: Gestión de RSU. Propiedades físicas, químicas y biológicas de los RSU. [Consultado el 4 de octubre]. Disponible en: https://aulagaasociacion.files.wordpress.com/2015/03/4_propiedades_rsu.pdf

Donde:

Sc: Tamaño del componente (mm).

L: Largo (mm).

W: Ancho (mm).

H: Altura (mm).

Los tamaños medios de los componentes individuales de los residuos sólidos oscilan entre 178 y 223 mm.

- Capacidad del campo: Hace referencia a la cantidad total de humedad que puede llegar a retener una muestra de residuo bajo la acción de la gravedad. Esta es de gran importancia a la hora de determinar la producción de lixiviados⁴⁰, ya que el exceso de agua sobre la capacidad de campo se transformará en forma de lixiviado. La capacidad del campo de los residuos que no están seleccionados y no están compactados entre los domésticos y comerciales están en un rango del 50 al 60%⁴¹.
- Porosidad de los residuos compactados: Es una propiedad física muy importante, que la mayor parte maneja el movimiento de líquidos y gases dentro de un vertedero. El coeficiente de porosidad se da por medio de la siguiente ecuación⁴²:

Ecuación 4. Coeficiente de porosidad

$$K = Cd^2 \frac{y}{\mu} = k \frac{y}{\mu} \quad (4)$$

Fuente: Gestión de RSU. Propiedades físicas, químicas y biológicas de los RSU. [Consultado el 4 de octubre]. Disponible en: https://aulagaasociacion.files.wordpress.com/2015/03/4_propiedades_rsu.pdf

⁴⁰ Ibíd., p.18

⁴¹ Ibíd.,

⁴² Ibíd.,

Donde:

K: Coeficiente de permeabilidad.

C: Constante sin dimensiones o factor de forma.

d: Tamaño medio de los poros.

γ : Peso específico del agua.

μ : Viscosidad dinámica del agua.

k: Permeabilidad intrínseca.

Basado en los términos de la ecuación anterior, el término Cd^2 depende solamente de las propiedades del material sólido. Los valores típicos de la porosidad de los residuos sólidos compactados en un vertedero se encuentran dentro de los rangos de 10^{-11} y 10^{-12} m².

1.2.2.2 Propiedades químicas de los RSU. Para conocer la composición química de los RSU, es importante evaluar el procesamiento y recuperación, debido a que se puede pensar son una combinación de materiales semihúmedos combustibles y no combustibles⁴³, por esto es importante conocer las siguientes propiedades.

- Punto de fusión de la ceniza: Este punto se define como la temperatura en que la ceniza resultante de los residuos se transforma en sólido por la fusión y la aglomeración.⁴⁴
- Análisis elemental de los componentes de residuos sólidos: El análisis elemental de los residuos sólidos normalmente determina el porcentaje de carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y ceniza. Estos resultados básicamente se utilizan para la caracterización de la composición química del material orgánico en los RSU y también para poder definir la mezcla necesaria para ajustar la relación C/N aptas para la conversión biológica de los residuos (ver Tabla 3).

⁴³ Ibid., p.19

⁴⁴ Ibid., p.20

Tabla 3. Datos sobre el análisis elemental del material presente en los residuos sólidos domésticos, comerciales e industriales.

Tipo de residuos	Análisis próximo, porcentaje en peso				Contenido energético (Kcal/kg)		
	Humedad	Materia volátil	Carbono fijo	No combustible	Como recogidos	Seco	Seco y libre de cenizas
Comidas							
Grasas	2,0	95,3	2,5	0,2	8.964	9.148	9.353
Residuos de comida(mezclados)	70,0	21,4	3,6	5,0	998	3.324	3.989
Residuos de frutas	78,7	16,6	4,0	0,7	948	4.452	4.603
Residuos de carne	38,8	56,4	1,8	3,1	4.235	6.919	7.289
Productos de papel							
Cartón	5,2	77,5	12,3	5,0	3.912	4.127	4.357
Revistas	4,1	66,4	7,0	22,5	2.919	3.043	3.976
Papel de periódico	6,0	81,1	11,5	1,4	4.431	4.713	4.784
Papel (mezclado)	10,2	75,9	8,4	5,4	3.777	4.206	4.476
Cartones encerados	3,4	90,9	4,5	1,2	6.292	6.513	6.596
Plásticos							
Plásticos (mezclados)	0,2	95,8	2,0	2,0	7.834	7.995	8.902
Poliétileno	0,2	98,5	<0,1	1,2	10.382	10.402	10.529
Poliestireno	0,2	98,7	0,7	0,5	9.122	9.140	9.128
Poliuretano	0,2	87,1	8,3	4,4	6.224	6.237	6.524
Policloruro de vinilo	0,2	86,9	10,8	2,1	5.419	5.430	5.547
Textiles, goma, cuero							
Textiles	10,0	66,0	17,5	6,5	4.422	4.913	5.459
Goma	1,2	83,9	4,9	9,9	6.050	6.123	6.806
Cuero	10,0	68,5	12,5	9,0	4.167	4.467	4.990
Madera, árboles, etc.							
Residuos de jardín	60,0	30,0	9,5	0,5	1.445	3.613	3.658
Madera (madera verde)	50,0	42,3	7,3	0,4	1.167	2.333	2.352
Maderas duras	12,0	75,1	12,4	0,5	4.084	4.641	4.668
Madera (mezclada)	20,0	68,1	11,3	0,6	3.689	4.620	4.657
Vidrio, metales, etc.							
Vidrio y mineral	2,0	—	—	96-99+	47	48	33
Metal, latas de hojalata	5,0	—	—	94-99+	167	177	176
Metal férreo	2,0	—	—	96-99+	—	—	—
Metal no férreo	2,0	—	—	94-99+	—	—	—
Misceláneas							
Barreduras de oficina	3,2	20,5	6,3	70,0	2.038	2.106	—
RSU doméstico	210 (15-40)	52,0 (40-60)	7,0 (4-15)	200 (10-30)	2.778	3.472	4.629
RSU comercial	15,0 (10-30)	—	—	—	3.056	3.594	—
RSU	20,0 (10-30)	—	—	—	2.556	3.194	—

Fuente: Gestión de RSU. Propiedades físicas, químicas y biológicas de los RSU. [Consultado el 5 de Agosto de 2018]. Disponible en: https://aulagaasociacion.files.wordpress.com/2015/03/3_composicion_rsu.pdf

- Nutrientes esenciales. Es importante conocer la información acerca de la disponibilidad de nutrientes para microorganismos y poder considerar los usos finales que pueden tener los materiales orgánicos después de su conversión biológica⁴⁵.

⁴⁵ Ibíd., p. 23

Tabla 4. Análisis elemental de los materiales orgánicos utilizados como alimentación en los procesos de conversión biológica.

Sustrato de alimentación (base seca)					
Constituyente	Unidad	Papel de periódico	Papel de oficina	Residuos de jardín	Residuos de comida
NH ₄ -N	ppm	4	61	149	205
NO ₃ -N	ppm	4	218	490	4.278
P	ppm	44	295	3.500	4.900
PO ₄ -P	ppm	20	164	2.210	3.200
K	%	0,35	0,29	2,27	4,18
SO ₄ -S	ppm	159	324	882	855
Ca	%	0,01	0,10	0,42	0,43
Mg	%	0,02	0,04	0,21	0,16
Na	%	0,74	1,05	0,06	0,15
B	ppm	14	28	88	17
Se	ppm	—	—	< 1	< 1
Zn	ppm	22	177	20	21
Mn	ppm	49	15	56	20
Fe	ppm	57	396	451	48
Cu	ppm	12	14	7,7	6,9
Co	ppm	—	—	5,0	3,0
Mo	ppm	—	—	1,0	< 1
Ni	ppm	—	—	9,0	4,5
W	ppm	—	—	4,0	3,3

Fuente: Gestión de RSU. Propiedades físicas, químicas y biológicas de los RSU. [Consultado el 5 de Agosto de 2018]. Disponible en: https://aulagaasociacion.files.wordpress.com/2015/03/3_composicion_rsu.pdf

1.2.2.3 Propiedades biológicas de los RSU. La característica biológica más importante de los RSU es que la mayoría de los componentes orgánicos pueden ser convertidos biológicamente en gases y sólidos orgánicos e inorgánicos. La generación de moscas y la producción de olores están relacionadas con la naturaleza putrefactible de los materiales orgánicos⁴⁶.

- Biodegradabilidad de los componentes de residuos orgánicos. El contenido de sólidos volátiles se ha usado como medida de la biodegradabilidad de la fracción orgánica de los RSU. Respecto a esto, es posible usar el contenido de lignina de los residuos para la determinación de la fracción biodegradable mediante la siguiente ecuación⁴⁷:

⁴⁶ *Ibid.*, p.23

⁴⁷ *Ibid.*, p. 24

Ecuación 5. Contenido de lignina de los residuos

$$BF: 0,83 - 0,028LC \quad (5)$$

Fuente: Gestión de RSU. Propiedades físicas, químicas y biológicas de los RSU. [Consultado el 4 de octubre]. Disponible en: https://aulagaasociacion.files.wordpress.com/2015/03/4_propiedades_rsu.pdf

Donde:

BF: Fracción biodegradable expresada en base a los sólidos volátiles (SV)

0,83: Constante empírica.

0,028: Constante empírica.

LC: Contenido de lignina de los SV expresado como un porcentaje en peso seco.

- Producción de olores. Estos olores pueden producirse debido al largo almacenamiento de los residuos sólidos. Esto se debe a la descomposición anaerobia de los componentes orgánicos fácilmente descomponibles que se encuentran en los RSU⁴⁸.
- Reproducción de moscas. Las moscas suelen reproducirse en menos de dos semanas después de poner sus huevos, esto suele suceder en los climas más cálidos y esto llega a ser una cuestión importante para el almacenamiento in situ de residuos⁴⁹.

1.2.3 Tratamiento de los residuos sólidos urbanos. Se entiende por el acondicionamiento a las operaciones realizadas con el fin de adecuar los residuos sólidos, para su disposición final. Esto quiere decir que es todo procedimiento que realice el aprovechamiento de estos, mediante el reciclaje y/o la reutilización⁵⁰. Los sistemas de tratamiento forman parte del proceso integral del manejo de los residuos sólidos, que permite un buen aprovechamiento de los materiales.

⁴⁸ *Ibíd.*, p. 25

⁴⁹ *Ibíd.*, p. 25

⁵⁰ CEAMSE, Tecnología ecológica. Gestión integral de residuos sólidos urbanos. [Consultado el 10 Octubre 2018]. Disponible en: <http://www.ceamse.gov.ar/gestion-integral-de-residuos-solidos-urbanos/>

1.2.4 Técnicas de aprovechamiento de los residuos urbanos. Tipo de aprovechamiento donde los residuos orgánicos se pueden llegar a convertir en un producto útil en el mismo lugar donde se generan y que adicionalmente se puede llegar a hacer un manejo a pequeña escala. Esta clase de aprovechamiento se puede realizar en los siguientes escenarios⁵¹:

- Casas
- Empresas o instituciones educativas
- Huertos Urbanos
- Proyectos comunitarios

La mejor forma de aprovechar los residuos sólidos es mediante técnicas de transformación química, física y biológica. Dentro de las técnicas más usadas para el aprovechamiento y tratamiento de los residuos se encuentran⁵²:

- Reciclaje: Proceso donde se aprovechan y se transforman los residuos como materia prima para la fabricación de nuevos productos.
- Producción de bio-abono: Este proceso es anaerobio, esto quiere decir que es una acción microbiana en ausencia de oxígeno que descompone la materia orgánica, la cual su producto final es el bio-abono.
- Generación de biogás: Proceso anaerobio que es considerado útil para tratar residuos biodegradables, donde produce un tipo de gas denominado biogás, el cual se puede utilizar para la generación de energía⁵³.
- Compostaje: Proceso que logra transformar de una manera segura los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola. Este sistema está en condiciones aerobias con la descomposición de la materia orgánica, para mejorar la estructura del suelo y proporcionar nutrientes⁵⁴.

⁵¹ UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE SERVICIOS PUBLICOS (UAESP). Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura. [Consultado el 10 de Octubre 2018]. Disponible en: http://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf

⁵² SALAMANCA CASTRO, Eduard Mauricio. Estrategias para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en la plaza de mercado de Fontibón, Bogotá D.C. Manizales, Colombia. 2014. [Consultado el 10 de Octubre] Disponible en: http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1931/Salamanca_Castro_Eduard_Mauricio_2014.pdf?sequence=1

⁵³ BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO. Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos. Marzo 2017. [Consultado el 10 de octubre de 2018] Disponible en: <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/8202/Generacion-de-electricidad-a-partir-de-biogas-capturado-de-residuos-solidos-urbanos-Un-analisis-teorico-practico.PDF?sequence=1>

⁵⁴ ROMÁN Pilar, MARTÍNEZ María, PANTOJA Alberto. Manual de compostaje del agricultor. Chile. 2013. p.16 [Consultado el 10 de octubre del 2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

- Incineración con producción de energía: Sistema de reciclado térmico que logra recuperar la energía de los residuos, que tradicionalmente podrían ser destinados a los rellenos sanitarios⁵⁵.

1.2.5 Impacto ambiental y socioeconómico que generan los residuos sólidos urbanos

El desarrollo económico, la industrialización e implantación de modelos económicos que basan el crecimiento en el aumento sostenido del consumo, generaron unas variantes en la cantidad de RSU producidos por la población, fábricas y demás organizaciones.⁵⁶ Esto se debe a los avances tecnológicos que han dado paso a la incorporación de nuevos materiales de origen sintético y compuestos. Además del surgimiento de otros materiales con gran potencial contaminante como pilas, aceites minerales, lámparas fluorescentes, medicinas caducadas, entre otros, como consecuencia de la problemática ambiental originada de vertederos no controlados.

- Impacto ambiental. Los efectos negativos de los RSU al medio ambiente comúnmente manifestados son: los olores desagradables y tóxicos como los ésteres, sulfuro de hidrógeno, compuestos organosulfurados, alquilbencenos, limoneno e hidrocarburos, los cuales son capaces de ocasionar afectaciones a la salud humana en vías respiratorias, nasales, conjuntivitis, alteraciones y enfermedades cardiovasculares y daños al sistema nervioso, entre otros. Adicionalmente, la presencia de insectos, roedores y gallinazos como consecuencia de la mala disposición de estos. De igual forma, la contaminación de aguas superficiales tanto química como físicamente por problemas en el tratamiento de los lixiviados, provocando de igual forma, inundaciones por obstrucciones de los canales de drenaje y alcantarillados.

Las emisiones de gases de efecto invernadero que afectan la atmósfera, están relacionadas con la digestión bacteriana de la materia orgánica y la inadecuada quema al aire libre de estos residuos. Por otro lado, la disposición de estos residuos en lugares inestables puede provocar desastres ambientales como lo son derrumbes y contaminación a los suelos con microorganismos patógenos, metales pesados, sustancias tóxicas presentes en los lixiviados, producto de la descomposición de estos residuos. De acuerdo a lo anterior, resulta necesaria la implementación de tecnologías, políticas, estrategias y proyectos que proporcionen información para la reducción de estos residuos sólidos urbanos.⁵⁷

- Impacto social. La falta de cultura por parte de la sociedad ha ocasionado un alto incremento en la cantidad de los residuos sólidos urbanos generados,

⁵⁵ Ibid., p. 28

⁵⁶ VALLEJO OCAMPO, Uver. Análisis del impacto social y ambiental de la gestión integral de residuos sólidos en el municipio de Aguadas, Caldas. Universidad de Manizales. Colombia. 2016. [Consultado el 11 de octubre del 2018] Disponible en: <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/2863/1/ANÁLISIS%20DEL%20IMPACTO%20SOCIAL%20Y%20AMBIENTAL%20DE%20LA%20GESTIÓN%20INTEGRAL%20DE%20RESIDUOS%20SÓLIDOS%20EN%20EL%20MUNICIPIO%20DE%20AGUADAS%2c%20CALDAS.pdf>

⁵⁷ Ibid.,

aumentando los riesgos a la salud y al medio ambiente. Sin embargo, de esta problemática han surgido nuevas iniciativas para ver los residuos sólidos urbanos como potencial industrial. Algunos de los problemas que se presentan son la falta de conciencia colectiva y/o conductas sanitarias en la disposición de estos residuos en lugares públicos, áreas verdes, ríos, entre otros, interviniendo de forma negativa, y alterando los ecosistemas. Estas alteraciones traen consigo costos sociales y económicos como lo son la desvalorización de propiedades, disminución del turismo y deterioro de la salud pública.⁵⁸ A partir de estos impactos negativos, concebidos por los malos hábitos sociales, resultan algunos impactos positivos como el aumento en el empleo, la concienciación del impacto ambiental a la flora y fauna, y el desarrollo de técnicas de aprovechamiento y tratamiento los residuos sólidos.

1.2.6 Manejo de los residuos sólidos urbanos. La gestión integral de los residuos sólidos considera actividades asociadas al control durante su generación, separación en la fuente, almacenamiento, recolección, barrido, transporte, aprovechamiento, tratamiento y disposición final, de tal forma que cumpla con los requisitos ambientales, legales y socioeconómicos.⁵⁹

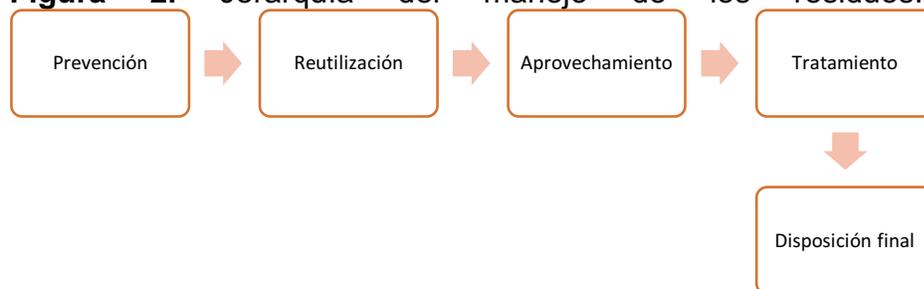
Desde esta perspectiva, la jerarquía en la gestión de los residuos se presenta como una pirámide invertida, donde se establecen medidas preventivas para la generación de residuos. La primera medida consiste en reducir los residuos sólidos por medio de la reutilización, dándole así paso al aprovechamiento de los mismos que en este caso se entiende como el reciclaje, luego de esta medida siguen las acciones de tratamiento de los residuos no aprovechables; (como por ejemplo el compostaje o la digestión anaerobia). La última medida en términos de prioridad es la disposición final de estos, ya sea en rellenos sanitarios o mediante incineración, este ha sido el último recurso que no se ha podido evitar, desviar o recuperar en los pasos anteriores. Debido a esto, se considera necesario y relevante, el desviar residuos que potencialmente irán a los rellenos sanitarios, y el aporte al cambio climático, a través del aprovechamiento de los materiales⁶⁰.

⁵⁸ Ibid.,

⁵⁹ CARE. Internacional-Avina. Gestión integral de residuos sólidos. Ecuador. Enero del 2012. [Consultado el 11 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://www.avina.net/avina/wp-content/uploads/2013/03/MODULO-9-OK.pdf>

⁶⁰ CONSEJO NACIONAL DE POLITICA ECONOMICA Y SOCIAL. Política nacional para la gestión integral de los residuos sólidos. Colombia. 2016. [Consultado el 11 de Octubre del 2018]. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf>

Figura 2. Jerarquía del manejo de los residuos.

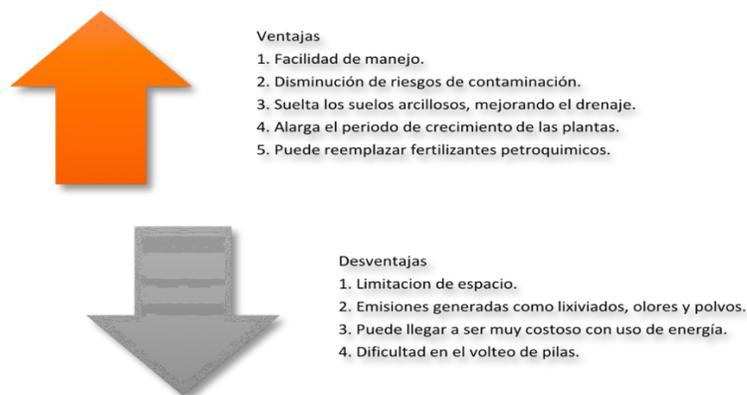


Fuente: Elaboración propia basada en Disponible en: CONPES. Política Nacional para la gestión integral de residuos sólidos. [Consultado el 6 de Agosto de 2018]. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3874.pdf>

1.3 EL COMPOSTAJE

1.3.1 Ventajas y desventajas del proceso de compostaje.

Figura 3. Ventajas y desventajas del proceso de compostaje.

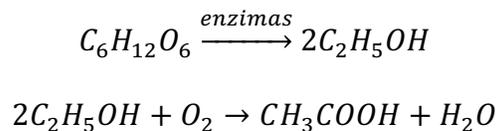


Fuente: Elaboración propia basada en. YEPES Brian, PULGARÍN Laura. Ciencias del suelo. [Consultado el 6 de Agosto de 2018]. Disponible en: <https://elsueloysubiologia.wordpress.com/compostaje/ventajas-y-desventajas/>

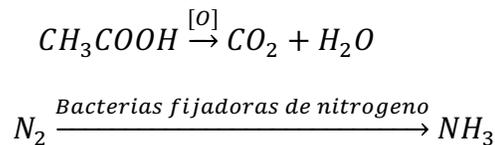
1.3.2 Fases del proceso de compostaje. Durante el proceso de compostaje, se descomponen dos factores importantes C y N y de igual manera, los microorganismos que contienen los residuos orgánicos desprenden calor medible a través de unas variaciones de temperatura, mientras va transcurriendo el

proceso. Según esto, se reconocen las cuatro etapas principales en un compostaje, las cuales se dividen según la temperatura, de la siguiente manera:

1.3.2.1 Fase Mesófila. Este proceso empieza con temperatura ambiente, después de haber pasado algunos días incluso algunas veces horas, la temperatura aumenta hasta los 45°C. Esto ocurre debido a la actividad microbiana que existe entre las fuentes de C y N y su generación de calor. Esta etapa dura alrededor de 8 a 10 días, y su rango de pH puede estar entre 4.0 y 4.5⁶¹.



1.3.2.2 Fase Termófila o de Higienización. En esta etapa, cuando la temperatura supera los 45°C, los microorganismos que se generan en la etapa anterior (microorganismos mesófilos), son reemplazados por aquellos que crecen en temperaturas más elevadas, en la mayoría bacterias (bacterias termófilas), facilitando la degradación de C, como la celulosa y la lignina.



Estas bacterias trabajan en la transformación del nitrógeno en amoníaco, haciendo que el pH del medio se eleve. A partir de los 60°C aproximadamente, aparecen bacterias que producen esporas y actino bacterias, las cuales ayudan a la descomposición de las ceras, hemicelulosas y otros compuestos complejos del carbono. Esta fase alcanza a durar algunos cuantos días o hasta incluso meses⁶², dependiendo del lugar y de las condiciones climáticas donde se ajustó el sistema. Esta fase recibe el nombre también de higienización, ya que por medio del calor generado destruye cualquier tipo de bacterias o contaminantes.

1.3.2.3 Fase de Enfriamiento o Mesófila II. Después de agotadas totalmente las fuentes de carbono y nitrógeno, la temperatura del sistema desciende aproximadamente hasta los 40-45°C y baja la temperatura hasta 40°C, los organismos mesófilos reinician su actividad microbiana y su pH vuelve a descender

⁶¹ ROMÁN Pilar, MARTÍNEZ María, PANTOJA Alberto. Manual de compostaje del agricultor. Chile. 2013 [Consultado el 11 octubre 2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

⁶² *Ibid.*, p. 23

levemente⁶³. La fase de enfriamiento requiere de varias semanas y algunas veces se suele confundir con la fase de maduración.



1.3.2.4 Fase de Maduración. Por último, esta fase tiene una duración de varios meses con una temperatura ambiente, donde se pueden llegar a producir reacciones secundarias de condensación y polimerización de los compuestos del carbono, durante la cual se forman ácidos húmicos y fúlvicos⁶⁴.

1.3.3 Microbiología del proceso de compostaje. En la primera fase del compostaje, aparecen las bacterias y hongos mesófilos. Al elevarse la temperatura a 40°C, aparecen las bacterias y los hongos termófilos y las primeras bacterias filamentosas.

Las bacterias, los actinomicetos y los hongos son los que consumen los residuos, y se conocen como compostadores. Estos microorganismos son ayudados por organismos mayores (gusanos, ácaros, escarabajos, larvas y moscas), que también consumen residuos directamente. Las bacterias se encuentran distribuidas por toda la pila, mientras que los hongos y los actinomicetos se encuentran aproximadamente de 5-15 cm de la superficie⁶⁵.

1.3.4 Parámetros de control durante el proceso de compostaje. Debido a que el proceso de compostaje depende de muchos microorganismos, para que pueda ser eficiente, se debe tener cuenta los parámetros que puedan afectar su crecimiento o reproducción, dentro de los cuales se encuentran los siguientes:

1.3.4.1 Oxígeno. Debido a que el proceso de compostaje es un sistema aerobio, se debe mantener una aireación para permitir la respiración de los microorganismos, donde se libera dióxido de carbono (CO₂) a la atmosfera. Este tipo de parámetro evita que el material supere el rango de humedad y se pueda encharcar. Un exceso de aireación puede conllevar a un descenso de temperatura y a una mayor pérdida de la humedad por evaporación⁶⁶. Esto genera que el proceso se detenga por la falta de agua y que pueda llegar a tener producción de malos olores. Respecto al

⁶³ *Ibíd.*, p. 24

⁶⁴ ROMÁN Pilar, MARTÍNEZ María, PANTOJA Alberto. Manual de compostaje del agricultor. Chile. 2013. p.24. [Consultado el 11 octubre 2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

⁶⁵ Microorganismos implicados en el proceso de elaboración de compost. P. 5. [Consultado el 11 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://www.ugr.es/~cjl/compost.pdf>

⁶⁶ *Ibíd.*, p. 26

exceso de aireación se puede llegar a provocar un enfriamiento del material y una alta desecación debido a la reducción de la actividad metabólica de los microorganismos⁶⁷. Por último, es importante resaltar que en la etapa de maduración no se debe realizar aportaciones de adiciones de oxígeno ya que, si obtiene una excesiva aireación, puede llegar a formar compuestos húmicos y a generar una rápida mineralización de estos⁶⁸.

1.3.4.2 Densidad. Este parámetro está amarrado al tamaño de partícula, ya que entre más pequeño el tamaño, la densidad tiende a aumentarse durante el proceso. Al inicio del proceso tiene una densidad aproximadamente de 150-250 kg/m³ y conforme el proceso avanza llega a una densidad de 600-700 kg/m³.⁶⁹

1.3.4.3 Humedad. Este factor influye en el desarrollo y crecimiento bacteriano, ya que los microorganismos necesitan agua para poder cumplir sus necesidades fisiológicas y no pueden sobrevivir con la ausencia de estas. Si se habla de datos exactos, se puede decir que cuando la humedad alcanza un 40%, significa que la actividad microbiana está disminuyendo, en cambio cuando se encuentra en un 20%, la actividad microbiana cesa totalmente y finalmente cuando se encuentra en un 60% la actividad microbiana se empieza a detener debido a que los poros comienzan a llenarse de agua y el oxígeno puede llegar a ser limitante, ocasionando malos olores, descenso de temperatura y lavado de nutrientes.⁷⁰

Debido al aumento de temperatura en el proceso de compostaje, surgen pérdidas de agua para lo cual se debe hacer un control de humedad y lograr mantener un rango de humedad entre el 50% y el 60%.⁷¹

1.3.4.4 Temperatura. La importancia del control de este parámetro permite que los microorganismos metabolicen los diferentes componentes de las materias primas. Este proceso comienza a temperatura ambiente y puede llegar alcanzar una temperatura de 65°C en la fase termófila, para luego llegar a la fase de maduración a una temperatura ambiente. Alrededor de los primeros 6 a 7 días del proceso, llega a una temperatura aproximadamente de 45°C, ya que el metabolismo de los

⁶⁷ BUENO Pedro, DÍAZ Manuel Jesús y CABRERA Francisco. Factores que afectan el proceso de compostaje. [Consultado el 11 de octubre de 2018] Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>

⁶⁸ *Ibíd.*, p. 4

⁶⁹ ROMÁN Pilar, MARTÍNEZ María, PANTOJA Alberto. Manual de compostaje del agricultor. Chile. 2013. p.30 [Consultado el 11 octubre 2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

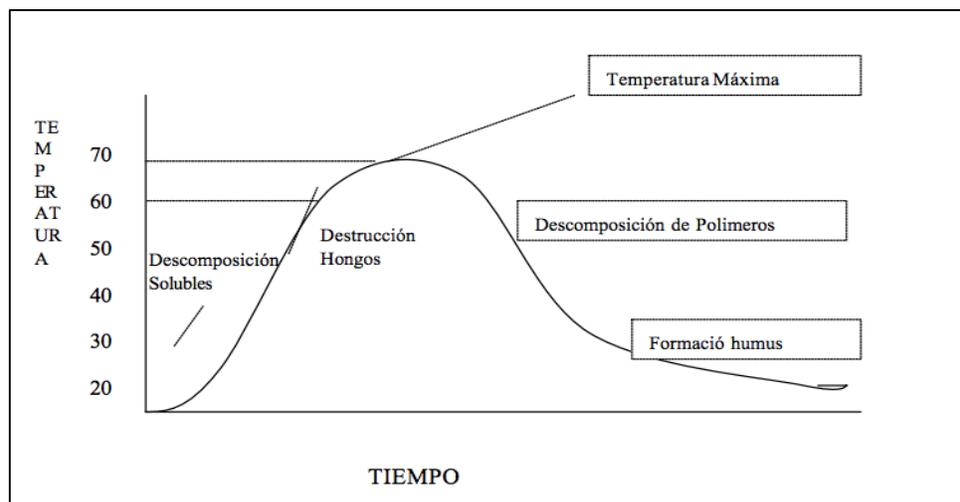
⁷⁰ SILVA Juan Pablo, LÓPEZ Piedad, VALENCIA Pady. Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje. Cali, Colombia. P. 9 [Consultado el 11 de octubre 2018] Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/compostaje.pdf>

⁷¹ DÍAZ BOHÓRQUEZ Luisa Fernanda, GALLEGO ESCOBAR Laura Alejandra. Propuesta para el manejo y disposición de los residuos sólidos generados en el municipio de Muzo, Boyacá. Universidad de América. 2016. Colombia.

microorganismos es exotérmico, por lo tanto, en el proceso de descomposición hay liberación de calor que origina un aumento de temperatura. La mayoría de los microorganismos se empiezan a desarrollar alrededor de los 35-50°C, garantizando la eliminación de semillas de malezas y la eliminación de patógenos que puedan estar presentes en el material a compostar.

En la Gráfica 1, se muestra la curva normal de las elevaciones de las temperaturas respecto a cada fase en la que se encuentra el proceso y el tipo de microorganismos que se encuentran en ellas.

Gráfica 1. Comportamiento de la temperatura en el compostaje aerobio.



Fuente: VALENCIA Pady, LÓPEZ Piedad. Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje. [Consultado el 7 de Agosto de 2018]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/compostaje.pdf>

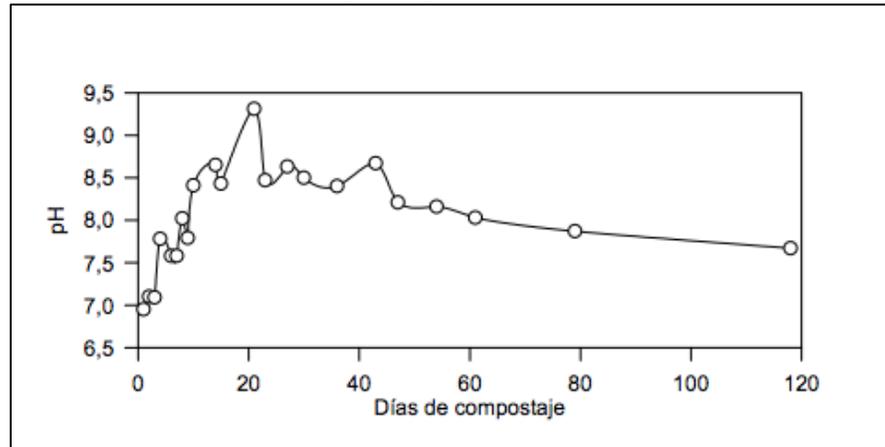
1.3.4.5 pH. El pH tiene una importancia directa en el proceso, esto es debido a su acción sobre la dinámica de los procesos microbianos⁷². Por medio de la medición del pH, se puede llegar a obtener una medida indirecta del control del oxígeno del sistema, ya que, si en algún momento se crean condiciones anaerobias, se liberan ácidos orgánicos que provocan el descenso del pH.

La evolución del pH se puede definir en tres fases: En la fase mesófila inicial, el pH disminuye debido a la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica. En

⁷² BUENO Pedro, DÍAZ Manuel Jesús y CABRERA Francisco. Factores que afectan el proceso de compostaje. P. 3. [Consultado el 11 de octubre de 2018] Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>

la segunda fase, se produce una alcalinización en el sistema por la pérdida de los ácidos orgánicos y la descomposición de las proteínas. Finalmente, en la tercera fase, el pH tiende a ser neutral debido a la formación de compuestos húmicos⁷³.

Gráfica 2. Comportamiento del pH según las fases del compostaje



Fuente: BUENO Pedro, DÍAZ Manuel Jesús y CABRERA Francisco. Factores que afectan el proceso de compostaje. P. 3. [Consultado el 11 de octubre de 2018] Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>

1.3.4.6 Relación Carbono/Nitrógeno. Para realizar un correcto proceso de compostaje, la relación de C/N del material de partida debe ser la adecuada. Los microorganismos utilizan normalmente 30 partes de carbono por cada una de nitrógeno. Debido a esto, se considera que el rango óptimo para una producción eficaz de un proceso de compostaje tradicional es de 25:1-35:1⁷⁴.

Los microorganismos utilizan el carbono para la energía y crecimiento y el nitrógeno para la formación de células y la síntesis de proteínas. El exceso de carbono puede limitar la síntesis de material por parte de los microorganismos disminuyendo su crecimiento y, debido a esto, retarda el procedimiento de estabilización de la materia orgánica. Si la materia orgánica tiene exceso de nitrógeno, puede llegar a presentar solubilidad y pérdida del compuesto en forma de amoníaco gaseoso y generar malos olores.

⁷³ Ibíd.,

⁷⁴ Ibíd., p. 5.

Esta relación C/N es considerada un indicador del grado de avance del proceso, ya que al inicio del proceso se debe tener una relación aproximada de 30:1 y al final, cuando se obtiene un compost maduro, debe ser de 10:1 aproximadamente⁷⁵.

1.3.4.7 Tamaño de partícula. De este parámetro depende la actividad microbiana de los microorganismos, debido a la facilidad de acceso al sustrato. El tamaño ideal del material debe estar en un rango de 1-5 cm⁷⁶, y con respecto a los residuos sólidos, deben estar triturados o desmenuzados para que logren llegar al tamaño ideal.

Es importante mantener el tamaño ideal, debido a que los tamaños de partículas grandes promueven espacios abundantes donde se dan pérdidas significativas de humedad y se presenta menor transferencia de oxígeno llegando a disminuir la actividad microbiana. Por otra parte, un tamaño de partícula muy pequeño genera compactación e impide una adecuada ventilación⁷⁷.

1.3.4.8 Materia orgánica. Se considera el factor más importante para determinar su calidad agronómica. Durante el proceso, esta materia orgánica empieza a descender ya que, debido a su mineralización, existe una pérdida de carbono en forma de anhídrido carbónico. Estas pérdidas representan aproximadamente el 20% de la masa compostada.

La descomposición de materia orgánica ocurre en dos etapas básicamente: en la primera ocurre un rápido decrecimiento de los carbohidratos donde transforma las cadenas carbonadas largas en unas más cortas. Adicionalmente algunos se agrupan para poder formar moléculas complejas dando lugar a los compuestos húmicos⁷⁸. En la segunda etapa, otros compuestos más simples como la lignina se van descomponiendo lentamente y transformándose en compuestos húmicos. La velocidad de la transformación de la materia depende de los microorganismos que intervienen y de los principales parámetros de control que intervienen en el proceso (humedad, temperatura, pH y oxígeno)⁷⁹.

⁷⁵ SILVA Juan Pablo, LÓPEZ Piedad, VALENCIA Pady. Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje. Cali, Colombia. P. 9 [Consultado el 11 de octubre 2018] Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/compostaje.pdf>

⁷⁶ Ibíd., p. 8

⁷⁷ Ibíd.,

⁷⁸ BUENO Pedro, DÍAZ Manuel Jesús y CABRERA Francisco. Factores que afectan el proceso de compostaje.

P. 7. [Consultado el 11 de octubre de 2018] Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>

⁷⁹ Ibíd.,

1.3.4.9 Nitrógeno total. El nitrógeno es el elemento más indicado para la calidad del abono orgánico, ya que puede presentar altas posibilidades de ocasionar un daño ambiental por las pérdidas de amoníaco (NH_3^+)⁸⁰. Aproximadamente el 95% del nitrógeno total que habita en el suelo, se encuentra en forma orgánica pero no llega a ser suficiente para las plantas, aunque los microorganismos al descomponerse forman nitrógeno mineral. Este proceso es denominado mineralización y en este se distinguen dos etapas⁸¹: la primera es la amonificación que debe ser relacionada por organismos quimiotróficos, ya que estos requieren de un tiempo específico de descomposición para que el ciclo se realice completamente, y la segunda etapa es la nitrificación la cual se realiza con bacterias muy sensibles a los agentes externos. Estas etapas se pueden llegar a ver afectadas por la humedad, la temperatura y los factores químicos donde se encuentra el pH y la presencia de compuestos inorgánicos.

1.3.4.10 Carbono total. Este comportamiento es común en todos los compostajes, ya que está ligado con el material inicial usado, por ende, se puede decir que cuando este parámetro logra estabilizarse se dice que el compost está muy cercano a la madurez. Así cuanto mayor sea este carbono mayor será la actividad biológica de las muestras, esto ocurre cuando alcanza una temperatura determinada, casi siempre en la fase termófila⁸².

1.3.4.11 Nutrientes. Los nutrientes que contiene el compost provienen del aire, del agua y del suelo. Los nutrientes del suelo se dividen en macro y micronutrientes. Los macronutrientes principales son:

- Nitrógeno: Este componente es el factor de crecimiento de la planta debido a que está ligado a todos los procesos principales del desarrollo de las plantas.
- Fósforo: Este componente ocupa un papel importante en la transferencia de energía, debido a que es esencial en la eficiencia de la fotosíntesis.
- Potasio: Es importante en la síntesis de carbohidratos y proteínas, ya que el potasio mejora el régimen hídrico de la planta⁸³.

1.3.5 Higienización o inocuidad. La fase de higienización se da durante la elevación de la temperatura en la fase termófila, ya que se destruyen las bacterias

⁸⁰ FIGUEROA BARRERA Aydee, ÁLVAREZ HERRERA Javier, FORERO Andrés, SALAMANCA César, PINZÓN Lida. Determinación del nitrógeno potencialmente mineralizable y la tasa de mineralización de nitrógeno en materiales orgánicos. 2012. Colombia

⁸¹ *Ibíd.*, p. 34

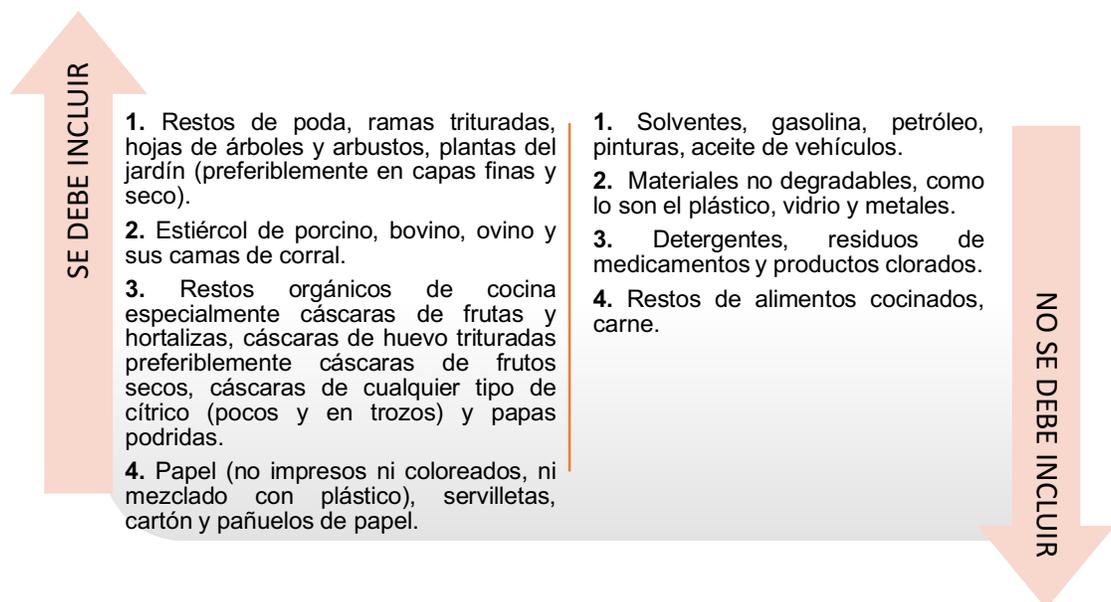
⁸² COMPOSTANDO CIENCIA LAB. Carbono orgánico soluble como índice de calidad de un compost. Julio 2013. [Consultado el 12 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://www.compostandociencia.com/2013/07/carbono-organico-hidrosoluble-html/>

⁸³ *Ibíd.*, p. 35

patógenas presentes en los residuos iniciales. Un compost maduro no debe contener compuestos contaminantes para las plantas o el ambiente. Uno de los inconvenientes del uso del compost, es la presencia de bacterias patógenas que pueden llegar a los consumidores a través del consumo de frutas y vegetales contaminados. Debido a esto, es importante verificar que el compost que se va a usar no contenga ningún tipo de bacteria o indicadores de contaminación fecal⁸⁴.

1.3.6 Material compostable. Aunque la mayoría de material orgánico es compostable, es importante tener en cuenta cuales son los más eficientes y más usados⁸⁵; además de los materiales inertes que no se deben incluir, como se muestra en la Figura 4.

Figura 4. Material orgánico que se debe incluir o no en el compostaje.



Fuente: Elaboración propia basada en: ROMÁN Pilar, MARTÍNEZ María, PANTOJA Alberto. Manual de compostaje del agricultor. Chile. 2013. p.33-34 [Consultado el 11 octubre 2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

1.3.7 Fertilización. Una de las ventajas que contiene el compost es que contiene elementos fertilizantes para las plantas, es necesario realizar un análisis de suelo para controlar los niveles de nutrientes y ajustar la fertilización en función de las

⁸⁴ *Ibíd.*, p. 33

⁸⁵ ROMÁN Pilar, MARTÍNEZ María, PANTOJA Alberto. Manual de compostaje del agricultor. Chile. 2013. p.33-34 [Consultado el 11 octubre 2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

necesidades del cultivo, antes de hacer alguna aplicación tanto de compost y materia orgánica.

Una de las ventajas del compost es que en él se encuentra presentes nutrientes tanto disponibles como de lenta liberación, que son útiles para la nutrición de las plantas⁸⁶.

1.3.8 Propiedades de los abonos orgánicos. El abono orgánico producido contiene un tipo de propiedades, que determinan la efectividad sobre el suelo como lo son⁸⁷:

- Propiedades físicas:

- a) El abono orgánico mejora la permeabilidad del suelo, ya que influyen en la aireación y drenaje.
- b) Por su color oscuro, absorbe las radiaciones solares y se facilita la absorción de nutrientes.
- c) Disminuyen la erosión del suelo, tanto de agua como de viento.
- d) Retiene durante bastante tiempo, el agua en el suelo durante climas cálidos⁸⁸.

- Propiedades químicas:

- a) El abono orgánico reduce las oscilaciones del pH, debido al aumento tampón del suelo⁸⁹.
- b) Aumentan la capacidad de intercambio catiónico del suelo.

- Propiedades biológicas:

- a) Favorece la aireación y oxigenación del suelo, debido a que hay una mayor actividad por medio de los microorganismos aerobios.
- b) Es una fuente de energía para los microorganismos, por ende, se desarrollan rápidamente⁹⁰.

1.3.9 Aplicación del compost. Una de las ventajas del compost, es que se puede dar uso si está en la etapa de semi-maduración (Enfriamiento o Mesófila II). Este tipo de compost tiene una elevada actividad biológica y el porcentaje de nutrientes

⁸⁶ Ibid., p. 34

⁸⁷ INFOAGRO. Propiedades de los abonos orgánicos. [Consultado el 12 de octubre del 2018]. Disponible en: http://www.infoagro.com/abonos/abonos_organicos.htm

⁸⁸ Ibid.,

⁸⁹ Ibid.,

⁹⁰ Ibid.,

suele ser mayor que en el del compost maduro. Por otro lado, este tipo de compost tiene un pH no estable, esto quiere decir que tiende a la acidez y esto puede afectar negativamente la germinación. Por esta razón, no es recomendable usarlo para la germinación de semillas o el uso en plantas muy delicadas⁹¹.

El compost completamente maduro se usa respectivamente para cultivos, suelos y cuerpos de agua, no es recomendable aplicarlo en épocas de lluvia y es importante evitarla sobre fertilización del suelo al momento de aplicar el compost. Por esta razón, debe hacerse en suelos con un contenido de humedad adecuado, que permitan la incorporación posterior del material⁹².

Por último, cabe resaltar que el uso excesivo de compost puede llegar a impactar negativamente al medio ambiente. Por lo cual, es importante que en cada dosis a adicionar se consideren los impactos negativos. En la Tabla 5 se muestran algunos valores de las dosis más comunes para aplicar humus de lombriz como fertilizante de suelo.

Tabla 5. Dosis de aplicación de humus de lombriz.

Tipo de Planta	Cantidad
Praderas	800 gr/m ²
Frutales	2 Kg/árbol
Hortalizas	1 Kg/m ²
Césped	0.5-1 Kg/m ²
Ornamentales	150 gr/planta
Semilleros	20% del sustrato
Abonado de fondo	8-10 Kg/m ²
Transplante	0.5-2 Kg/árbol
Recuperación de terrenos	4000 Kg/ha
Setos	100-200 gr/planta
Rosales y leñosas	0.5-1 Kg/m ²

Fuente: Elaboración propia basada en: ARBITAE. Humus de lombriz sólido. [Consultado el 12 de Octubre del 2018]. Disponible en: <http://arbitae.com/tiendaagro/hidroxido-de-calcio.html>

⁹¹ Ibíd., p. 42

⁹² SERVICIO AGRICOLA Y GANADERO REGION DE ATACAMA. Pauta técnica para la aplicación de compost. 2017. [Consultado el 12 de octubre 2018]. Disponible en: http://www.sag.cl/sites/default/files/pauta-tecnica-aplicacion-de-compost-conc.1-2-3_region_atacama.pdf

1.3.10 Beneficios del compost.

- Mejora las propiedades físicas del suelo: La materia orgánica favorece la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola, reduce la densidad aparente, suelos más calientes en primavera, aumenta la porosidad y permeabilidad, aumenta la capacidad de retención de agua del suelo y facilita el laboreo, confiriendo mayor esponjosidad al terreno.
- Mejora las propiedades químicas del suelo: Aumenta la capacidad de intercambio catiónico (CIC), aporta nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S) y oligoelementos (Fe, Mn, B, Cu, Zn, Mo, Cl), regulador del pH del suelo.
- Mejora la actividad biológica del suelo: Actúa como soporte y alimento de los microorganismos que viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización, favorece la respiración radicular.⁹³

⁹³MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL. Compost. [Consultado el 12 de octubre del 2018] Disponible en: <http://cml-medioambiente.com/pdf/compost2011.pdf>

2. DIAGNÓSTICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS DE PUERTO GAITÁN

Este capítulo presenta información general del municipio de Puerto Gaitán, la caracterización de sus residuos sólidos, así como su capacidad de generación y su aprovechamiento, todo esto con el fin de efectuar la identificación del problema y caracterizarla, proponiendo mejoras para el desarrollo experimental del proceso.

2.1 GENERALIDADES DE PUERTO GAITÁN

2.1.1 Localización. Puerto Gaitán es un municipio del departamento Meta, ubicado en la región de la Orinoquía, aproximadamente a 110 kilómetros al oriente del centro geográfico de Colombia, con una altitud de 149 metros. Este municipio se caracteriza por poseer la mayor área del departamento con 17.499 m², además de ser el mayor productor agrícola y ganadero.

Según el DANE, el número total de habitantes es de 22.199, de los cuáles tan solo 5.930 son considerados población urbana, 16.269 son considerados población rural y 9.593 hacen parte de la población de grupos indígenas, de las etnias Sicuani, Achagua, Piapoco, Saliva, entre otras.⁹⁴

Sus limitaciones son: al Norte con el departamento del Casanare y el Río Meta de por medio, al Sur con el Municipio de Mapiripan y el Río Iteviare de por medio, al Oriente con el departamento del Vichada, al Occidente con el Municipio de Puerto López y San Martín, y el Río Yucao de por medio. También, se encuentra a una distancia de 194 kilómetros de Villavicencio, la capital del departamento y a 281 kilómetros de Bogotá, la Capital de la República.⁹⁵

⁹⁴JARAMILLO SILVA, Carlos Andrés. Centro educativo tecnológico y de investigación. Bogotá .2010. p.18

⁹⁵COFESCO. Plan de gestión integral de residuos sólidos. Puerto Gaitán Meta. 2015. P.23.

Imagen 1. Geografía del Meta.



Fuente: ESCUELA NACIONAL DE GEOGRAFÍA. Contenido geográfico. [Consultado el 13 de Octubre del 2018].

Disponible en: <https://sogeocol.edu.co/meta.htm>

2.1.2 Climatología. Según el sistema de zonas de Holdridge, la zona de Puerto Gaitán se encuentra dentro del bosque húmedo tropical (bh-t). La temperatura atmosférica promedio anual de esta región está sobre los 28° Centígrados, con una precipitación pluviométrica total anual de 2000mm. Sin embargo, su tipo de clima es variable, y resulta afectado por vientos locales que se manifiestan mediante corrientes de aire ascendentes que resultan de fuertes calentamientos en épocas de sequía. El clima durante los meses del primer trimestre y último bimestre se caracteriza por ser muy cálido y seco, y el resto del año por ser húmedo y con mayor grado de lluvias; siendo el promedio de humedad relativa anual del 79%. En las épocas de verano, se presenta una alta evaporización que influye en el desecamiento del follaje de la vegetación y una escasa precipitación que ocasiona disminución en el caudal de los ríos Quebradas y Caños.⁹⁶

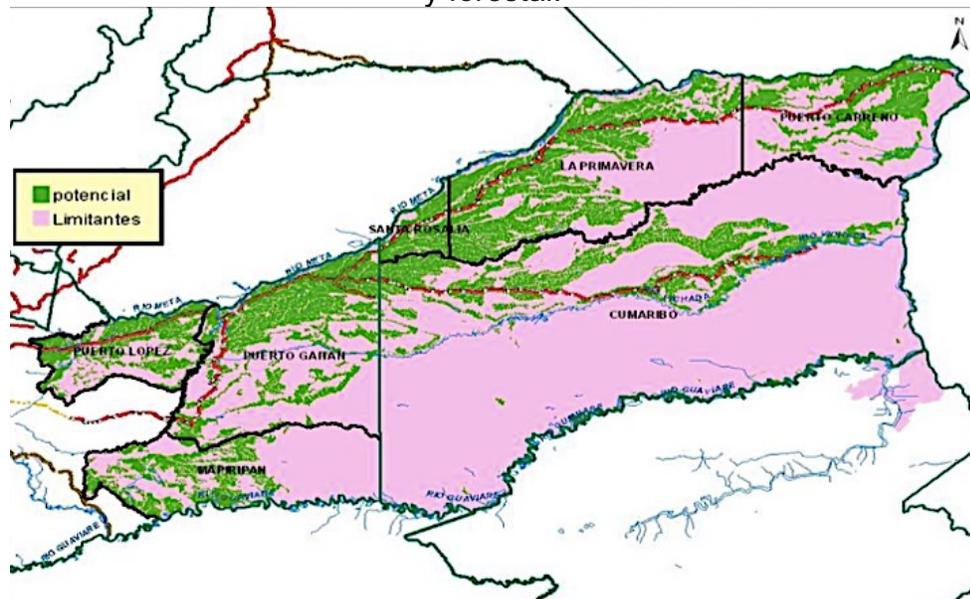
2.1.3 Geología. El relieve del municipio de Puerto Gaitán se compone en un 90% de estructuras planas y en 10% de ligeras serranías. Los suelos en su mayoría son de textura mediana, en menor frecuencia de textura fina y en algunos conjuntos de la planicie aluvial como Guayuriva y Delicias, de textura arcillosa y arenosa respectivamente. Con respecto a la porosidad, el mayor porcentaje de los suelos presenta una alta cantidad, siendo principalmente los suelos arcillosos. Sin

⁹⁶ *Ibíd.*,

embargo, el contenido de arcilla, en algunos suelos, es el principal factor que afecta la relación de humedad en los mismos, seguido de los materiales amorfos, materiales orgánicos y algunos minerales del suelo.⁹⁷

Por otro lado, los suelos del territorio se caracterizan por poseer una elevada acidez (pH 3.8 – 5.0), por la presencia de alto contenido de aluminio (frecuentemente mayor del 80%), baja capacidad de intercambio catiónico y pobre fertilidad, por el bajo contenido de materia orgánica que resulta en escasa disponibilidad de nutrientes para las plantas (P, N, Ca, Mg y K). De acuerdo con esto, la producción de cultivos en esta región presenta limitaciones originadas principalmente por la pobreza de los suelos y la saturación del contenido de Aluminio.⁹⁸

Imagen 2. Área potencial de aprovechamiento agrícola, pecuario y forestal.



Fuente: GRUPO LOS GROBO. Los grobo en los medios. [Consultado el 13 de Octubre del 2018]. Disponible en: <http://www.grupolosgrobo.com/ideas-para-transformar/medios/en-10-anos-la-altillanura-tendria-3-millones-de-hectareas-de-nuevos-cultivos>

⁹⁷ Ibíd.,

⁹⁸ RIVAS Leonardo, HOYOS Phanor, AMÉZQUITA Edgar, MOLINA Diego. Manejo y uso de los suelos de la Altillanura Colombiana. Cali, Colombia. 2004. [Consultado el 10 de septiembre del 2018] Disponible en: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/degradacion_capa_arable.pdf

2.1.4 Los residuos sólidos. Actualmente, en el municipio de Puerto Gaitán se producen 16 Ton de residuos sólidos diariamente⁹⁹. La disposición de los residuos se realiza en el relleno sanitario Bioagrícola ubicado en la ciudad de Villavicencio, para lo cual se transportan hasta este destino a 193,6 km de distancia; esto debido a que el municipio no cuenta con una planta de tratamiento de residuos. Por otro lado, se estima que la producción per cápita de residuos sólidos es de 1,50 kg por habitante al día¹⁰⁰, siendo un valor elevado de acuerdo con los valores obtenidos a nivel nacional.

2.1.4.1 Caracterización física de los residuos sólidos. Según el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del municipio de Puerto Gaitán, el desarrollo de la caracterización física de estos residuos se realizó mediante el método de cuarteo, teniendo en cuenta los diferentes sectores. Para eso, se seleccionaron distintas rutas para los sectores del municipio, el sector comercial, el sector residencial de estrato bajo y el sector residencial de estrato medio.

A continuación, se presenta de forma concisa los resultados obtenidos de la composición física de los residuos sólidos totales en el municipio.¹⁰¹

Tabla 6. Composición física de los residuos sólidos del municipio de Puerto Gaitán

Residuo	Comercial		Plan De Vivienda		Manacacías-La Nacional		Total	
	Kg	%	Kg	%	Kg	%	Kg	%
Papel	4	4	10	5	2	2	16	4
Cartón	8	8	18	9	6	5	32	8
Plástico	24	24	15	7	25	21	64	15
Textiles	1	1	8	4	5	4	14	3
Madera	1	1	1	0,5	0	0	2	0,5
Vidrio	1	1	5	2	0	0	6	1
Lotas de Hojalata	1	1	1	0,5	1	1	3	1
Metales	1	1	0	0	0	0	1	0,2
Barrido	8	8	23	11	4	3	35	8
Residuos de jardinería	0	0	28	14	25	21	53	13
Productos cerámicos, ceniza, roca y escombros	0	0	6	3	0	0	6	1
Residuos Orgánicos	46	45	79	39	42	35	167	39
Residuos higiénico-sanitario	4	4	8	4	7	6	19	4
Icopor	2	2	1	0,5	2	2	5	1
Caucho	1	1	0	0	0	0	1	0,2
Total	102	100%	203	100%	119	100%	424	100%

Fuente: Elaboración propia basada en: COFESCO. Plan de gestión integral de residuos sólidos. Puerto Gaitán Meta. 2015. Tomo 1. Página 47

⁹⁹LINEA BASE 2008. Municipio de Puerto Gaitán. [Consultado el 10 de septiembre del 2018] Disponible en:

<http://observatorio.unillanos.edu.co/observatorio/archivos/LineaBase/Linea%20Base%20-%20Puerto%20Gaitan.pdf>

¹⁰⁰ COFESCO. Plan de gestión integral de residuos sólidos. Puerto Gaitán Meta. 2015.

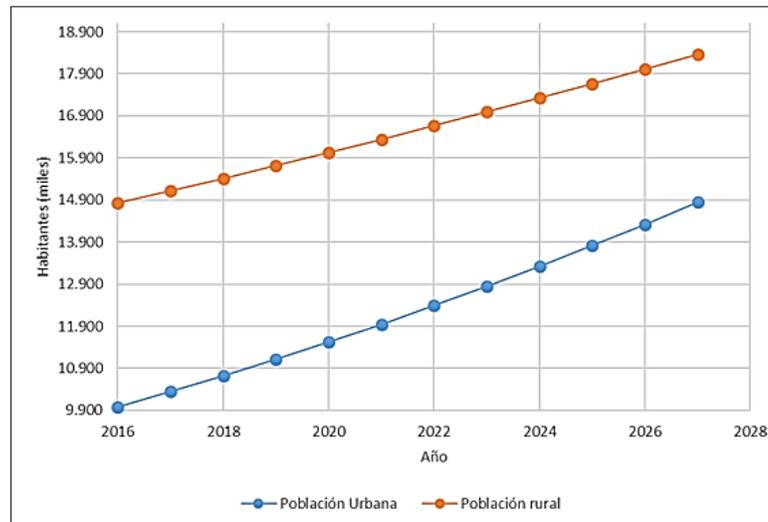
¹⁰¹Ibíd., p. 43

2.2 CAPACIDAD DE GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

La generación de residuos sólidos se encuentra relacionada con el crecimiento poblacional, la producción per cápita de kilogramos de residuos por habitante al día y la composición física de los residuos del municipio.

Para el municipio de Puerto Gaitán, las proyecciones poblacionales del casco urbano describen un crecimiento de 1,037% por año, realizadas desde el año 2016 hasta el 2027. De igual forma se realizó para la zona rural, donde se observó un crecimiento de 1,020%¹⁰². A continuación, se presenta el gráfico que contempla dichas proyecciones poblacionales.

Gráfica 3. Proyección de crecimiento de la población en Puerto Gaitán.

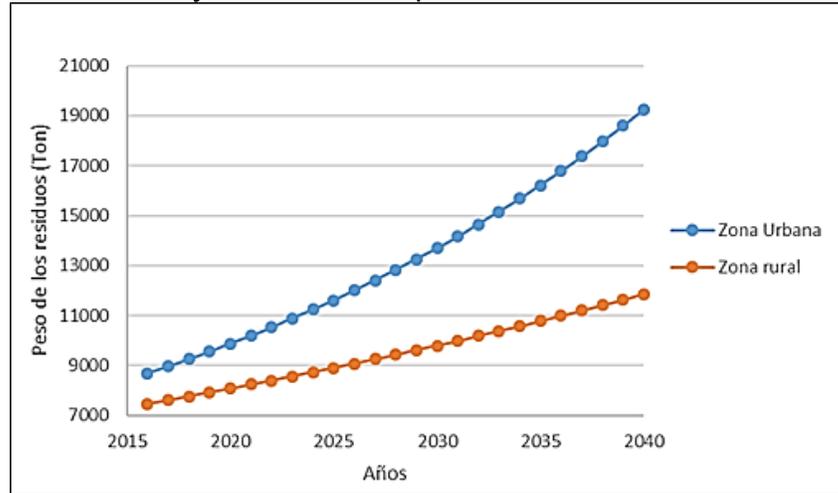


Fuente: Elaboración propia basada en: COFESCO. Plan de gestión integral de residuos sólidos. Puerto Gaitán Meta. 2015. Tomo 1.

A partir de la información brindada, se obtiene la proyección del total de residuos sólidos generados en el área urbana y rural a un horizonte de diseño de 25 años, tal como se muestra en la Gráfica 4.

¹⁰²Ibíd.,p.104

Gráfica 4. Proyección de generación de residuos para el área urbana y rural el municipio de Puerto Gaitán.



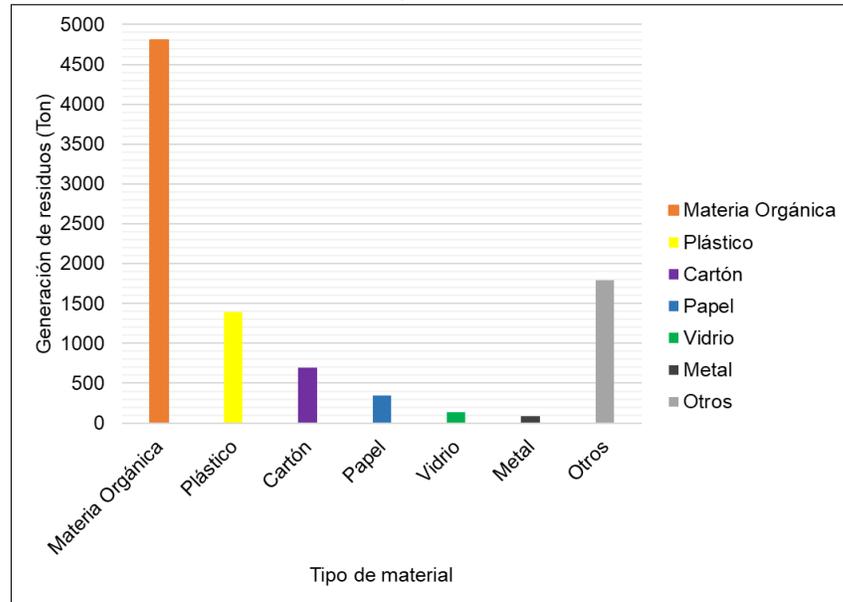
Fuente: Elaboración propia basada en: COFESCO. Plan de gestión integral de residuos sólidos. Puerto Gaitán Meta. 2015. Tomo 1.

De acuerdo con el anexo A y B, se estima que, para el presente año el municipio de Puerto Gaitán genera 17.027,3 Ton/año de residuo sólido total (urbano y rural), y su proyección al año 2040 podría llegar a los 31.120,1Ton/año, con una acumulación de 56.8785,2 Toneladas de residuo sólido total en 25 años. Para esto, resulta indispensable la reducción de esta generación de residuos mediante su aprovechamiento y/o tratamientos disponibles, y demás actividades de concientización a la población del municipio.

Con respecto a la Gráfica 4, se observa una mayor tendencia de generación de residuos sólidos para la zona urbana que para la rural. Ésta última, aunque refleja un crecimiento en la generación de residuos, lo hace a una menor tasa hasta el año 2040.

Teniendo en cuenta la composición física de los residuos sólidos urbanos del municipio, su generación por tipo de material para el presente año se muestra a continuación.

Gráfica 5. Generación de residuos en Puerto Gaitán por material para el 2018.



Fuente: Elaboración propia basada en: COFESCO. Plan de gestión integral de residuos sólidos. Puerto Gaitán Meta. 2015. Tomo 1.

La Gráfica 5 muestra que la mayor cantidad de generación de residuos, por tipo de material, es orgánica. Para el presente año se estimó un valor de 4.803,3 Toneladas de residuo orgánico en la zona urbana y de 3.357,4 Toneladas de residuo orgánico en la zona rural. Esto evidencia la inmensa oportunidad que tiene el municipio de aprovechar este tipo de residuo, obtener un producto de interés y aumentar la vida útil de su relleno sanitario “El Alcaraván”.

2.3 APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

La empresa encargada de la operación de los servicios públicos de aseo en el municipio de Puerto Gaitán es “PERLA DEL MANACACÍAS E.S.P.”. Algunos de sus servicios con relación al manejo de los residuos ordinarios son, el transporte y recolección, la disposición final, el barrido y limpieza. No obstante, esta operadora no ejerce la labor de aprovechamiento y/o tratamiento de los residuos.

Actualmente, la cantidad de residuos sólidos urbanos recuperados es de 28,33 toneladas al mes, de los cuales sólo 0,03 toneladas/mes son de carácter orgánico.¹⁰³ Esto indica que el municipio no cuenta con un buen aprovechamiento

¹⁰³ COFESCO. Plan de gestión integral de residuos sólidos. Puerto Gaitán Meta. 2015.

de los residuos sólidos orgánicos y se está disponiendo de una gran cantidad de estos residuos al relleno sanitario, sin importar su recuperación.

Algunas de las organizaciones que se ocupan del aprovechamiento de los residuos sólidos en el municipio se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Toneladas de residuos sólidos al mes recuperados en el municipio de Puerto Gaitán.

Entidad	Productos aprovechados	Ton/mes	%
Corporación Sin Fronteras	Cartón	10	35,3
	Metales	0,3	1,06
	Plástico (Bolsas, PET, Pastas)	1,4	4,94
Recuperadora Resimetales HR	Cartón	0,1	0,35
	Metales	0,1	0,35
	Plástico (Bolsas, PET, Pastas)	0,1	0,35
Recuperadora Puerto Gaitán	Cartón	1,5	5,29
	Metales	0,5	1,76
	Plástico (Bolsas, PET, Pastas)	0,3	1,06
Ventarrón Chatarrería Jesús	No cuantificado	-	-
Chatarrería La Esperanza	No cuantificado	-	-
Puerto Gaitán José Salazar Londoño	Residuos Orgánico	0,03	0,11
Recicladora J Y M	Cartón	7	24,71
	Metales	3	10,59
	Plástico (Bolsas, PET, Pastas)	4	14,12
Total media mensual de recuperación		28,33	100%

Fuente: Elaboración propia basada en: COFESCO. Plan de gestión integral de residuos sólidos. Puerto Gaitán Meta. 2015. Tomo 1.

De acuerdo con la Tabla 7, se evidencia que existe una sola entidad recuperadora de residuos sólidos orgánicos llamada “José Salazar Londoño”, la cual aprovecha 0,03 toneladas al mes, llegando a obtener hasta 20 kilogramos al mes de producto tipo compost. Esto conlleva a la oportunidad de conformar más entidades recuperadoras de estos residuos, debido a la escasez de competencia que se presenta.

Con base en la relación, cantidad de residuos sólidos orgánicos aprovechados (ver Tabla 7), y residuos sólidos orgánicos producidos, junto con el porcentaje que representan los residuos orgánicos en el municipio (52%), se calcula que el porcentaje de residuos de tipo orgánico aprovechados en el municipio es de 0,016% del total producido¹⁰⁴. El porcentaje de 52% se toma de la Tabla 6 acerca de la composición física de los residuos sólidos del municipio, incluyendo los valores

¹⁰⁴ Ibid., p. 115

pertenecientes a los residuos orgánicos y de jardinería. A continuación, se presenta el cálculo del porcentaje de residuos sólidos aprovechado en el municipio, en porcentaje.

Ecuación 6. Porcentaje de residuos de tipo orgánico aprovechados

$$RSO_{Aprovechado}(\%) = \frac{RSO_{Aprovechados}}{RSO_{Producidos}} \quad (6)$$

$$RSO_{Aprovechado}(\%) = \frac{0,03 \frac{ton}{mes}}{\left(468,28 \frac{ton}{mes} \times 52\%\right)} \times 100 = 0,016\%$$

Fuente: : COFESCO. Plan de gestión integral de residuos sólidos. Puerto Gaitán Meta. 2015. Tomo 1.

2.4 DESARROLLO DEL DIAGNÓSTICO

2.4.1 Selección de la técnica de compostaje.

2.4.1.1 Técnicas de compostaje.

Existen variedad de técnicas que a la hora de su elección depende de varios factores como el tiempo de proceso, material requerido, requisito de espacio y las condiciones climáticas. Esto depende de cómo se quiere obtener el producto final, en este caso el abono orgánico. Principalmente, se dividen en sistemas cerrados que son los que se realizan bajo techo o en recipientes y sistemas abiertos que son los que se realizan al aire libre.

- Sistemas abiertos o en pilas: Los sistemas abiertos se utilizan cuando hay una gran cantidad de material o de residuos orgánicos. Para la realización o construcción de las pilas existen varios factores que se pueden variar durante el proceso como el volumen, forma, disposición y espacio entre ellas¹⁰⁵.

¹⁰⁵ FAO. Manual de compostaje del agricultor. Chile. 2013.[Consultado el 3 de septiembre 2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/019/i3388s/i3388s.pdf>

Imagen 3. Sistemas abiertos o en pilas.



Fuente: FAO. Manual de compostaje del agricultor. Chile. 2013.[Consultado el 3 de septiembre 2018]. Disponible en:
<http://www.fao.org/docrep/019/i3388s/i3388s.pdf>

Para poder realizar la formación de las pilas, se necesitan algunas tareas específicas como la elección del área. Esto se hace con el fin de poder controlar las condiciones climáticas, ya que es preferible una zona protegida de los vientos fuertes o algunos nacimientos del agua, para así poder evitar cualquier tipo de contaminación a la hora de la producción del abono orgánico. Otra tarea indispensable es el picado y el amontonamiento del material. Es de vital importancia mantener el tamaño indicado de partícula para que el proceso, sea más acelerado, tomándose una semana como unidad de tiempo para recolectar el material, antes de que empiece su fase termófila o de higienización.

Haciendo referencia al volteo de las pilas, se espera que se realice el primero alrededor de tres a cuatro semanas transcurridas el experimento. Esto también depende de las condiciones climáticas, para saber en cuánto tiempo se debe realizar otro volteo, medir la temperatura, el olor y la humedad.

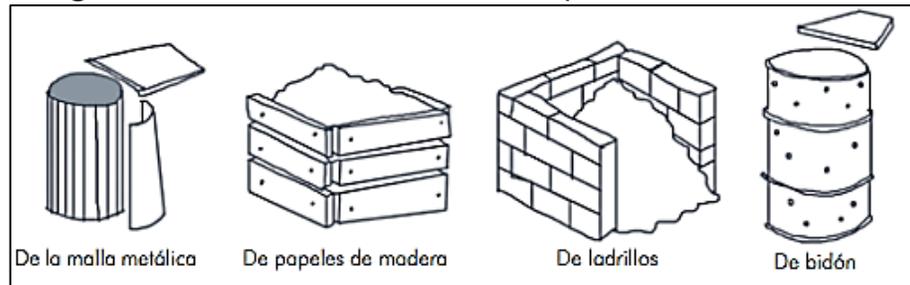
Por último, la fase de maduración que es la que alcanza el proceso cuando ya el compost ha terminado, y se puede obtener ya el producto final.

- Sistemas cerrados recipientes: Esta técnica es muy frecuente ya que facilita su replicación y evita que pueda ser contaminada por lluvias o de alguna invasión de vectores (ratas, aves). La desventaja de este método es que alcanza temperaturas altas. En climas cálidos, se le añade tierra al recipiente alrededor de un 10%, esto hace que la temperatura se regule, ya que la tierra es estable y no genera calor¹⁰⁶.

¹⁰⁶ *Ibíd.*, p.60

Como se menciona anteriormente, existen parámetros que se deben escoger antes de comenzar el proceso, como el área, la cantidad de material y el tipo de proceso. Algunas ventajas que tiene este tipo de sistema es que es fácil de manipular, se puede localizar en áreas pequeñas y tiene un mejor control de lixiviados.

Imagen 4. Sistemas cerrados o en recipiente.



Fuente: FAO. Manual de compostaje del agricultor. Chile. 2013.[Consultado el 3 de septiembre 2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/019/i3388s/i3388s.pdf>

Para este proceso, se necesita también la elección de un área, picado y amontonamiento del material. Respecto al control de los parámetros fisicoquímicos, se realizan las mismas técnicas y procesos que en el compost de pilas.

Finalmente, para la elección del sistema es indispensable evaluar las características de los sistemas de compostaje, en este caso de factores como el tiempo del proceso, el espacio requerido, seguridad higiénica entre otros, así mismo la elección del sistema dependerá de que se puede tratar cierta cantidad de residuo concreto y que logre generar un producto estable¹⁰⁷. Para este proyecto se escogieron los sistemas cerrados, al ser de mayor facilidad a la hora de su manejo y que permiten un mayor control de las condiciones del proceso. Respecto a la mano de obra, es mucho más económico que los sistemas abiertos, ya que se necesitan menos equipos y no hay necesidad de realizarle volteo a las pilas, debido a que esto es un requisito en el momento de realizar el experimento en sistemas abiertos. Por ende, se escogió el que tiene mayor facilidad de manejo, de economía y que brinda un producto factible.

2.4.1.2 Requerimientos y observaciones. Para poder elegir una buena técnica de compostaje, es importante saber y tener en cuenta qué parámetros se necesitan y son indispensables. En este caso, es primordial mantener las condiciones de operación, como lo son la aireación que es un parámetro bastante importante ya que es un proceso aeróbico (presencia de aire) en el cual debe existir aproximadamente entre 5% y 10% de concentración de oxígeno. Esto asegura la

¹⁰⁷ COMPOSTANDO CIENCIA LAB. Sistemas de compostaje. 2015. [Consultado el 10 de octubre 2018]. Disponible en: <http://www.compostandociencia.com/2015/02/sistemas-de-compostaje/>

actividad de los microorganismos y por tanto un buen proceso de degradación¹⁰⁸. La humedad tiene como función el metabolismo de los organismos y debe estar en un rango de 45-60%. La temperatura es un parámetro dinámico durante el proceso ya que presenta diferentes rangos durante las fases de degradación. El aumento de la temperatura garantiza la calidad microbiológica y de sanidad del compost. Finalmente, el pH que afecta la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento de las plantas cuyo crecimiento y desarrollo se pueden ver reducidos, de ahí la importancia del control del proceso.

Por otro lado, es primordial conocer el tiempo de la fase de maduración que tienen las diferentes técnicas ya que el tiempo es un factor importante a la hora de un experimento, porque así se puede conocer el tiempo aproximado de la duración del proceso, y en qué momento se obtendrá el producto final. Uno de los parámetros esenciales que se requieren para que el proceso funcione correctamente es la relación C/N, “se conoce de forma experimental que para que haya un proceso microbiano se necesita que esta relación este entre 20 y 30, es decir 20-30 átomos de carbono por cada átomo de nitrógeno”¹⁰⁹. Cuando se encuentran valores muy altos o muy bajos, es muy probable que se encuentren inconvenientes durante el proceso. Por ejemplo, en algunos casos se presenta una mayor lentitud debido a la creación de fibras de elevada cantidad que resultan de difícil degradación durante el proceso, o simplemente el proceso no inicia ya que los microorganismos no encuentran las condiciones nutricionales necesarias.

El carbono es indispensable ya que es el que se encarga de que los microorganismos crezcan, por eso 20 átomos se dedican a la obtención de energía metabólica, que da como resultado la emisión de CO₂ y los otros 10 son utilizados para sintetizar el protoplasma y para poder comenzar correctamente el proceso de compostaje. Se debe ajustar correctamente esta relación con los residuos orgánicos que queremos usar en el experimento.

¹⁰⁸ UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE SERVICIOS PUBLICOS (UAESP). Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura. [Consultado el 4 de Septiembre 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/372802114/Guia-Tecnica-Para-El-Aprovechamiento-de-Residuos-Organicos-a-Traves-de-Metodologias-de-Compostaje-y-Lombricultura>

¹⁰⁹ COMPOSTANDO CIENCIA LAB. La importancia de la relación carbono-nitrogeno en un compost. [Consultado el 4 de Septiembre de 2018]. Disponible en: <http://www.compostandociencia.com/2018/04/la-importancia-de-la-relacion-carbono-nitrogeno-en-un-compost/>

2.4.1.3 Elección del tipo de compostaje, sistema cerrado.

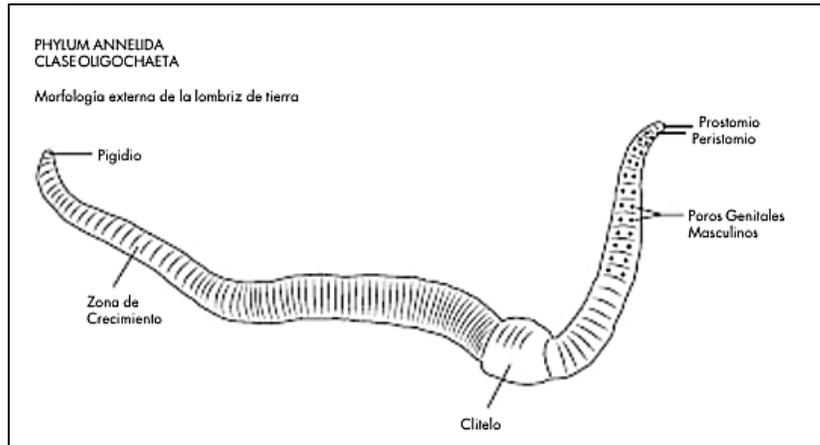
Tabla 8. Comparación de los tipos de compostaje en sistema cerrado.

Proceso	Costos	Tiempo de maduración	Área de ocupación	Volteo
Tambor	Costos de inversión bajos	10 semanas	Gran cantidad de área de ocupación aproximadamente (1,70 m ²)	Fácil volteo de material.
Vermicompost	Costos de inversión bajos	10 semanas	Poco espacio de ocupación aproximadamente (1-1,5 m ²)	No necesita volteo de material
Túnel	Costos de inversión muy alto	8 semanas	Gran cantidad de área de ocupación aproximadamente (100 m ³)	Tienen equipos automáticos de volteo
Contenedor	Costos de inversión medio	8 semanas	Poco espacio de ocupación aproximadamente (1-1,2 m ²)	Complejo volteo de material.

Fuente: Elaboración propia basada en: ABARRATALDEA. Manual práctico de técnicas de compostaje. [Consultado el 20 de septiembre del 2018] Disponible en: https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/sistemas_y_tecnicas_para_el_compostaje.pdf.

A partir de la Tabla 8, se puede observar una comparación de los diferentes tipos de compostaje en sistema cerrados, donde el proceso de Túnel y Contenedor, tienen un tiempo de maduración aproximadamente de 8 semanas, lo cual es una ventaja con respecto a las otras técnicas, pero con respecto a los costos de inversión, son muy altos en comparación a las otras dos, por ende se descartan las últimas dos técnicas; con respecto la técnica del Tambor con el Vermicompost, esta última tiene un área de ocupación menor a la otra técnica comparada y no hay necesidad de realizarle volteo al material. Finalmente, con las respectivas consultas bibliográficas y antecedentes acerca de las diferentes técnicas de compostaje y teniendo en cuenta los requisitos necesarios para obtener un producto final con una excelente calidad, se llegó a la conclusión que la técnica más adecuada para el desarrollo del proyecto es el “Vermicompost”. Esta técnica tiene como base la “lombriz roja californiana”.

Imagen 5. Lombriz Californiana.



Fuente: PRÁCTICAS INVERTEBRADOS NO ANTRÓPODOS. Disección de lumbricus terrestris. [Consultado el 12 de septiembre del 2018]. Disponible en: <https://practicasina2013.weebly.com/clase-oligochaeta.html>

- **Vermicompost.** “El Vermicompost es el proceso de compostar utilizando lombrices y microorganismos. Es un proceso eólico que termina en la estabilización de la materia orgánica. Al igual que el compost maduro, el producto final es materia orgánica, pero son las lombrices quienes realizan el proceso con ayuda de los microorganismos”¹¹⁰. Para este proceso, la lombriz utilizada es “la lombriz roja californiana”, es la más usual ya que es muy hábil a la hora de su alimentación. Se alimenta especialmente de residuos orgánicos, animales frescos o en estado de descomposición, con el fin de que se produzca el crecimiento de nuevas lombrices y estiércol.

Esta especie utiliza la materia orgánica para convertirla en abono de excelente calidad. Esto ocurre debido a los microorganismos benéficos que le aporta al suelo, además de esto, es rico en nutrientes que se utilizan para el crecimiento de plantas y árboles. Sin embargo, esto requiere de algunas condiciones ambientales específicamente de una temperatura óptima que se encuentra en un rango de 19-25°C, una humedad de 80%, un pH entre 6,5-7,5 y de poca luminosidad.

El cuerpo de la lombriz roja californiana se caracteriza por poseer una fisonomía de una cadena con anillos, destacándose uno más grande, donde se encuentran los órganos reproductores, denominada “clitelo”. Estas lombrices tienen una gran importancia ya que participan en mejorar la estructura del suelo debido a que

¹¹⁰ FAO. Manual de compostaje del agricultor. Chile. 2013. p.68.[Consultado el 3 de septiembre 2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/docrep/019/i3388s/i3388s.pdf>

tiene una gran riqueza de microorganismos benéficos y mejora la eficiencia de las fertilizaciones ya que ayuda a retener nutrientes para que estos no se pierdan a través de los lixiviados¹¹¹. Adicionalmente, se encargan de liberar los nutrientes a medida que se degrada en el suelo.

El Vermicompost, tiene una demanda de mano de obra menor a las otras técnicas ya vistas anteriormente, ya que no se requiere maquinaria. Esto es debido a que en esta técnica no es necesario realizar un volteo al material, debido a que las lombrices son las encargadas de mover los residuos y airear la mezcla. Además de esto, el abono que se obtiene de esta técnica es sólido, líquido y pie de cría, ya que son de uso doméstico y comercialización y tiene la mejor calidad debido a que las lombrices aportan una gran cantidad de microorganismos benéficos al proceso.

Adicionalmente, este proceso de Vermicompostaje se lleva a cabo en un recipiente cerrado lo que garantiza un área de compostaje más limpia, acelerando el proceso de descomposición, al mantener los materiales distribuidos de forma uniforme. Además, este compostador evitará olores desagradables, mejorará el resultado, realizará el trabajo más fácil, evitará la proliferación de insectos y roedores, por lo que no hará falta prestarle tanta atención como otras técnicas de compostaje.¹¹²

Su alimentación tiende a ser sencilla y rápida ya que la lombriz come todo tipo de materia orgánica, pudiendo ser esta de origen vegetal, animal o mixto y en diferentes estados de descomposición.

Respecto a su tiempo de maduración, se pudo encontrar que es la técnica de menor tiempo, para llegar al producto final. Además, con una excelente calidad, aclarando que no todos los procesos se dan de la misma forma y el mismo tiempo, pero aproximadamente el tiempo de obtención del producto es de uno a dos meses y medio.

- Plagas y enfermedades: La única enfermedad que puede padecer la lombriz roja californiana es el *síndrome protéico o de Gozzo ácido* que se presenta cuando se le suministran sustratos con altos contenidos en proteína. Esta no las asimila y se manifiestan inflamaciones en todo el cuerpo, muriendo a las pocas horas. Por otro lado, las plagas que más afectan a las lombrices son:
 - a) Los pájaros: Las aves pueden acabar poco a poco con un lombricero situado al aire libre, pero esta plaga se puede controlar fácilmente poniendo una red sobre la cama de las lombrices.

¹¹¹ *Ibíd.*, p. 68

¹¹² HOGAR NATURAL. Compostaje. [Consultado el 13 de septiembre del 2018] Disponible en: <http://www.elhogarnatural.com/reportajes/compostaje.htm>

- b) Las hormigas rojas: Son un depredador natural de la lombriz y pueden acabar en poco tiempo con nuestro criadero. Son atraídas principalmente por la secreción azucarada que la lombriz produce. La hormiga se puede controlar sin necesidad de productos químicos, con sólo que la humedad de la cama se encuentre en el 80%. Si en nuestras camas encontramos hormigas es una señal de que la humedad está baja.¹¹³
- Rendimiento. Mediante el vermicompost sólido se ha demostrado que aumenta el rendimiento de una alta gama de cultivos; la capacidad de alimentación de una lombriz es alrededor del 90% de su peso por día (1g), debido a la rápida alimentación que llevan las lombrices, se puede alcanzar a generar 0,6 de humus/día. Con respecto al área que ocupan, se estima alrededor de 20.000 lombrices/m².

Para tener solo una referencia orientativa, por cada tonelada de alimento que se coloca en una cuna en el periodo productivo, se extrae media tonelada de humus en tres meses de actividad (un metro cúbico de humus pesa unos 500 Kg). Si supera estos valores puede contener tierra¹¹⁴.

¹¹³ COMPOSTADORES. La lombricultura. [Consultado el 13 de septiembre del 2018] Disponible en: <http://www.compostadores.com/descubre-el-compostaje/vermicompostaje/172-la-lombricultura.html>

¹¹⁴ MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. Iniciación al compostaje y vermicompostaje doméstico. España. [Consultado el 13 de septiembre del 2018] Disponible en: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/aderlan/documentos/EJESTotal/EJE4/compost%20y%20vermicompost.pdf>

Tabla 9. Zonas urbanas del municipio de Puerto Gaitán.

Zonas urbanas
Centro
Barrio Popular
Barrio José A. Galán.
Barrio El Triunfo.
Barrio Manacacías.
Barrio Villa Ortiz
Barrio El trampolín.
Barrio La Esperanza.

Fuente: Elaboración propia basada en: JARAMILLO, Carlos Andrés. Centro educativo tecnológico y de investigación. Universidad Javeriana. Bogotá. 2010 [Consultado el 10 de Octubre del 2018]. Disponible en: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/4088>

De igual forma, en el municipio se encuentran 27 veredas, 9 centros poblados y 9 resguardos indígenas.¹¹⁵

Teniendo en cuenta la distribución y el número barrial en el casco urbano del municipio, se realizó el método de muestreo por conglomerado aleatorio para cuatro barrios ubicados en la zona residencial y comercial (Barrio Manacacias, Barrio Popular y centro). Para cada barrio se seleccionó una vivienda para un total de cuatro muestras de residuo sólido urbano orgánico. Esta cantidad de muestras se debe principalmente a que, para la tecnología de vermicompostaje a escala piloto, no se requiere de una grande cantidad de residuo. Lo anterior debido a que una sobrecarga de este mismo (al principio del proceso) podría producir un ambiente perjudicial para las lombrices, además de generar malos olores. Por otro lado, la extensa distancia al municipio (312,5 kilómetros desde Bogotá) y el tiempo asignado, por parte de la empresa de visita al mismo para el desarrollo del muestreo, fueron otras razones por las cuales se decidió ejecutar la técnica de muestreo de esta manera.

¹¹⁵ COFESCO. Plan de gestión integral de residuos sólidos. Puerto Gaitán Meta. 2015.

2.4.3 Estrategias de socialización del manejo de los residuos sólidos.

Actualmente, el municipio de Puerto Gaitán cuenta con el apoyo ambiental de la empresa CORMACARENA. Esta empresa además de administrar los recursos naturales y el medio ambiente se encarga de realizar actividades de sensibilización y manejo de los residuos sólidos urbanos a la población llanera, con el fin de promover la conservación y el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del medio ambiente.

En el 2016, la Secretaría Agropecuaria y de Medio Ambiente de la Alcaldía realizó cinco capacitaciones a la población, cuatro campañas ambientales, y siete jornadas de sensibilización y limpieza de sitios con problemática ambiental. Sin embargo, continúan presentándose problemáticas ambientales con respecto a los residuos sólidos urbanos, como la práctica irresponsable de su quema, alta producción per cápita, inadecuada clasificación, bajo índice de aprovechamiento y disposición a cielo abierto de estos mismos.

A partir de esto, se optó por reforzar la educación ambiental en el municipio a través de volantes repartidos de forma aleatoria a la población, con el fin de inculcar el adecuado manejo de los residuos sólidos urbanos, y facilitar el manejo de estos mismos. Además, para las viviendas seleccionadas en el muestreo, se realizaron las respectivas instrucciones para la clasificación de los residuos sólidos, esto con el fin de que los habitantes de dichas viviendas diferenciaron los residuos sólidos orgánicos (residuos a recolectar) del resto de residuos sólidos urbanos.

2.4.4 Elección del vermicompostador. Para la elección del tipo de vermicompostador, se tuvieron en cuenta algunos criterios como lo son: el tipo de material de carácter aislante y no tóxico, debido a la importancia de mantener una temperatura ideal en su interior; el color y la opacidad del material, ya que, las lombrices son sensibles a la luz; la disposición de un recolector de líquidos lixiviados y una cubierta para evitar el ingreso de microorganismos no deseados al igual que la luz. Teniendo en cuenta lo anterior, se eligió un sistema de vermicompostaje funcional, fácil de construir y económico, en el cual, se reutilizaron canastas de frutas y recipientes plásticos, con las siguientes características:

Tabla 10. Características del vermicompostador.

Características	Compostera (canasta de frutas)	Recibidor de lixiviados (recipiente plástico)	Cubierta (Tapa plástica)
Ancho	39 cm	39 cm	39 cm
Largo	59 cm	58,5 cm	59 cm
Alto	23 cm	7 cm	-
Resistencia	18 kg	10,4 kg	4 kg
Material	Polipropileno, aislante eléctrico y térmico	Polipropileno, aislante eléctrico y térmico	Polipropileno, aislante eléctrico y térmico

Fuente: Elaboración propia

El sistema de vermicompostaje se construyó bajo recomendaciones de expertos en el tema, para pruebas a escala piloto. Las características presentadas en la Tabla 10 fueron mediciones realizadas por los autores, junto con especificaciones consultadas de los artículos seleccionados.

Imagen 7. Sistema de vermicompostaje elegido.



- ← Cubierta
- ← Vermicompostador
- ← Recolector de lixiviados

Fuente: Elaboración propia

Con el fin de evitar la incidencia de la luz a través de la cubierta, se decidió que debía forrarse con una bolsa de basura negra. De igual forma, se debían cubrir los orificios laterales del vermicompostador con cartón, para impedir la migración de las lombrices.

2.4.5 Cantidad de lombrices requeridas. Para la cantidad de lombrices a disponer, se consultó a los expertos en compostaje, y se acordó que se debía colocar 1 kg de lombriz a cada uno de los dos experimentos, y sus respectivas réplicas; esto teniendo en cuenta las características del vermicompostador y la cantidad residuo sólido que se debía disponer en el mismo.

2.4.6 Recolección de los residuos sólidos urbanos orgánicos. Para la recolección de los RSUO, se entregó una bolsa verde mediana, a cada habitante de las viviendas seleccionadas para la recolección de los residuos. Conjuntamente, se explicó cómo se debe hacer la clasificación, y se entregó una hoja informativa de los residuos sólidos urbanos orgánicos que debían disponerse en dicha bolsa.

Para la recolección de las muestras, se acordó con los habitantes de las viviendas la entrega de estas en tres días, con el objetivo de evitar la putrefacción y los malos olores de los residuos. Luego de recolectar los residuos, se observó la repetición de muchos de estos, como cáscaras de piñas, naranjas, limones, papayas, guayaba, sapote, lechuga, habichuelas, fresas, mango, huevos, mazorca y entre otros restos de comida.

Por último, se cuantificaron los residuos, obteniendo una cantidad total de 17 Kg de residuo orgánico; siendo una cantidad más que suficiente para los cuatro experimentos de vermicompostaje, según las características del sistema seleccionado. Esto es debido a que al principio del proceso se deben agregar pocas cantidades de residuos para no sobresaturar a las lombrices, y permitir que estas mismas se vayan adaptando a su nuevo ambiente.

2.4.7 Caracterización fisicoquímica de la muestra de residuos sólidos. Según la cotización realizada y remitida por el laboratorio ANALQUIM LTDA, para el análisis fisicoquímico de los residuos sólidos orgánicos, la muestra debía ser enviada de forma loteada, dispuesta en una bolsa de basura y con una cantidad mínima de 2 kg. Para la toma de muestra, se mezclaron todos los residuos recolectados, de tal forma que su caracterización comprendiera todas las clases de frutas y verduras. Posteriormente, se recolectó dicha cantidad de residuo requerido, y se remitió para sus correspondientes análisis de laboratorio.

Los parámetros seleccionados para analizar, en la muestra de residuo, son los más importantes al momento de iniciar un proceso de vermicompostaje, ya que, las lombrices dependen de ciertas condiciones para subsistir; y si el alimento no cumple con los rangos recomendados, el proceso de compostaje, por parte de ellas, se prolongaría más tiempo, o estas mismas podrían llegar a morir. Durante este procedimiento, se tuvieron en cuenta algunos elementos de protección personal como lo son los protectores naso bucales, los guantes de nitrilo y los gorros quirúrgicos, con el fin de evitar el contacto con microorganismos patógenos e infecciosos, y de alterar los resultados de la caracterización de la muestra. Los resultados obtenidos por el laboratorio se pueden observar en la Tabla 11.

Tabla 11. Caracterización fisicoquímica de la muestra.

Parámetro	Unidad	Resultado	Rango recomendado
Carbono orgánico total	% (p/p)	22,84	-
Humedad	%	87,92	70-80%
Materia Orgánica	%	39,37	-
Nitrógeno total	% BS	1,69	-
pH	Und de pH	5,16	5-8,4
Relación Carbono- nitrógeno	%	13,51	20-30

Fuente: Elaboración propia basada en Anexo D. Laboratorio ANALQUIM LTDA.

2.4.7.1 Análisis de la caracterización fisicoquímica. De acuerdo con los resultados de laboratorio obtenidos, se observó que los valores de pH, humedad y relación C/N son útiles para el desarrollo del experimento, siempre y cuando se realicen los ajustes mediante aditivos para suplir las necesidades de las lombrices, las cuáles son los agentes limitantes en este proceso de compostaje.

El porcentaje de humedad es uno de los factores más relevantes en la reproducción de las lombrices y por ende en la producción de Vermicompost. De acuerdo con los resultados obtenidos de la caracterización de estos residuos sólidos orgánicos, fue de 87,92%, encontrándose por encima del límite superior del rango de contenido de humedad de residuos de comida mezclados (50-80%), mostrados en la Tabla 11. Este alto contenido inicial puede estar relacionado con las condiciones de almacenamiento y condiciones climatológicas de estos residuos¹¹⁶.

El rango óptimo para el inicio del Vermicompostaje es de 70-80%. Esto se debe a que una humedad superior al 85% provoca que las lombrices entren en un período de latencia y se afecte la producción de Vermicompost, y una humedad inferior al 70% es una condición desfavorable hasta un límite de 55% donde entrarían en una fase de mortalidad¹¹⁷. De acuerdo con lo anterior, resulta necesario disminuir en pequeñas cantidades el contenido de humedad para el desarrollo del proceso dentro de las condiciones óptimas de las lombrices. Para esto, se puede optar por añadir pocas cantidades de material orgánico seco con el fin de estabilizar este contenido de humedad dentro del rango óptimo de ingreso del alimento al sistema, y evitar inconvenientes con la obtención del Vermicompost.

El pH obtenido en la muestra es de 5,16 lo que indica una presencia de acidez en el sustrato. El rango aceptable de pH para las lombrices es de 5 a 8,4, para lo cual el resultado se encuentra dentro del rango recomendado para el inicio del proceso. Sin embargo, es importante el control de este parámetro durante el proceso, ya que, si el pH se aleja de este rango, las lombrices entrarían en una etapa de latencia.¹¹⁸

La relación C/N de los residuos es de 13,51%, siendo baja para el rango recomendado, para el inicio del Vermicompostaje (20-30%), ya que es el rango óptimo para las lombrices, y al estar el valor lejos de este rango, se puede afectar la reproducción y desarrollo de estas¹¹⁹. Ésta baja relación se debe al exceso de nitrógeno total presente en la muestra, que podría traer dificultades en la actividad biológica del sistema¹²⁰ si se dispone sin ningún tratamiento previo. Debido a lo

¹¹⁶Huerta, O., López, M., Soliva, M. y Zaloña, M. Compostaje de Residuos Municipales – Control del proceso, rendimiento y calidad del producto. Cataluña. 2008. p 186.

¹¹⁷COMPOSTADORES. Compost y vermicompost. [Consultado el 20 de septiembre del 2018] Disponible en: www.compostadores.com/descubre-el-compostaje/vermicompostaje/172-la-lombricultura.html.

¹¹⁸ *Ibíd.*,

¹¹⁹ GUAUQUE, Diana Marcela. Comparación del proceso de vermicompostaje con la especie Eisenia Fetida desde la variación de los residuos orgánicos. Universidad Militar Nueva Granada. Colombia. 2017. [Consultado el 23 de septiembre del 2018] Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16549/GuauqueSanchezDianaMarcela2017.pdf;jsessionid=F5B1E42A9854A92D974849B066570B1B?sequence=3>

¹²⁰AMBIENTUM, Relación Carbono- Nitrógeno. [Consultado el 23 de septiembre del 2018] Disponible en:

https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/relacion_carbono_nitrogeno.asp

anterior, es claro que los residuos sólidos orgánicos no son útiles como fuente única de alimento al sistema de Vermicompostaje; por tanto, resulta indispensable el ajuste de la relación C/N mediante la adición de aditivos aportadores de carbono. Con respecto a la materia orgánica, se evidencia que en la muestra existe una mediana proporción de esta misma, probablemente debido a la presencia de fuentes de nitrógeno como lo son los restos de carnes, pescado, animales, entre otros restos que se hayan adherido a los residuos debido principalmente a su alto porcentaje de humedad. Sin embargo, para los sistemas de Vermicompost es conveniente disponer una proporción equilibrada de residuos orgánicos, entre las fuentes de carbono y nitrógeno para lograr una relación C/N deseada.¹²¹

Finalmente, para el desarrollo experimental, se debe tener en cuenta de igual manera, la medición y control del proceso semanal para llevar un registro de las variables dependientes más importantes del sistema. Dentro de las posibles mejoras, se propone utilizar aditivos como estiércol de bovino y restos de maíz, proporcionar un lecho rico en material seco para alcanzar la humedad óptima de las lombrices, y llevar un mayor control en la selección de la fracción orgánica a tratar para evitar los altos contenidos de restos de comida no deseados por las lombrices.

¹²¹TRATAMIENTO DE LA MATERIA ORGÁNICA. [Consultado el 23 de septiembre del 2018]
Disponible en:
http://www.errausketarikez.org/pdf/6.TRATAMIENTO_DE_MATERIA_ORGANICA.pdf

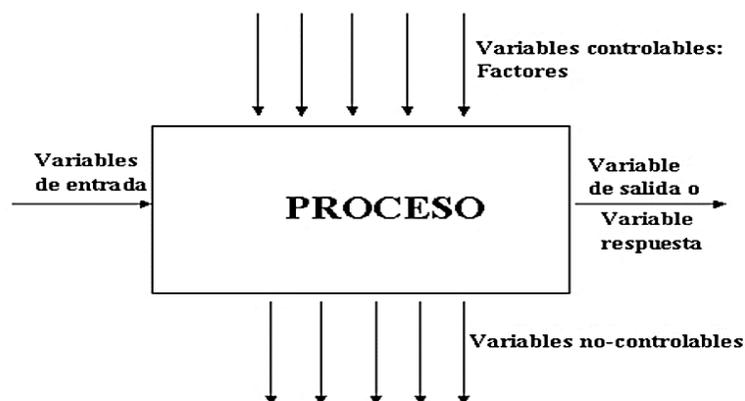
3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

A lo largo de este capítulo, se determinan las condiciones de producción en cada etapa del proceso de vermicompostaje mediante un desarrollo experimental. Este consiste en la definición de los factores y sus niveles, variables de respuesta y constantes; la elección del lugar; la recolección de los residuos sólidos urbanos orgánicos; la adecuación y amontonamiento del alimento y aditivos; el montaje del sistema de vermicompostaje; y los balances de materia por tratamiento de aditivo.

3.1 DEFINICIÓN DE VARIABLES Y CONSTANTES

Para la realización del diseño experimental, se definen los factores y sus niveles, variables de respuesta y constantes, especificadas con base en los requerimientos de la empresa, y el desarrollo de procesos de vermicompostaje. A continuación, se presenta un esquema del comportamiento de las variables durante el proceso.

Figura 5. Esquema del proceso.



Fuente: CAPÍTULO 3. Diseño Estadístico de Experimentos. [Consultado el 20 de Octubre del 2018]. Disponible en: http://www.ugr.es/~bioestad/_private/cpfund3.pdf

- Constantes: Cantidad de lombrices, residuos sólidos orgánicos, Temperatura, porcentaje de humedad y pH.
- Variables dependientes: El proceso no tiene variables que se vean afectadas por las variables controladas, ya que, se realizan monitoreos de tal forma que permanezcan constantes hasta obtener la variable de respuesta.
- Variable independiente:
 - a) Rango: Fuente de carbono
 - b) Niveles: Estiércol de bovino, Restos de maíz.
- Variable de respuesta: Relación C/N.

3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se estableció un diseño experimental de una variable independiente o factor, en dos niveles. Con esto se pretende estudiar el efecto de los dos niveles o tratamientos (estiércol de bovino y restos de maíz) como fuente de carbono, sobre la relación C/N del abono o vermicompost a obtener; siendo esta última, la variable de respuesta más importante para la evaluación de la calidad del abono orgánico.¹²² El diseño experimental consta de una réplica por cada nivel, esto por limitaciones en el presupuesto, ya que, los análisis de laboratorio durante el proceso de compostaje, debían ser enviados a una empresa externa para su realización. Los detalles del diseño experimental se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Detalles del diseño experimental.

Variable de respuesta	Factor	Niveles	Número de réplicas
Relación C/N	Fuente de Carbono	Estiércol de bovino	1
		Restos de maíz	1

Fuente: Elaboración propia

3.3 ELECCIÓN DEL LUGAR

En un sistema de Vermicompostaje, la localización del lugar es uno de los factores más importantes del proceso, ya que su éxito depende de las óptimas condiciones y requerimientos de la lombriz. Para lo cual, se definieron los requerimientos básicos que debía tener el lugar:

- Buen drenaje: Debido a las variaciones del clima, es posible que se produzcan inundaciones; por tanto, es un requisito que el lugar se encuentre en una zona techada y elevada, con un buen drenaje de agua.
- Protección contra exceso de sol: Debido a que las lombrices son sensibles a la luz, resultan ser más activas en la oscuridad; por tanto, se debe escoger un lugar sombreado, lejos de la fuerte iluminación.
- Suministro de agua: Debido a que las lombrices respiran por la piel y el 70% de su peso es agua, es necesario mantenerla húmeda para realizar actividades como digerir alimentos y mantener una temperatura corporal adecuada.

¹²² REVISTA ESPACIOS. Diseño experimental para la obtención de compost apto para uso agrícola a partir de lodo papeler Kraft. 2017. [Consultado el 25 de Septiembre del 2018] Disponible en: <http://www.revistaespacios.com/a17v38n28/a17v38n28p01.pdf>

- Mantenimiento: El área de Vermicompostaje debe mantenerse limpia de residuos que puedan afectar el funcionamiento de este, y atraer plaga de animales microorganismos ajenos a la actividad.¹²³

Para el desarrollo experimental, la empresa Plus Ambiente S.A.S.E.S. P facilitó de un espacio dentro de la planta “El Alcaraván”, en la cual se llevan a cabo procesos de tratamiento, disposición e incineración de residuos del municipio, entre otros servicios. De acuerdo a los requerimientos que el área de Vermicompostaje demanda, se decidió instalar los compostadores al interior de un Domo, ubicado en la parte central de la planta, asignado por el jefe de la misma; con el fin de disponer de suministros de agua, instrumentos de medición y sombra, para los sistemas de Vermicompostaje (ver Imagen 8).

Imagen 8.Lugar del sistema de vermicompostaje



Fuente: Elaboración propia

3.4 RECOLECCIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS ORGÁNICOS

Para el desarrollo experimental, se decidió continuar con el mismo procedimiento de recolección de las cuatro muestras de residuos orgánicos en cuatro viviendas de cuatro barrios del casco urbano, cambiando los barrios entre la primera y segunda recolección, con el fin de obtener distintas clases de residuo orgánico durante las dos tomas de recolección. De esta forma, la primera recolección se llevó a cabo en el día 1, recolectando una cantidad total de 17 kg y la segunda recolección a los 15 días, recolectando una cantidad total de 23,7 kg. Esta variabilidad entre las cantidades puede deberse a la diferencia de extensiones de los barrios seleccionados para cada recolección. Cabe resaltar que la cantidad total recogida

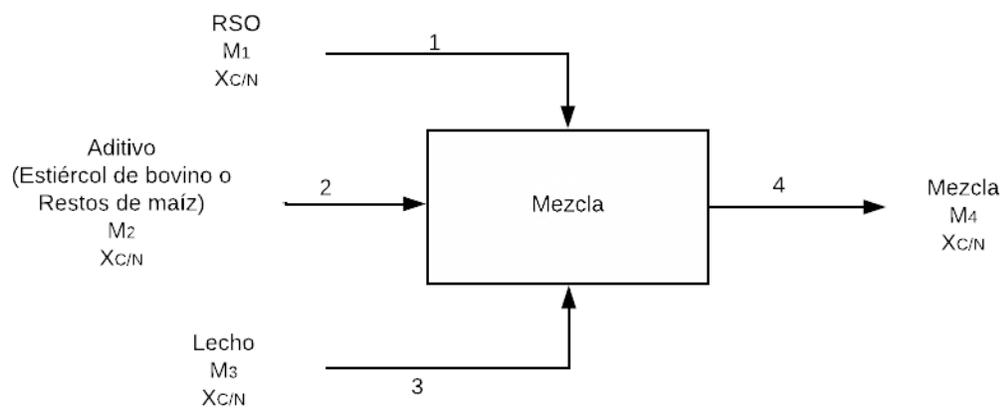
¹²³UNIVERSIDAD ICESI. Vermicompostaje. Cali, Colombia. p.42. [Consultado el 24 de septiembre del 2018] Disponible en: https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/76623/1/dise%C3%B1o_experimental_enfoque.pdf-Página42.

no logró ser dispuesta en su totalidad, debido a que, por cuestiones de tiempo del proceso, se decidió realizar el sistema en una sola capa, requiriendo menores cantidades de RSO. Adicionalmente una masiva cantidad de alimento podría llegar a saturar el sistema con lombrices, haciéndolas menos productivas o en el peor de los casos provocándole su muerte¹²⁴.

3.5 BALANCE DE MATERIA DE AJUSTE DE LA RELACIÓN C/N

Se realizó el balance de materia del experimento con el fin de determinar la cantidad requerida de aditivos o sustratos para cada uno de los tratamientos y sus réplicas. Debido a la complejidad que se presenta en la composición y las múltiples reacciones químicas, con estequiometría desconocida de los RSO y aditivos a utilizar en el proceso; y adicionalmente a la relación C/N, siendo el parámetro más incidente en la calidad del abono orgánico, se propuso plantear un balance elemental que iguale la suma de las cantidades de entrada a las de salida, que contengan dicha relación elemental. Además, en los resultados del diagnóstico de los RSO recolectados, se determinó necesario un ajuste de esta relación mediante la adición de aditivos para alcanzar el valor recomendado al inicio del proceso.

Figura 6. Muestra el esquema del balance de materia del proceso.



Fuente: Elaboración propia

Para su desarrollo, se tomó como base la relación C/N de los aditivos recomendada por la teoría y la obtenida del diagnóstico para los residuos orgánicos. El balance elemental o atómico se realiza partiendo del principio de Dalton, de la conservación

¹²⁴ GRUPO DE ACCIÓN PARA EL MEDIO AMBIENTE. Manual de vermicompostaje. Madrid. p.7 [Consultado el 24 de septiembre del 2018] Disponible en: <https://www.asociaciongrama.org/documentacion/manuales/Manual%20de%20Vermicompostaje%20GRAMA.pdf>

de los átomos en toda reacción química, lo cual se entiende como la transformación de todas las moléculas involucradas y la conservación de los átomos¹²⁵. Para lo cual, se describe una ecuación de la siguiente manera:

Ecuación 7. Balance general

$$\boxed{\text{Entrada} - \text{Salida} = 0} \quad (7)$$

Fuente: Elaboración propia

Desarrollando la ecuación (7) se obtuvo:

$$M_{\text{Lecho}} + M_{\text{RSO}} + M_{\text{Aditivo}} - M_{\text{Total}} = 0 \quad (7.1)$$

$$M_{\text{Total}} = M_{\text{Lecho}} + M_{\text{RSO}} + M_{\text{Aditivo}} \quad (7.2)$$

$$M_{\text{Lecho}} = M_{\text{Papel mezclado}} + M_{\text{Tierra}} \quad (7.3)$$

Reemplazando las ecuaciones (7.2) y (7.3) en la ecuación (7.1):

$$M_{\text{Papel mezclado}} + M_{\text{Tierra}} + M_{\text{RSO}} + M_{\text{Aditivo}} - ((M_{\text{Papel mezclado}} + M_{\text{Tierra}}) + M_{\text{RSO}} + M_{\text{Aditivo}}) = 0 \quad (7.4)$$

La ecuación (7.1) en términos de la relación C/N:

$$M_{\text{Papel mezclado}} \times (C/N)_{\text{Papel mezclado}} + M_{\text{Tierra}} \times (C/N)_{\text{Tierra}} + M_{\text{RSO}} \times (C/N)_{\text{RSO}} + M_{\text{Aditivo}} \times (C/N)_{\text{Aditivo}} - (M_{\text{Papel mezclado}} + M_{\text{Tierra}} + M_{\text{RSO}} + M_{\text{Aditivo}}) \times (C/N)_{\text{Total}} = 0 \quad (7.5)$$

Despejando M_{Aditivo} de la ecuación (7.5):

$$M_{\text{Aditivo}} = \frac{M_{\text{Papel mezclado}} \times \left[\left(\frac{C}{N_{\text{Total}}} \right) - \left(\frac{C}{N_{\text{Papel mezclado}}} \right) \right] + M_{\text{Tierra}} \times \left[\left(\frac{C}{N_{\text{Total}}} \right) - \left(\frac{C}{N_{\text{Tierra}}} \right) \right] + (M_{\text{RSO}}) \times \left[\left(\frac{C}{N_{\text{Total}}} \right) - \left(\frac{C}{N_{\text{RSO}}} \right) \right]}{\left[\left(\frac{C}{N_{\text{Aditivo}}} \right) - \left(\frac{C}{N_{\text{Total}}} \right) \right]} \quad (7.6)$$

Donde:

$M_{\text{Papel mezclado}}$ = Cantidad de papel mezclado agregado al sistema

$(C/N)_{\text{Papel mezclado}}$ = Relación Carbono – Nitrógeno del papel mezclado

M_{Tierra} = Cantidad de tierra (arcillosa del municipio) agregada al sistema

$(C/N)_{\text{Tierra}}$ = Relación Carbono – Nitrógeno de la tierra

M_{RSO} = cantidad de residuo sólido orgánico agregada al sistema

¹²⁵ DOMINGUEZ, Lidia. Balance elemental. [Consultado el 24 de septiembre del 2018] Disponible en: <https://es.scribd.com/document/220724379/Balance-Elemental>

$(C/N)_{RSO}$ = La relación Carbono – Nitrógeno de los residuos sólidos orgánicos (diagnóstica en el capítulo 2)

$M_{Aditivo}$ = La cantidad de aditivo añadido (Restos de maíz o estiércol de bovino)

$(C/N)_{Aditivo}$ = La relación Carbono – Nitrógeno del aditivo (Recomendada por fuentes bibliográficas)

M_{Total} = La cantidad total del sistema de vermicompostaje

$(C/N)_{Total}$ = La relación Carbono – Nitrógeno final recomendada

- Balance de materia del tratamiento 1: RSO+ restos de maíz

Ecuación 8. Balance de materia del tratamiento 1

$$M_{Papel\ mezclado} \times \left[\left(\frac{C}{N_{Total}} \right) - \left(\frac{C}{N_{Papel\ mezclado}} \right) \right] + M_{Tierra} \times \left[\left(\frac{C}{N_{Total}} \right) - \left(\frac{C}{N_{Tierra}} \right) \right] + (M_{RSO}) \times \left[\left(\frac{C}{N_{Total}} \right) - \left(\frac{C}{N_{RSO}} \right) \right] = \frac{M_{Restos\ de\ maíz} \times \left[\left(\frac{C}{N_{Total}} \right) - \left(\frac{C}{N_{Restos\ de\ maíz}} \right) \right]}{\left[\left(\frac{C}{N_{Restos\ de\ maíz}} \right) - \left(\frac{C}{N_{Total}} \right) \right]}$$

Fuente: Elaboración propia

Donde:

$$M_{RSO} = 6\text{ kg}$$

$$(C/N)_{RSO} = 13,51\%_{p/p}$$

$$M_{Restos\ de\ maíz} = \text{Cantidad desconocida}$$

$$(C/N)_{Restos\ de\ maíz} = 55\%_{p/p}^{126}$$

$$M_{papel\ mezclado} = 0,5\text{ kg}$$

$$(C/N)_{Papel\ mezclado} = 173\%_{p/p}^{127}$$

$$M_{Tierra} = 2,5\text{ kg}$$

$$(C/N)_{Tierra} = 9,20\%_{p/p}$$

$$(C/N)_{Total} = 30\%_{p/p}$$

Reemplazando los valores en la ecuación (8.1):

$$M_{restos\ de\ maíz} = \frac{0,5 \times [(30) - (173)] + 2,5 \times [(30) - (9,20)] + (6) \times [(30) - (13,51)]}{[(55) - (30)]} = 3,1776\text{ kg} \sim 3,2\text{ kg}$$

Reemplazando la $M_{restos\ de\ maíz}$ en la ecuación (7.2) se obtiene:

$$M_{Total} = 3\text{ kg} + 6\text{ kg} + 3,2\text{ kg} = 12,2\text{ kg}$$

- Balance de materia del tratamiento 2: RSO+ Estiércol de bovino seco.

¹²⁶ SCIELO. La biomasa de los cultivos en el ecosistema y sus beneficios agroecológicos. Cuba. [Consultado el 24 de septiembre del 2018] Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000100002

¹²⁷ Ibid.,

Ecuación 9. Balance de materia del tratamiento 2

$$M_{\text{Papel mezclado}} \times \left[\left(\frac{C}{N_{\text{Total}}} \right) - \left(\frac{C}{N_{\text{Mezclado}}} \right) \right] + M_{\text{Tierra}} \times \left[\left(\frac{C}{N_{\text{Total}}} \right) - \left(\frac{C}{N_{\text{Tierra}}} \right) \right] + (M_{\text{RSO}}) \times \left[\left(\frac{C}{N_{\text{Total}}} \right) - \left(\frac{C}{N_{\text{RSO}}} \right) \right] = \frac{M_{\text{Estiércol de bovino seco}}}{\left[\left(\frac{C}{N_{\text{Estiércol bovino seco}}} \right) - \left(\frac{C}{N_{\text{Total}}} \right) \right]} \quad (9)$$

Fuente: Elaboración propia

Donde:

$$M_{\text{RSO}} = 6 \text{ kg}$$

$$(C/N)_{\text{RSO}} = 13,51\%_{\text{p/p}}$$

$$M_{\text{Estiércol bovino seco}} = \text{Cantidad desconocida}$$

$$(C/N)_{\text{Estiércol bovino seco}} = 60\%_{\text{p/p}}^{128}$$

$$M_{\text{papel mezclado}} = 0,5 \text{ kg}$$

$$(C/N)_{\text{Papel mezclado}} = 173\%_{\text{p/p}}^{129}$$

$$M_{\text{Tierra}} = 2,5 \text{ kg}$$

$$(C/N)_{\text{Tierra}} = 9,20\%_{\text{p/p}}$$

$$(C/N)_{\text{Total}} = 30\%_{\text{p/p}}$$

Reemplazando los valores en la ecuación (9.1):

$$M_{\text{Estiércol de bovino seco}} = \frac{0,5 \times [(30) - (173)] + 2,5 \times [(30) - (9,20)] + (6) \times [(30) - (13,51)]}{[(60) - (30)]} = 2,648 \text{ kg} \sim 3 \text{ kg}$$

Reemplazando la $M_{\text{Estiércol de bovino seco}}$ en la ecuación (7.2) se obtiene:

$$M_{\text{Total}} = 3 \text{ kg} + 6 \text{ kg} + 2,6 \text{ kg} = 11,6 \text{ kg}$$

3.6 ADECUACIÓN DEL ALIMENTO Y ADITIVOS

Para el montaje del sistema de Vermicompostaje, se picaron los residuos orgánicos y restos de maíz de forma manual, y con el uso de tijeras o podaderas de jardín. Lo anterior con la finalidad de ajustar el tamaño de partícula, debido a que, en cuanto más fino sea el tamaño de los gránulos de comida, más alimento ingiere la lombriz¹³⁰, acelerando el proceso de obtención del compost. De igual manera, a la cantidad de estiércol de bovino recolectado se le trituró mediante palas para

¹²⁸ RELACIÓN CARBONO-NITROGENO EN LOS ABONOS ORGÁNICOS. [Consultado el 24 de septiembre del 2018] Disponible en: <https://www.slideshare.net/rayo2882/relacion-carbono-nitrogeno-en-compostas>

¹²⁹ SCIELO. La biomasa de los cultivos en el ecosistema y sus beneficios agroecológicos. Cuba. [Consultado el 24 de septiembre del 2018] Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000100002

¹³⁰ GRUPO DE ACCIÓN PARA EL MEDIO AMBIENTE. Manual de vermicompostaje. Madrid. p.5 [Consultado el 30 de septiembre del 2018] Disponible en: <https://www.asociaciongrama.org/documentacion/manuales/Manual%20de%20Vermicompostaje%20GRAMA.pdf>

disminuir su peso y conglomerados, y de esta forma facilitar la movilidad de las lombrices mediante esta capa de alimento. Consecutivamente, se dispuso cada material de forma separada en cajas plásticas para su posterior distribución. Este procedimiento se realizó para cada recolección de alimento.

3.7 MONTAJE DEL SISTEMA DE VERMICOMPOSTAJE

El montaje de un vermicompostaje puede realizarse de distintas formas, sin embargo, para su desarrollo se consultó a expertos y se utilizaron materiales, según el beneficio de la relación C/N, para una eficiente producción de vermicompost. En primera instancia, se armó el compostador o sistema de Vermicompostaje mediante canastas de supermercado (composteras), tapas plásticas (para evitar la luz e ingreso de microorganismos ajenos a las lombrices), y recipientes plásticos con abertura superior (recolector de los lixiviados). Se inició con el cubrimiento de la mitad los orificios laterales del vermicompostador, haciendo uso de una cinta industrial, no tóxica con el fin de evitar el ingreso de la luz y de microorganismos ajenos al sistema. Luego, se preparó el lecho del sistema agregando materiales ricos en carbono y estructura como trozos de papel mezclado y tierra. Seguido de esto, se humedeció el material a un nivel adecuado, seguido de la disposición de las lombrices en la superficie del lecho. Una vez colocadas las lombrices, se procedió a agregar la primera capa de material de alimento y los correspondientes aditivos previamente cortados y triturados en pequeñas cantidades. Finalmente, se añadió un poco de tierra y se aplicó bastante agua para tapar los residuos para poder evitar la aparición de insectos y malos olores. De igual forma, esto permite una degradación más rápida de dichos residuos. Este procedimiento se ejecutó de la misma manera para los cuatro experimentos.

La segunda capa de alimento se agregó a los 15 días de haber realizado la primera, con el fin de añadir pequeñas cantidades para la adaptación de las lombrices y no sobrecargar su hábitat; debido a que un exceso de alimento podría producir un ambiente perjudicial para las mismas, además de generar malos olores.¹³¹ La distribución del alimento y aditivos se realizó de la siguiente manera.

¹³¹ TODO HUERTO Y JARDÍN. Guía para realizar vermicompostaje doméstico. [Consultado el 10 de Octubre del 2018] Disponible en: <https://www.todohuertoyjardin.es/blog/guia-para-realizar-vermicompost>

Tabla 13. Distribución del material por tratamiento.

Tratamientos	Ensayos	Contenidos
1 (Restos de maíz)	1A-1B	RSO; lombrices; lecho o baje; restos de maíz
2 (Estiércol de bovino)	2A-2B	RSO; lombrices; lecho o baje; estiércol de bovino

Fuente: Elaboración propia

Las capas de material añadido dentro de la compostera, y en el orden realizado, se muestran en la Figura 7.

Figura 7. Montaje del contenido de la compostera.



Fuente: SOS PLANETA. El cuidado del planeta. [Consultado el 20 de Octubre del 2018] Disponible en: <http://ayudaplanetaya.blogspot.com/>

El montaje de los ensayos de vermicompostaje, cada uno con sus respectivas réplicas (B), a nivel de campo, se muestra a continuación (ver Imagen 9 e Imagen 10).

Imagen 9. Montaje de los ensayos de vermicompostaje



Fuente: Elaboración propia

Imagen 10. Lombrices ingresadas.



Fuente: Elaboración propia

3.8 MONITOREO DE TEMPERATURA, HUMEDAD Y PH

Para alcanzar y seguir las condiciones óptimas de operación, se monitoreó semanalmente la temperatura, humedad y pH, específicamente. Para esto, se asignó dicho trabajo a un encargado de la planta, brindándole todas las instrucciones necesarias.

3.8.1 Temperatura. Es uno de los factores más importantes a la hora de hablar de la reproducción de las lombrices ya que deben estar en un rango determinado, esto

relacionado a su fecundidad, metabolismo y la duración de su desarrollo¹³². El rango ideal de temperatura en vermicompostaje es 20°C – 30°C. Para comenzar, se tomaron unas temperaturas iniciales de los dos experimentos incluyendo su réplica, se midió con el “termómetro infrarrojo”, que tiene un rango de temperaturas desde (-50°C – 650°C)¹³³. Estas tomas de temperatura se estuvieron haciendo cada semana durante las diez semanas que duró el experimento, de este modo se determinó la fase en la que se encontraba el sistema. Para esto, se diseñó un formato que incluía el número de semana, experimento y resultado con el fin de ir registrando cada dato tomado semanalmente.

3.8.2 Humedad. Es uno de los factores esenciales para que la reproducción sea satisfactoria debido a que la respiración de las lombrices es cutánea, es decir, a través de la piel, y para que puedan respirar, debe haber una correcta proporción de aire y de agua en el compostador. Además, es necesario para el desarrollo de sus procesos metabólicos y funcionales. Por esto, la humedad debe estar dentro de un rango de 80-90%¹³⁴. Para el control de humedad, se procedió a realizar la técnica “la prueba de puño”, la cual consiste en agarrar una cantidad de sustrato con el puño de una mano, luego a esto se le aplica fuerza. Finalmente, con esto se quiere llegar a que si sale unas 8 o 10 gotas significa que la muestra está muy húmeda (>90%), ya que debe estar alrededor de 4 a 5 gotas para obtener la humedad adecuada (80-90%). Sí al abrir la mano la mezcla se desmorona, significa que está muy seca (60-80) y necesita ser humedecida. Para el control de ésta, también se diseñó un formato donde podría registrarse el dato a la hora de su medida, realizándolo semanalmente para cada experimento.

Imagen 11. Medición de la humedad.



Fuente: Elaboración propia

¹³² ROMÁN Pilar, MARTÍNEZ María, PANTOJA Alberto. Manual de compostaje del agricultor. Chile. 2013. p.68 [Consultado el 30 de septiembre del 2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

¹³³ *Ibid.*, p.70

¹³⁴ *Ibid.*,

3.8.3 pH. Es un factor también muy esencial, ya que las lombrices para poder sobrevivir tienen que mantenerse en un pH neutro. Entre más cercano a 7 se encuentre este valor, existen mejores condiciones para poder subsistir, debido a que, si se encuentra un pH muy ácido (debajo de 4.5), se puede generar la muerte del animal. Para esta medición, se usaron indicadores de pH, (ver Imagen 12), se tomó un poco de muestra y se disolvió un poco de agua, hasta que la muestra absorbiera por completo el líquido. A continuación, se tomó un papel indicador y se sumergió dentro de la muestra y para de esta manera arrojar el resultado según la tabla de colores de pH. En caso de que se deba neutralizar, las cascavas de huevo son buenas ya que aportan cal y esto hace que se neutralice el ácido.¹³⁵

Imagen 12. Instrumento de medición del pH.



Fuente: Elaboración propia

3.9 PLAN DE HIGIENIZACIÓN EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE

El proceso de higienización empieza en la fase termófila, donde se destruye cualquier tipo de microorganismo patógeno o semilla de malas hierbas. Esta eliminación, se puede hacer tanto mecánica como manual, donde se retiran los impropios de mayor tamaño, con el fin de prevenir el crecimiento de patógenos, destruir los que hay presentes y producir un producto final sin ningún tipo de contaminante¹³⁶.

Para poder lograr esto, se requiere un control de parámetros específicos, como lo es principalmente la temperatura. Este parámetro, se encarga de que todos los posibles contaminantes que contenga la materia orgánica sean eliminados, solo si

¹³⁵ *Ibíd.*,

¹³⁶ BARRENA Raquel. Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Barcelona, España. 2006. [Consultado el 30 de septiembre del 2018] Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5307/rbg1de1.pdf>

alcanza el rango de temperatura que necesita la fase. En esta intervienen bacterias que emiten calor en la descomposición de la materia orgánica¹³⁷.

Todo esto se realiza con el objetivo de obtener un sustrato bien aireado y poroso, lo cual permita el movimiento de las lombrices, buena aireación y el drenaje del agua. Por último, se requiere un lavado de los residuos a compostar, debido a que pueden tener efectos inhibitorios en la reproducción de las lombrices. Así mismo, el agua para humedecer el proceso debe ser de pozo o bien hervida, para evitar cualquier tipo de contaminante hacia el proceso¹³⁸.

3.10 FINALIZACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE

Para la etapa de finalización del proceso, se verifica que ya no se pueda distinguir ningún tipo de material orgánico que le dieron origen al proceso. El compost se debe encontrar frío, debido a la falta de actividad microbiana se puede usar como indicador de finalización el color del compost a marrón o negro azabache y por la similitud del olor a suelo o tierra húmeda¹³⁹. Además, comprobar que la temperatura haya dejado de subir, y al realizarse la prueba de humedad, no debe presentar un exceso de humedad¹⁴⁰.

Por otro lado, para la recuperación de las lombrices del sistema, se añadió una porción de alimento o cebo en la superficie del compostador de cada experimento, para atraer el mayor número de estas, y así facilitar su extracción. Luego, se retiró una pequeña capa superficial de este humus de lombriz contaminado con el alimento añadido no descompuesto, para llevar el humus limpio y maduro a su etapa final de secado y tamizado.

3.11 TAMIZADO DEL COMPOST

Una vez retirada la mayor parte de la población de lombrices, se procede a tamizar el humus o Vermicompost inmediatamente. Para la realización de esta tarea, es primordial reducir la humedad hasta un 30%, para garantizar su calidad microbiológica. Esto se realiza ya que, si existen contenidos más bajos, se puede

¹³⁷ LA AVENTURA DE APRENDER. Como hacer una unidad de compostaje. [Consultado el 1 de octubre del 2018] Disponible en: http://laaventuradeaprender.educalab.es/documents/10184/76301/Guia-LADA_Como-hacer-una-unidad-de-compostaje.pdf

¹³⁸ FAU, UNIVERSIDAD DE CHILE. Sistema de reciclaje orgánico vegetal para el interior del hogar a través del vermicompostaje. 2014. [Consultado el 1 e octubre del 2018] Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/130538/vermiz-sistema-de-reciclaje-organico-vegetal-para-el-interior-del-hogar-a-traves-del-vermicompostaje.pdf;sequence=1>

¹³⁹ AGENCIA DE DESARROLLO Y COMERCIO EXTERIOR. Guía de lombricultura. 2002. [Consultado el 1 de octubre del 2018] Disponible en: <http://www.biblioteca.org.ar/libros/88761.pdf>

¹⁴⁰ ROMÁN Pilar, MARTÍNEZ María, PANTOJA Alberto. Manual de compostaje del agricultor. Chile. 2013. p.57 [Consultado el 1 de octubre del 2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

reducir la supervivencia de los microorganismos benéficos y llega a ser complicada su rehidratación¹⁴¹. Para la realización del tamizado, se usó un tamiz o una zaranda donde sus orificios no son mayor a 1cm.

En primer lugar, se recogió el Vermicompost y se llevó a un área de secado sobre un plástico, con el fin de reducir su humedad hasta un 30%. Luego se realizó el tamizado mediante un Zarandeo. En seguida, se procedió a empacar para luego ser almacenado. Esto es necesario empacarlo en doble empaque para que no pierda humedad, realizándolo en lugares secos, ventilados y al resguardo de sol o lluvias, preferiblemente encima de estibas, para que no esté en contacto directo sobre el suelo favoreciendo la ventilación. Se debe disponer de empaques que permitan un intercambio gaseoso del compost sin que se vea aumentada su deshidratación.

Imagen 13. Tamizado del Vermicompost obtenido.



Fuente: Elaboración propia

3.12 TOMA DE MUESTRAS DE ABONO PARA LABORATORIO

Para el análisis fisicoquímico del Vermicompost, se tomaron en cuenta los parámetros más influyentes en el mismo, regidos por la norma NTC 5167. Para esto, se tomaron dos muestras con cantidades de 1 kg cada una, organizadas de la siguiente manera:

- Muestra 1: Abono orgánico de lombriz con tratamiento 1.
- Muestra 2: Abono orgánico de lombriz con tratamiento 2.

Estas muestras se empacaron en bolsas transparentes no contaminadas y loteadas para su posible análisis.

¹⁴¹ *Ibíd.*,

3.13 RENDIMIENTO DEL ABONO ORGÁNICO PRODUCIDO

Para determinar el rendimiento de cada uno de los tratamientos de Vermicompostaje, se tuvieron en cuenta las cantidades iniciales totales ingresadas y las cantidades finales totales pesadas después de los 70 días del proceso. A continuación, se muestran los porcentajes obtenidos.

Tabla 14. Rendimiento del abono orgánico obtenido por cada tratamiento.

Tratamiento	Cantidad inicial (kg)	Cantidad final (kg)	Rendimiento (%)
1 (A,B)	12,2	7,8	63,93
2 (A,B)	11,6	7	60

Fuente: Elaboración propia

A partir de los rendimientos presentados en la Tabla 14, se concluye que el mejor rendimiento es el del tratamiento 1 (restos de maíz), con un valor del 63,93%. Sin embargo, se observa poca diferencia (alrededor de 4%), en el rendimiento de estos dos tratamientos, lo que indica que se deben analizar otros parámetros para tomar una decisión más acertada. Por último, es importante resaltar que los rendimientos obtenidos, reflejan la alta eficiencia del proceso, con pocas pérdidas por lixiviados o liberación del nitrógeno en forma de amoníaco.

3.14 RESULTADOS DEL DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.14.1 Fase de campo. A continuación, se presentan los datos obtenidos del control de temperatura, humedad y pH, durante las diez (10) semanas que duró el experimento de elaboración del Vermicompost. Para cada variable (temperatura, humedad y pH) se mostrará la respectiva tabla de control, acompañado de una gráfica del comportamiento presentado, donde se observarán aquellos valores fuera del rango óptimo. Seguido a esto, se realizarán pruebas de hipótesis de “t” de Student, de dos colas, con un grado de significancia de 5% (0,05), según las siguientes pautas:

• Hipótesis nula:
 $H_0: \bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 0$

• Hipótesis alternativa:
 $H_A: \bar{x}_1 - \bar{x}_2 \neq 0$

Por último, se determinará si hay diferencia significativa entre las muestras de cada tratamiento. Se contrastará 1A con 1B y 2A con 2B. Se establecerá si hay diferencia significativa entre las dos muestras, del tratamiento 1 y el tratamiento 2 de Vermicompost enviadas al laboratorio. A continuación, se escogieron las muestras 1A del tratamiento 1 y la muestra 2A del tratamiento 2.

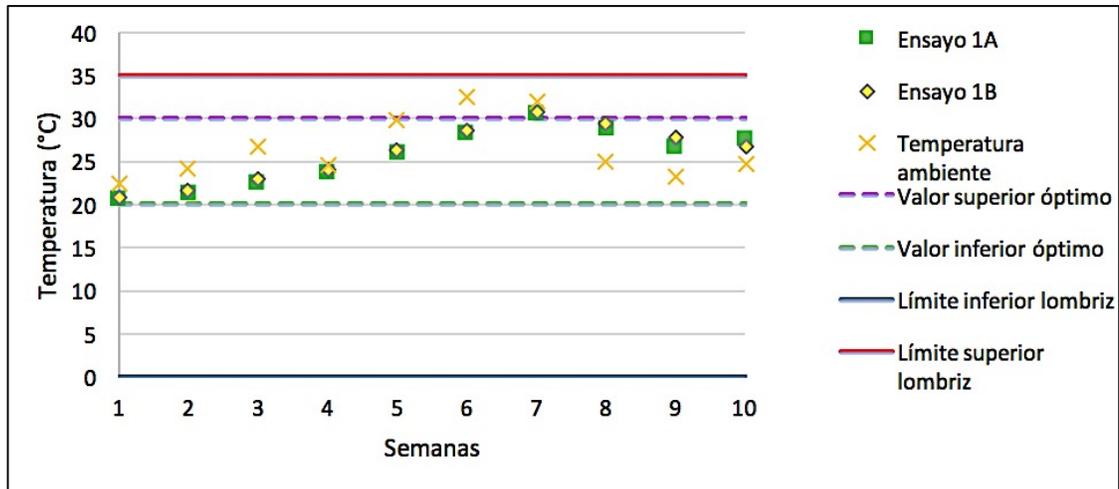
3.14.1.1 Temperatura.

Tabla 15. Formato de registro de tomas de temperatura semanal.

Semana	Fecha	Tratamiento 1		Tratamiento 2	
		1A	1B	2A	2B
1	Agosto 13	20,7	20,9	20,8	21
2	Agosto 22	21,4	21,7	21,9	22,1
3	Agosto 27	22,5	22,9	22,7	23
4	Septiembre 5	23,7	24	24,2	24,5
5	Septiembre 13	26	26,3	26,9	27
6	Septiembre 18	28,3	28,5	29	29,4
7	Septiembre 28	30,6	30,8	31,1	31,6
8	Octubre 2	28,9	29,3	29,9	30,2
9	Octubre 9	26,7	27,8	27,9	28
10	Octubre 19	27,6	26,7	26,8	26,9

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 6. Comportamiento de la temperatura en el tratamiento 1, con restos de maíz.

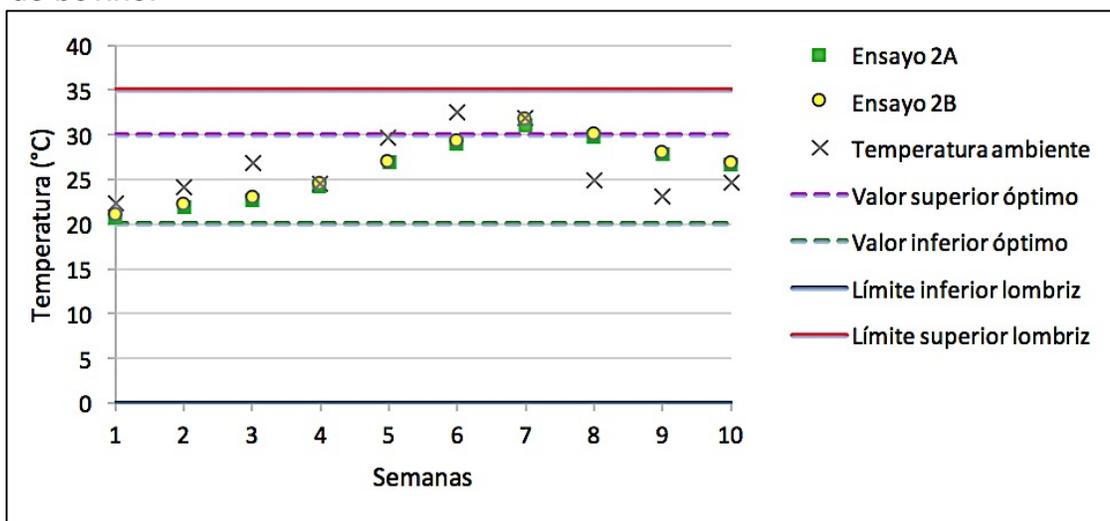


Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la Tabla 15 y en la Gráfica 6, que los valores del ensayo 1A y 1B presentan un comportamiento similar de temperatura durante las 10 semanas del compostaje. Sin embargo, el ensayo 1B logra tener temperaturas un poco mayores a las del ensayo 1A. Con respecto a los valores óptimos del sistema, en la semana 7 (etapa termófila), se muestra una leve desviación de los valores fuera del límite superior. Esto puede deberse a las afectaciones presentadas debido a la variabilidad de la temperatura del ambiente, por valores muy elevados.

Adicionalmente, pueden estar relacionadas con la disminución del contenido de humedad en el material compostable; al existir sequías en el sistema, se eleva la temperatura¹⁴². En tal caso, es necesario realizar un riego en el sistema, para lograr situar los valores de temperatura dentro del rango recomendado. Finalmente, en las semanas 9 y 10 (etapa de maduración), se logra ver un acercamiento a la temperatura óptima del vermicompostaje (25°C), debido al inicio de la etapa de maduración donde la temperatura del sistema se empieza a regular hasta lograr la maduración del humus de lombriz. Para lo cual el ensayo 1B mostró una mayor proximidad a este valor óptimo.

Gráfica 7. Comportamiento de la temperatura en el tratamiento 2, con estiércol de bovino.



Fuente: Elaboración propia

Para el tratamiento con estiércol de bovino (ver Gráfica 7), el comportamiento de la temperatura mostró desviación por encima del valor superior óptimo (30°C), con respecto al aditivo de restos de maíz, debido su poder calorífico que provoca un aumento de la temperatura del sistema; además de las afectaciones presentadas por el no control del contenido de humedad, como se discutió anteriormente. También, se observó que el ensayo 2A y 2B lograron estar a temperaturas casi iguales durante las 10 semanas; incluso al final del proceso. Sin embargo, se observó una mayor aproximación a los límites superiores de temperatura de la lombriz, a comparación con el tratamiento de restos de maíz, lo que indica una desventaja para la producción del humus de lombriz, ya que retrasa su tiempo de maduración al no estabilizarse rápidamente.

¹⁴² BUENO Pedro, DÍAZ Manuel Jesús y CABRERA Fransisco. Factores que afectan el proceso de compostaje. [Consultado el 30 de septiembre de 2018] Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>

- **Pruebas de hipótesis entre los tratamientos 1A y 2A:**

De acuerdo con el comportamiento obtenido en la Gráfica 6 y Gráfica 7, se determinó que los tratamientos entre los ensayos presentaban valores muy similares; para lo cual, resulta indistinto tomar cualquier ensayo (A, B) para la comparación entre los tratamientos 1 y 2.

Tabla 16. Análisis “t-student” a través de hipótesis entre la muestra 1A y 2A con respecto a la temperatura.

Temperatura		
Estadísticos muestrales	Tratamiento 1	Tratamiento 2
Media	25,64	26,12
Varianza	11,489	12,568
Diferencia hipotética de las medias	0	
Estadístico t	-0,3095	
P(T<=t) una cola	0,3803	
Valor crítico de t (un cola)	1,7341	
P(T<=t) dos colas	0,7605	
Valor crítico de t (dos colas)	2,1009	

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la Tabla 16, las muestras 1A y 2A no presentan diferencias estadísticamente significativas, debido a que el valor crítico de “t” (dos colas) es mayor que el estadístico “t”; por tanto, se concluye que no existe diferencia significativa entre el tratamiento 1 y el tratamiento 2, en lo que respecta a la temperatura.

$$|2,100922037| > |-0,309466386|$$

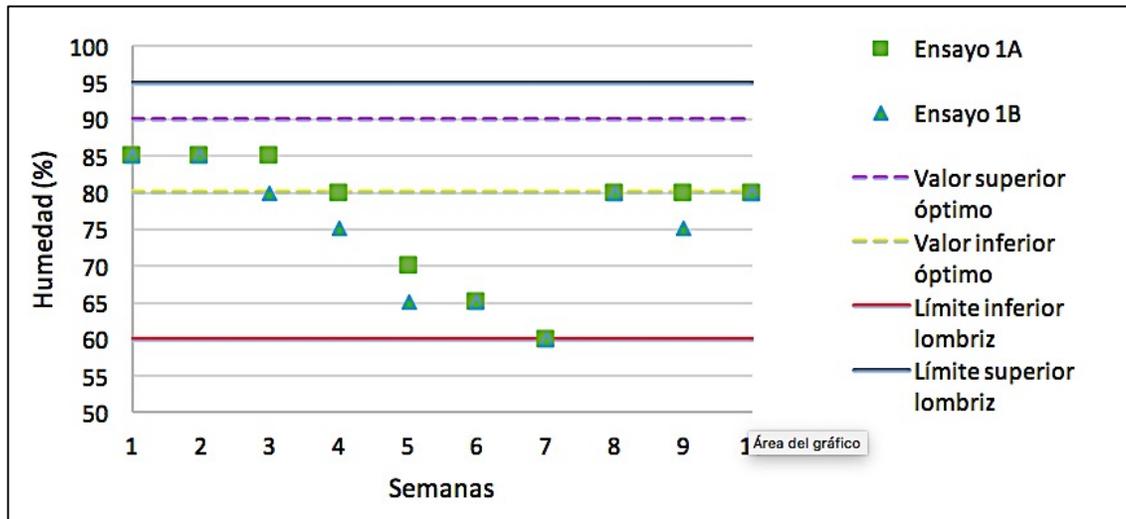
3.14.1.2 Humedad.

Tabla 17. Formato de registro de tomas del contenido de humedad semanal.

Semana	Fecha	Tratamiento 1		Tratamiento 2	
		1A	1B	2A	2B
1	Agosto 13	85	85	85	85
2	Agosto 22	85	85	85	80
3	Agosto 27	85	80	75	70
4	Septiembre 5	80	75	70	65
5	Septiembre 13	70	65	60	60
6	Septiembre 18	65	65	65	60
7	Septiembre 28	60	60	60	60
8	Octubre 2	80	80	75	70
9	Octubre 9	80	75	75	75
10	Octubre 19	80	80	75	75

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 8. Comportamiento de la humedad en el tratamiento 1, con restos de maíz.

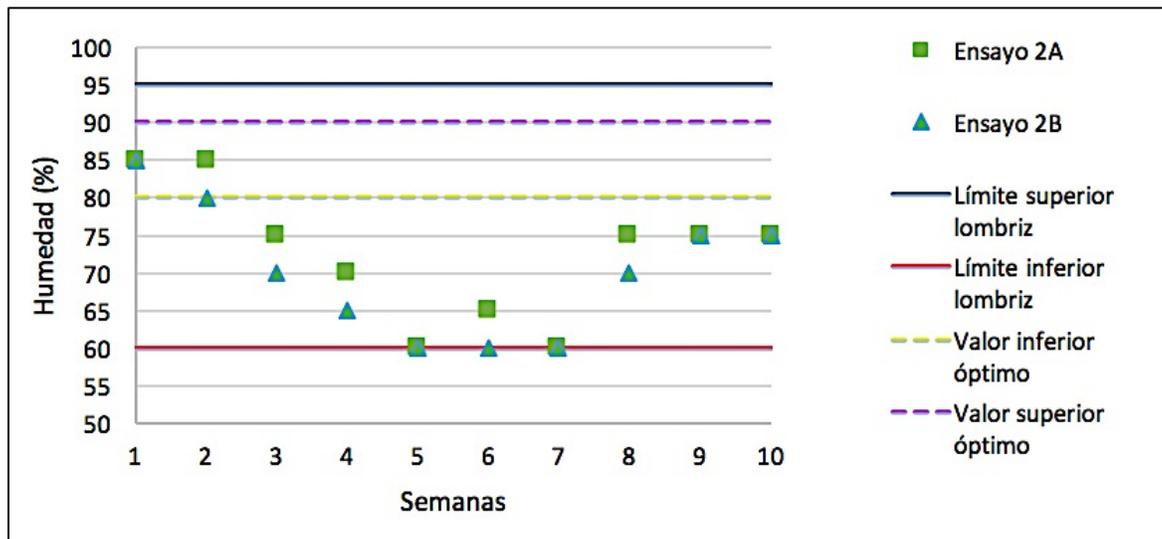


Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la Gráfica 8, los valores del porcentaje de humedad no se encontraron durante todo el proceso, dentro del rango óptimo (80-90%), presentándose un descenso en las primeras semanas; incluso durante las semanas 5, 6 y 7, se obtuvieron valores críticos, lejos del valor inferior ideal. Esto se debe a que durante algunas semanas se presentaron fuertes corrientes de viento que incidieron de forma lateral, en el lugar de compostaje, provocando una alta

disminución en el contenido de humedad. De acuerdo con las afectaciones durante estas semanas, se ejecutó el procedimiento de riego; generando nuevamente un aumento de la humedad en las siguientes semanas, con la finalidad de alcanzar las condiciones óptimas requeridas por las lombrices, y no superar sus límites de supervivencia (60-90%). Adicional a esto, se muestra que el ensayo 1A alcanzó valores más cercanos al rango óptimo que el ensayo 1B. Sin embargo, sus variaciones son poco significativas.

Gráfica 9. Comportamiento de la humedad en el tratamiento 2, con estiércol de bovino.



Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, el tratamiento con estiércol de bovino presentó valores de humedad lejanos al rango óptimo desde la semana 3 hasta la finalización del proceso; siendo los valores más críticos de la semana 5 a 7. Esto puede deberse al aumento de la temperatura durante esas semanas, como se discutió anteriormente; los fuertes vientos presentados; y sumado a esto, la rápida absorción de la humedad por parte del aditivo, ya que se trata de un estiércol seco o reposado, lo que no favorece la humedad en el sistema. Sin embargo, su comportamiento no traspasó los límites de la lombriz, esto indica que, aunque se presentaron dificultades por sequías, se logró mantener el sistema dentro del rango limitante.

- Prueba de hipótesis entre los tratamientos 1A y 2A:

De acuerdo con el comportamiento obtenido en la Gráfica 8 y Gráfica 9, se determinó que los tratamientos entre los ensayos presentaban valores muy similares; para lo cual, resulta indistinto tomar cualquier ensayo (A, B) para la comparación entre los tratamientos 1 y 2 (ver Tabla 18).

Tabla 18. Análisis “t-student” a través de hipótesis entre la muestra 1A y 2A con respecto a la humedad.

Estadísticos muestrales	Humedad	
	Tratamiento 1	Tratamiento 2
Media	77	72,5
Estadístico t		1,13
P(T<=t) una cola		0,14
Valor crítico de t (un cola)		1,73
P(T<=t) dos colas		0,27
Valor crítico de t (dos colas)		2,1

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a la Tabla 18, las muestras 1A y 2A no presentan diferencias estadísticamente significativas, debido a que el valor crítico de “t” (dos colas) es mayor que el estadístico “t”; por tanto, se concluye que no existe diferencia significativa entre el tratamiento 1 y el tratamiento 2, con respecto a la humedad.

$$|2,10092203| > |1,1318988|$$

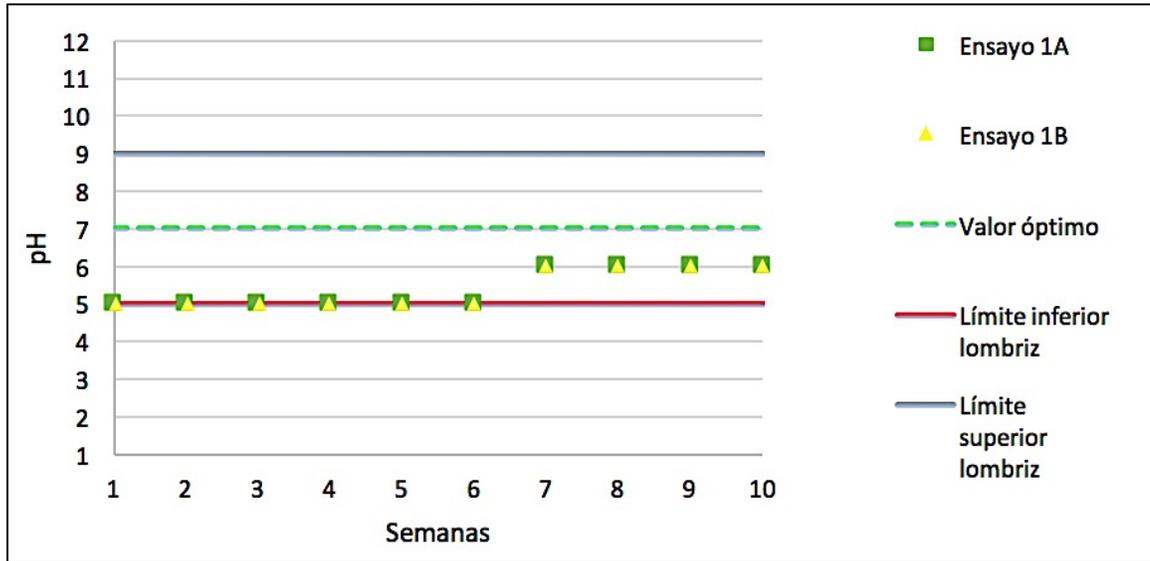
3.14.1.3 pH

Tabla 19. Formato de registro de tomas pH semanal.

Semana	Fecha	Monitoreo del pH			
		Tratamiento 1		Tratamiento 2	
		1A	1B	2A	2B
1	Agosto 13	5	5	5	5
2	Agosto 22	5	5	5	5
3	Agosto 27	5	5	5	5
4	Septiembre 5	5	5	5	5
5	Septiembre 13	5	5	6	6
6	Septiembre 18	5	5	6	6
7	Septiembre 28	6	6	6	6
8	Octubre 2	6	6	6	6
9	Octubre 9	6	6	6	6
10	Octubre 19	6	6	7	6

Fuente: Elaboración propia

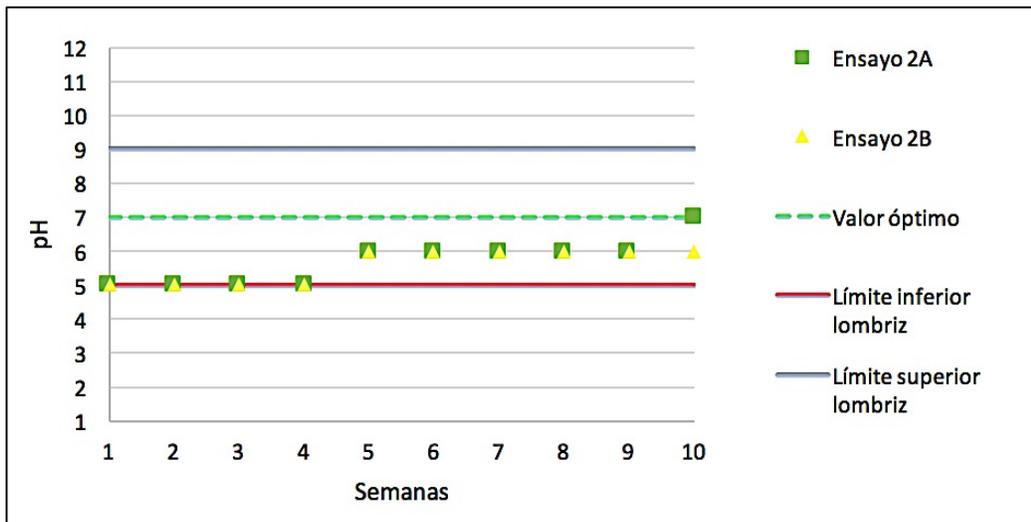
Gráfica 10. Comportamiento del pH en el tratamiento 1, con restos de maíz.



Fuente: Elaboración propia

En la Gráfica 10, se observa el comportamiento del pH para el tratamiento con restos de maíz, donde los ensayos tienen un comportamiento muy similar, debido a su mismo contenido de material. Además, se muestran valores conflictivos de acidez durante las primeras semanas, ubicándose sobre el límite inferior de la lombriz, debido al alto contenido de RSO cítricos. Sin embargo, a partir de la semana 7 ocurre un incremento del pH, manteniendo un mayor acercamiento al valor óptimo para la finalización del proceso (6); generalmente, esto se presenta por aumentos en el contenido de humedad.

Gráfica 11. Comportamiento del pH en el tratamiento 2, con estiércol de bovino



Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, el tratamiento con estiércol de bovino logró una regulación del pH en menor tiempo a comparación del tratamiento con restos de maíz; esto puede deberse a la composición de los aditivos. El estiércol de bovino reposado o seco presenta menores índices de acidez¹⁴³ que los restos de maíz, por su capacidad de retención del contenido de agua. Cabe aclarar que entre los ensayos del tratamiento 2, el mejor comportamiento lo presentó el 2A al alcanzar el valor óptimo de pH al inicio de la etapa de maduración; lo que puede deberse a su buen comportamiento de la humedad como se muestra en la Gráfica 11.

- Prueba de hipótesis entre los tratamientos 1A y 2A:

De acuerdo con el comportamiento obtenido en la Gráfica 10 y Gráfica 11, se determinó que los tratamientos entre los ensayos presentaban valores muy similares; para lo cual, resulta indistinto tomar cualquier ensayo (A, B) para la comparación entre los tratamientos 1 y 2 (ver Tabla 20).

Tabla 20. Análisis “t-student” a través de hipótesis entre la muestra 1A y 2A con respecto al pH.

Estadísticos muestrales	pH	
	Tratamiento 1	Tratamiento 2
Media	5,4	5,6
Estadístico t		-0,87
P(T<=t) una cola		0,20
Valor crítico de t (un cola)		1,73
P(T<=t) dos colas		0,40
Valor crítico de t (dos colas)		2,1

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 20, las muestras 1A y 2A no presentan diferencias estadísticamente significativas, debido a que el valor crítico de “t” (dos colas) es mayor que el estadístico “t”; por tanto, se concluye que no existe diferencia significativa entre el tratamiento 1 y el tratamiento 2, con respecto al pH.

$$|2,1009220| > |-0,86602540|$$

¹⁴³BIBLIOTECA DEL CAMPO. Composición de los estiércoles. [Consultado el 10 de octubre del 2018] Disponible en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6633/7/053.7.pdf>

3.14.2 Fase de laboratorio.

3.14.2.1 Análisis de la caracterización fisicoquímica del abono orgánico. Para el análisis fisicoquímico del vermicompost, se tomaron en cuenta los parámetros sugeridos por la Norma Técnica Colombiana 5167¹⁴⁴. A continuación, se presentan los análisis de los resultados obtenidos por cada parámetro.

Tabla 21. Prueba de laboratorio.

Parámetro	Unidad	Tratamiento 1	Tratamiento 2	NTC 5167
Humedad Natural	%	54,9	58,1	Máximo 20-35
pH		5,91	6,14	> 5.0
Carbono Orgánico Total	%	5,6	5,59	> 15
Nitrógeno Total	%	0,483	0,482	< 1.0
Relación C/N	p:p	11,579	11,612	-
Materia Orgánica	%	5,6	5,59	-
Densidad aparente	g/cm ³	0,849	0,878	Máximo 0.6
Fósforo (P)	mg/kg ss	2,05	1,99	< 1.0
Potasio (K)	cmol(+)/kg	4,96	3,93	< 1.0
Calcio (Ca)	cmol(+)/kg	9,01	8,86	-
Magnesio (Mg)	cmol(+)/kg	3,689	3,398	-
Sodio (Na)	cmol(+)/kg	0,97	0,971	-
Cenizas	%	56,5	56,2	Máximo 60
Conductividad eléctrica	mmhos/cm	2,1	2,2	-

Fuente: Elaboración propia basada en Anexo E de Laboratorio ChemiLab.

- % Humedad: Este parámetro permite determinar la cantidad de contenido de agua que presenta la muestra. Realizando una comparación entre los resultados diagnosticados y los obtenidos, se observó que el contenido de humedad en las muestras 1 y 2 disminuyó notablemente. Para la muestra 1 (54,9%), se obtuvo un porcentaje de humedad menor al de la muestra 2 (58,1%), siendo un poco mayor para el tratamiento con estiércol de bovino que para tratamiento con restos de maíz. Según la normatividad, la cual exige un máximo de 35% de humedad, no se cumpliría. Esto se debe a que durante el proceso resultó necesaria la adición de una mayor cantidad de agua al sustrato para mejorar el contenido de humedad requerido para el desempeño de las lombrices. Además, el contenido de humedad puede variar según la temperatura ambiente, por lo que los periodos de lluvias intermitentes, presentados durante las últimas semanas (mitad de la etapa de maduración), con bajas temperaturas, aumentaron este parámetro afectando el resultado deseado para el Vermicompost.
- pH: El Vermicompost obtenido del tratamiento 1 y 2 cumplen con el límite establecido por la norma: para el tratamiento 1, se tuvo un valor de 5,91 y para el tratamiento 2 un valor de 6,14. Sin embargo, los valores finales no varían mucho con respecto al sustrato inicial (5,16). Esta disminuida evolución del potencial de hidrógeno durante el proceso puede deberse a la actividad

¹⁴⁴ NCT 5167. Productos para la industria agrícola, productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. [Consultada el 10 de octubre del 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/138627365/NTC-5167-Apartes1-1-Norma-Para-Abonos-Organicos-y-Fertilizantes>

microbiológica y a la acidificación del medio por los ROU dispuestos en el sistema. Lo anterior indica que, este vermicompost es favorable para la aplicación en suelos alcalinos.

- **Carbono Orgánico Total:** Este parámetro tiene un efecto positivo en los suelos como la disminución en la tasa de erosión, además de mantener la biodiversidad de los microorganismos al ser fuente de energía para estos. En cuanto a los dos tratamientos, ninguno cumple con el valor exigido por la norma, esto se debe a que los bajos valores de la relación C/N inicial, hacen que el carbono orgánico se transforme y se libere a la atmósfera en forma de CO₂ por la acción microbiana.¹⁴⁵ Sin embargo, el tratamiento 2 se encuentra más cerca al mínimo requerido por la norma a comparación del tratamiento 1. Esto se debe a que se adicionó una mayor cantidad de aditivo de estiércol de bovino que de restos de maíz, como fuente de carbono.
- **Nitrógeno Total:** Este macronutriente es de gran importancia en los suelos, cultivos y cuerpos de agua, gracias a que contribuye a la formación de proteínas, facilitado el crecimiento de componentes celulares y nuevas células y mejorando la calidad del vermicompost¹⁴⁶. El contenido de nitrógeno total en los dos tratamientos no presentó una diferencia significativa; sin embargo, se ubicaron dentro de la norma establecida para vermicompost maduro. Lo anterior, refleja un buen comportamiento durante el proceso, sin pérdidas en lixiviados, ni liberación al medio en forma de amoníaco. Por último, es importante señalar que el tratamiento con estiércol de bovino resultó ser un poco más próximo al valor exigido por la norma.
- **Relación C/N:** Aunque la norma no exige un valor límite, el valor recomendado para vermicompost maduro está dentro del rango de 10-15¹⁴⁷. Para lo cual, los dos tratamientos lograron cumplir con el rango recomendado, siendo mayor para el tratamiento 2 (11,61), que para el tratamiento 1 (11,57), esto puede deberse a la alimentación de las lombrices. Esto muestra que el vermicompost con cualquiera de los dos tratamientos logra ser de calidad para su venta. Sin

¹⁴⁵ CASTRO, Gustavo, DAZA Martha, MARMOLEJO Luis. Evaluación de la adecuación de humedad en el compostaje de biorresiduos de origen municipal en la Planta de Manejo de Residuos Sólidos del municipio de Versalles, Valle del Cauca. Colombia. 2016. p.186. [Consultado el 10 de octubre del 2018] Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/65483/1/53672-297646-1-PB.pdf>

¹⁴⁶ HANNA INSTRUMENTS. Determinación de nitrógeno total. Colombia. [Consultado el 12 de octubre de 2018] Disponible en: <https://www.hannacolombia.com/blog/post/85/determinacion-nitrogeno-total-kjeldahl>

¹⁴⁷ UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Efecto de la aplicación de un vermicompost en las propiedades químicas de un suelo salino-sódico del semiárido venezolano. 2015. [Consultado el 12 de octubre del 2018] Disponible en: https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/47115/55127

embargo, el tratamiento con estiércol logra ser un poco más beneficioso para su aplicación.

- **Densidad aparente:** La densidad aparente del material está relacionado con la capacidad de retención del agua y tamaño de partícula del material, para lo cual, al acercarse a la finalización del proceso de compostaje, se aumenta la densidad, y se disminuye en mayor proporción el tamaño de partícula, debido a la descomposición.¹⁴⁸ De acuerdo con lo anterior, se observa que tanto en el tratamiento 1, como el 2, no se cumple con el máximo exigido por la norma; esto puede deberse al tamaño de los aditivos proporcionados. Sin embargo, el valor más próximo a la norma lo obtuvo el tratamiento 1, siendo su masa añadida, mayor a la del estiércol, favoreciendo su densidad aparente en el vermicompost final.
- **Fósforo:** Es un macronutriente que contribuye a la transferencia de energía en procesos de fotosíntesis de las plantas; y proporciona resistencia a las plantas, cuando se presentan bajas temperaturas. Para lo cual, resulta indispensable para el análisis de la calidad del vermicompost. De esta manera, los tratamientos 1 y 2, presentan un leve aumento por encima de la norma establecida, siendo de 2,05 para el 1, y de 1,99 para el 2. Este leve exceso puede deberse a la alta presencia de materia orgánica y pH en el alimento añadido, dado que la primera durante el proceso de compostaje logra descomponerse liberando ácidos grasos que solubilizan el fósforo, y el pH provoca la neutralización de algunos elementos como el hierro y aluminio, generando la variación de este nutriente.
- **Potasio:** Es un nutriente fundamental para la activación de varias enzimas, protagonistas de procesos metabólicos en las plantas, como lo son la fotosíntesis, la síntesis de proteínas, y los carbohidratos; las cuáles permiten el buen crecimiento y desarrollo de cultivos y plantas. De acuerdo con la Tabla 21
- los tratamientos 1 y 2 se encuentran por encima del valor máximo exigido por la norma (1%), siendo más próximo el del tratamiento 2. Esto indica que las pérdidas de este elemento durante el desarrollo experimental fueron mínimas; y está relacionado con el contenido de humedad, ya que, al existir excesos de este parámetro, se logran altas pérdidas de este nutriente debido a su solubilidad con el agua. Por el contrario, el comportamiento en los dos tratamientos durante el proceso fue de contenido de humedad bajo y medio.

¹⁴⁸ NINCO CARDOZO, Cristhian Felipe, SANCHEZ GONZALEZ, Jennifer Johana. Propuesta para la producción de abono orgánico mediante el compostaje de los residuos sólidos del municipio del Rosal-Cundinamarca. Fundación Universidad de América, Bogotá, Colombia. 2017.

4. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PROCESO DE VERMICOMPOSTAJE

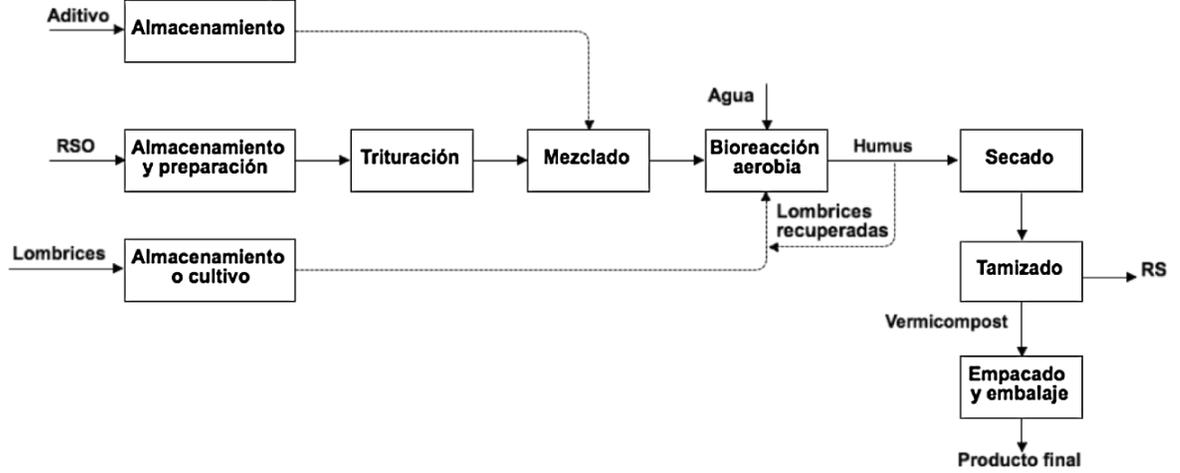
En este capítulo se establecieron los requerimientos técnicos de un prototipo, del proceso de vermicompostaje a escala industrial, con base en los resultados obtenidos del capítulo 2 “Diagnóstico de los Residuos Sólidos en Puerto Gaitán” y capítulo 3 “Desarrollo experimental”. Iniciando con la descripción del proceso; seguido del balance de materia; el dimensionamiento de la planta, basada en la disposición y ubicación de la empresa; la descripción de los elementos de protección; el proceso de recepción y análisis de los RSO; la adecuación de los RSO, por medio de la trituración; el ajuste de la relación C/N, mediante el mezclado con estiércol de bovino; los instrumentos para el control del proceso; la remoción del contenido de humedad a partir de un proceso de secado; la reducción del tamaño de partícula por medio del tamizado; y finalmente el empacado del producto final.

4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El proceso de vermicompostaje inicia cuando la empresa Plus Ambiente S.A.S. E.S.P. realiza la entrega de los RSO pesados, siendo la principal materia prima para la obtención del producto final. En seguida, se procede a su almacenamiento para el análisis inicial de los correspondientes parámetros con el objetivo de preparar el material a las condiciones óptimas de la lombriz roja californiana. A continuación, se ingresa el RSO al proceso de trituración para facilitar y acelerar la producción del humus de lombriz. Luego, se procede a realizar el ajuste de la relación C/N mediante el ingreso de la corriente de aditivo (estiércol de bovino), al mezclador con el RSO triturado.

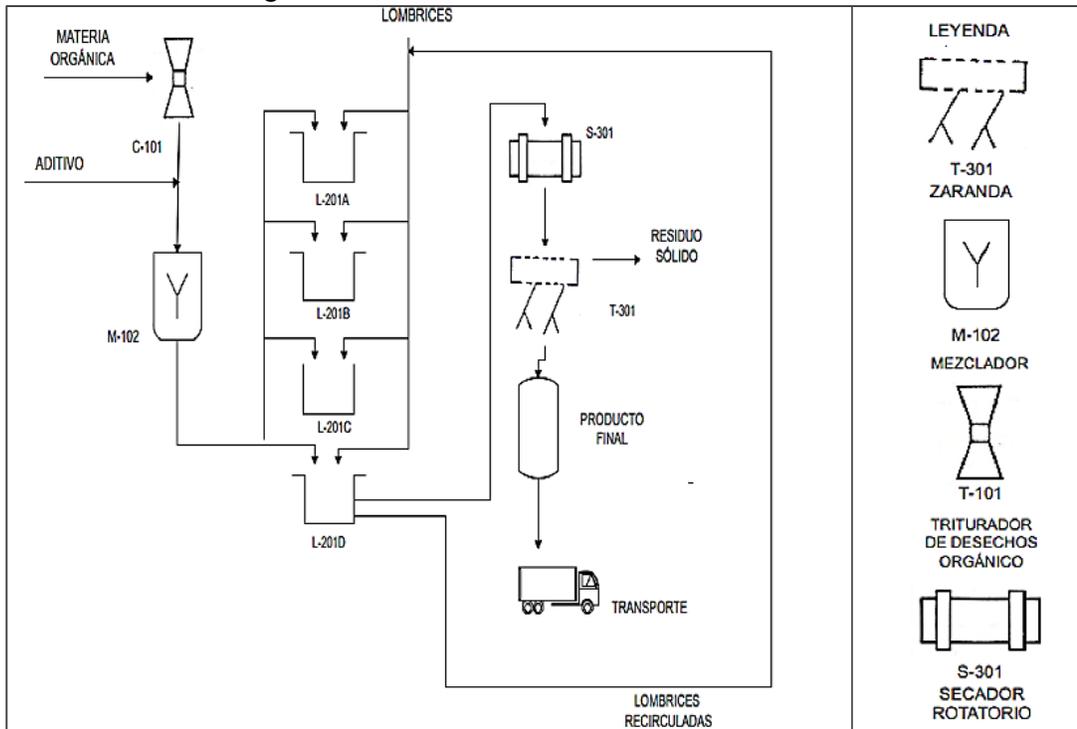
Posteriormente, se dispone de la mezcla en la cama o lecho previamente preparada, seguido de la adición de las lombrices y una pequeña capa de sustrato (tierra), para evitar la atracción de posibles microorganismos ajenos al sistema. Pasado el tiempo de compostaje, se obtiene el humus de lombriz con un alto contenido de humedad; del cual se extraen las lombrices recuperadas, para ser ingresadas a la corriente pura de lombrices. El humus obtenido ingresa al proceso de secado, hasta reducir su alto contenido de humedad; con el fin de efectuar, después, el proceso tamizado mediante un tamiz cerrado lo que determina un proceso eficiente. Del proceso de tamizado, sale por cimbras la corriente de desechos sólidos de mayor tamaño de partícula, y por fondos el vermicompost, con el tamaño exigido por la norma NTC5167 para enmiendas orgánicas. Finalmente, es empacado y rotulado para su venta. El proceso descrito se ilustra en el siguiente diagrama de bloques.

Ilustración 1. Diagrama de bloques del proceso de vermicompostaje.



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 2. Diagrama PFD.



Fuente: Elaboración propia

4.2 DIMENSIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTA DE COMPOSTAJE

De acuerdo con las cifras presentadas por el ICA¹⁴⁹, se propuso un porcentaje de recuperación de los residuos generados de un 5% a corto plazo, 10% a mediano plazo y 15% a largo plazo. A partir de esto, y la cantidad de RSO generados de la zona rural y urbana, se determinó a mediano plazo:

- Material total de ingreso estimado: 6.03 Ton/ día
- Configuración de camas: dos columnas de 10 camas cada una
- Tipo de reacción: biodigestión aerobia
- Dimensiones de las camas: 2m X 40m X 0,5m

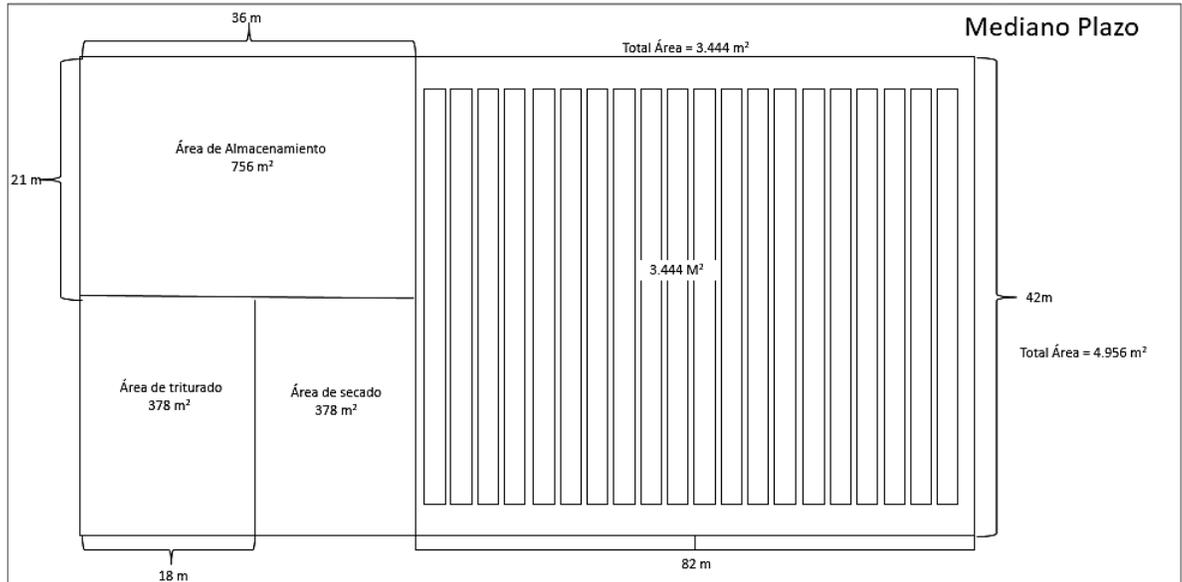
Los cálculos realizados para el dimensionamiento de las camas o compostadoras se presentan específicamente, en el anexo G.

El terreno se dividirá en cuatro zonas principalmente (Ilustración 3):

- Zona de almacenamiento: Es el lugar donde se realizará el almacenamiento y preparación del alimento, para su posterior aprovechamiento en camas. Para esta etapa del proceso se estimó un área de 756m², con base en la cantidad de alimento total que se especificó ingresar (ver anexo E).
- Zona de trituración y mezclado: Destinada para el proceso de adecuación de los RSO, para ser homogenizado con el aditivo; donde se ubicará la máquina de trituración y el mezclador. Consiste en un área cerrada y cubierta de 378m², con base en el área que ocupan las máquinas y los trabajadores para realizar la actividad cómodamente.
- Zona de secado y tamizado: Destinada para el proceso de reducción de la humedad, mediante un secador de sólidos, para posteriormente ser tamizado a la humedad requerida; y consiste en un área cerrada y cubierta de 378 m², con base el área que ocupa la máquina y trabajadores de dicha actividad.
- Zona de vermicompostaje: Destinada para el proceso de aprovechamiento de los RSO junto con el aditivo, lombrices, y lecho proporcionado. Se estima que esta zona ocupe un área de 3.444 m², teniendo en cuenta el área que ocupa cada cama, y el espacio libre que debe contemplarse, para facilitar la movilidad de los trabajadores con sus herramientas, entre cada una.

¹⁴⁹ ANDI, ASOCIACIÓN NACIONAL DE EMPRESARIOS DE COLOMBIA. Informe nacional de aprovechamiento. Colombia. 2016. [Consultado el 5 de noviembre del 2018] Disponible en: <http://www.andi.com.co/Uploads/22.%20Informa%20de%20Aprovechamiento%20187302.pdf>

Ilustración 3. Distribución de la planta.



Fuente: Elaboración propia

4.3 ELEMENTOS DE PROTECCIÓN PERSONAL

La protección personal de los trabajadores en el área laboral es indispensable para evitar los riesgos accidentales y enfermedades patógenas que se puedan presentar, ya que el proceso involucra el contacto directo con residuos orgánicos contaminados y microorganismos actores de la biorreacción. Además, mejora la calidad y el ambiente de seguridad del producto final. Los elementos más implementados en operaciones de vermicompostaje, se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22. Elementos de protección personal para vermicompostaje.

Elementos de protección personal	Operación
Botas de caucho	Recepción de los RSO, vermicompostaje, trituración, mezclado, secado, tamizado y empaçado
Botas tipo ingeniero caña alta	Caracterización de los RSO
Guantes anell de nitrilo	Recepción de los RSO
Guantes tipo ingeniero	Trituración, mezclado, secado, tamizado y empaçado
Guantes de nitrilo	Caracterización de los RSO
Mascarilla de vapores orgánicos	Recepción y caracterización de los RSO, trituración y vermicompostaje
Gafas de seguridad	Todas
Casco dieléctrico	Recepción de los RSO, trituración, mezclado, secado y tamizado
Protector auditivo	Trituración y tamizado
Pantalón y camisa de jean	Todas

Fuente: Elaboración propia basada en: MINSALUD. Elementos de protección personal. [Consultado el 12 de Noviembre del 2018] Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/Ministerio/Institucional/Procesos%20y%20procedimientos/GTHS02.pdf>

4.4 RECOLECCIÓN EN LA FUENTE

Con el fin de lograr el mayor aprovechamiento de los RSO del municipio y la rentabilidad del producto final, se deben hacer, junto con la empresa de servicios públicos “Perla Del Manacacias E.S.P.”, proyectos de concientización y educación ambiental a los habitantes. Estos lograrán permitir una adecuada separación de todos los RSU generados, en especial de los RSO; de tal forma que se puedan contemplar todos para el aprovechamiento. Se propone implementar actividades recreativas y la formación de grupos ambientales en redes sociales, haciendo publicidad al manejo de los residuos en centros públicos. Adicionalmente, situar puntos ecológicos de basuras por colores, para incentivar a la población a la separación. Por último, según los recursos que disponga la empresa Plus Ambiente S.A.S. E.S.P, hacer entrega de una bolsa (verde) por vivienda para la disposición de los RSO, con el objetivo de incrementar la cantidad de residuos orgánicos aprovechados y evitar pérdidas de mezclas con otros residuos.

4.5 RECEPCIÓN Y CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

En esta etapa inicial, se realiza la recepción de los RSO, previamente pesados, en el centro de acopio de la empresa Plus Ambiente S.A.S. E.S.P. Para este procedimiento, se asignarán dos obreros con la función de abrir las bolsas y transportar este material al área de compostaje. Adicionalmente, se asignará a un técnico químico para la toma de la muestra del RSO y la medición de los parámetros, como se desarrolló en el Capítulo 2 “Diagnóstico de los Residuos Sólidos en Puerto Gaitán”, para lograr un mayor control de la calidad del producto final durante el proceso.

4.6 ADECUACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS

Para la alimentación de las lombrices, es fundamental ingresar los RSO lo más reducido posible, para facilitar su ingestión y aumentar su espacio de desarrollo y trabajo, permitiendo su mayor movilidad. Todo esto, con el fin de satisfacer las condiciones de la lombriz y, por ende, acelerar la velocidad de descomposición y obtención del humus. Para este procedimiento, se requiere de una trituradora de desechos orgánicos que permita fragmentar el tamaño de los RSO entre 5-10 cm. Adicional a esto, se asignará un operario para el manejo de la máquina. La ficha técnica y cotización detallada del equipo se presenta en el anexo D.

Ilustración 4. Trituradora de residuos sólidos orgánicos BT5.

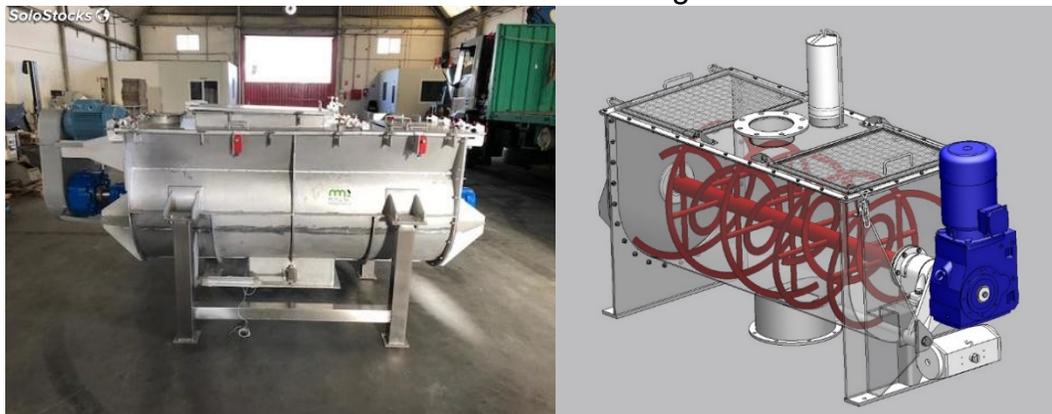


Fuente: COTIZACIÓN DE EQUIPOS
Anexo F. Equipos y Destrucciones
JV SAS

4.7 AJUSTE DE LA RELACIÓN CARBONO/NITRÓGENO

Seguido de realizar la caracterización física de los residuos sólidos orgánicos y la trituración los RSO, es necesario ajustar el parámetro Carbono/Nitrógeno ya que es uno de los más importantes para lograr la calidad del abono orgánico y su uso final. Esto debido a que si la relación se encuentra entre (20-30), como se explicó anteriormente, el producto logra ser destinado para aplicaciones agrícolas. Por tanto, se debe añadir un tipo de aditivo que logre equilibrar la relación durante el proceso de vermicompostaje. En el Capítulo 3 “Desarrollo experimental”, se determinó como aditivo el estiércol de bovino, gracias a su gran fuente de carbono (18-25), la cual puede aportar a los residuos orgánicos, y accesibilidad en el sector. Para ello, se disponen los residuos orgánicos, previamente triturados, y una cantidad específica de estiércol como aditivo, para posteriormente ser agregado a un homogeneizador donde el material se verá sometido a un proceso de agitación. Lo anteriormente mencionado, con el fin de poder facilitar el desarrollo del montaje del proceso y poder distribuir adecuadamente el material a compostar. A continuación, se describe el equipo en la Ilustración 5.

Ilustración 5. Mezclador de residuos sólidos orgánicos.



Fuente: BACHILLER BARCELONA. Tecnología de mezcla y secado.[Consultado el 18 de Noviembre del 2018] Disponible en: <http://www.bachiller.com/productos/equipos-de-proceso/procesado-de-solidos/mezcladores-de-solidos/mezclador-de-bandas.html>, <https://www.solostocks.com.ar/venta-productos/maquinaria-procesar-alimentos-bebidas/mezcladores/mezcladora-en-acero-inoxidable-german-gruber-capacidad-de-1-000-litros-6503267>

4.8 INSTRUMENTACIÓN PARA EL MONITOREO DEL PROCESO

Es necesario llevar un monitoreo de los principales parámetros del proceso como lo son la temperatura, la humedad y el pH, para lograr alcanzar la mejor calidad del producto en el menor tiempo posible.

- **Temperatura:** Con base a los resultados obtenidos del experimento, la temperatura debe estar dentro de un rango aproximado de (15-24°C), ya que el cuerpo de la lombriz mantiene una temperatura de 19°C¹⁵⁰. Este parámetro es indispensable para la cantidad y calidad de abono producido. Para la medición de este parámetro, se registrará la temperatura de cada cama diariamente y la medición se hará con un termohigrómetro con alarma, que contiene un sensor el cual se introduce en distintos puntos de la cama reflejando así el valor de la temperatura de la cama o lecho. La alarma se enciende cuando la lectura se eleva por encima o cae debajo de los puntos de ajuste.
- **Humedad:** La falta o el exceso de este parámetro puede llegar a ocasionar efectos negativos a la hora de la producción de abono orgánico. El rango de la humedad debe estar dentro del 75-80%, ya que si se encuentra debajo de 75% es desfavorable para la cría y debajo de 55% son niveles de muerte¹⁵¹. Esto se hará regando las camas cada tres días con una manguera de 6mm x 100 metros de largo y se utilizará tres galones de agua por metro cuadrado¹⁵². Para la medición de este parámetro, se usará un termohigrómetro con alarma, el cual también se introducirá en tres puntos diferentes de la cama y hará su respectiva medición. Finalmente, el funcionamiento de la alarma es como se mencionó anteriormente.

¹⁵⁰ UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA. Guia de lombricultura. Nicaragua p.9 [Consultado el 5 de noviembre de 2018], Disponible en: <http://repositorio.una.edu.ni/2409/1/nf04s693.pdf>

¹⁵¹ Ibid.,

¹⁵² Ibid., p.14

Ilustración 6. Termohigrómetro, medidor de temperatura y humedad.



Fuente: COTIZACIÓN DE EQUIPOS
Anexo F. BLAMIS dotaciones
laboratorio,

- pH: Es importante que el pH del sistema se encuentre entre 6.5 y 7.5¹⁵³, y no sea menor a 4, debido a que las lombrices no toleran un ambiente demasiado ácido y pueden llegar a morir. Esta medición se realizará diariamente con el objetivo de verificar que se encuentre dentro del rango recomendado. Para el registro, se tomarán varias muestras del compost, disolviéndola en un recipiente con agua, agitándola y tomando la lectura¹⁵⁴. Para esta medida, se usa un pH metro portátil, el cual debe alcanzar un rango determinado dependiendo de la fase en la que se encuentre el proceso.

¹⁵³ *Ibíd.*, p. 9

¹⁵⁴ ROMÁN Pilar, MARTÍNEZ María, PANTOJA Alberto. Manual de compostaje del agricultor. Chile. 2013. p.30 [Consultado el 5 Noviembre 2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

Ilustración 7. pH metro, medidor de pH.



Fuente: COTIZACIÓN DE EQUIPOS
Anexo F.
Equipos y Laboratorio de Colombia SAS.

4.9 COMPROBACIÓN DE LA FINALIZACIÓN DEL PROCESO Y EXTRACCIÓN DE LAS LOMBRICES

La comprobación del proceso de vermicompostaje se realizará de manera cualitativa y cuantitativa. Cualitativa, observando los parámetros físicos presentados en el Capítulo 3” Desarrollo experimental” y cuantitativa, tomando medidas de temperatura hasta que no exista un aumento de esta. A partir de esto, se realiza la extracción de las lombrices para ser ingresadas nuevamente a otro proceso de vermicompostaje. Esta extracción se debe realizar faltando siete días para la obtención del humus de lombriz, con la finalidad de lograr una mayor migración de las lombrices a la superficie, gracias al alimento añadido en la misma. Cabe aclarar que la capa de alimento agregado a la superficie, debe retirarse para no contaminar la cosecha de humus obtenida, y poder ser reutilizada en un nuevo proceso de vermicompostaje.

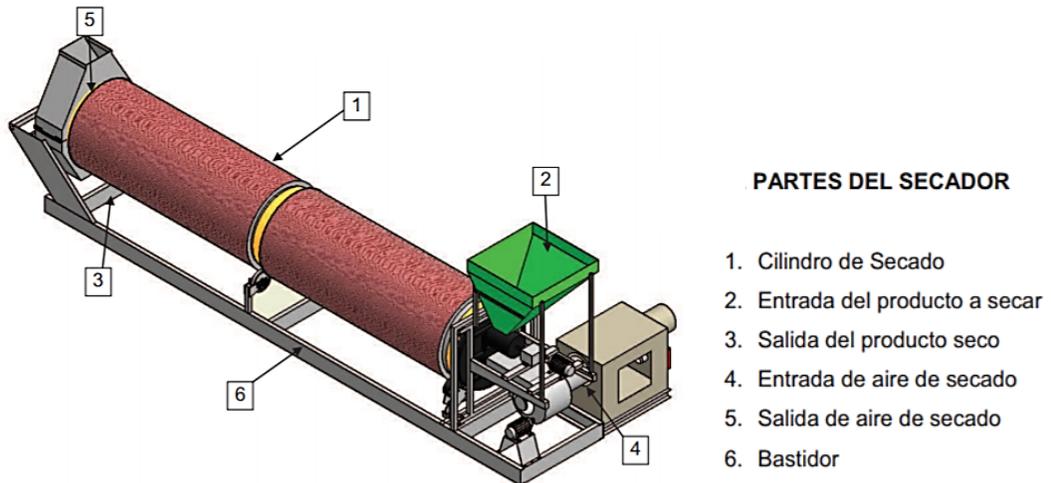
4.10 REMOCIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD EN EL HUMUS OBTENIDO

Debido al alto porcentaje de humedad con el que sale el humus (60-70%), es necesario disponer el humus en una operación de secado, para alcanzar una humedad promedio del 30%¹⁵⁵ para su uso agrícola. Para esto, se dispone el

¹⁵⁵ MONTEVIDEO AMBIENTE. Manual de vermicompostaje. Uruguay. p.54 [Consultado el 5 de noviembre 2018] Disponible en: <http://www.montevideo.gub.uy/sites/default/files/biblioteca/imvermicompostajeinterior.pdf>

producto final en un secador rotatorio con una lámina de acero A36 con un cilindro interno rotativo con velocidad variable, el cual logra eliminar cualquier tipo de contaminante que pueda contener el producto y logra acelerar el proceso.¹⁵⁶ Por otro lado, según expertos de la industria de vermicompostaje, la cantidad de humus que se estima obtener es aproximadamente el 70% del material total de ingreso al sistema.

Ilustración 8. Secador Rotatorio de contacto directo para sólidos.



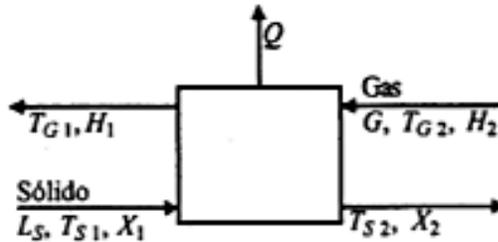
Fuente CARDENAS TULCÁN Luis Fernando, ROMERO ORTEGA Daniel Eduardo. Diseño y construcción de una máquina secadora de abono orgánico para la planta de abonos de Pronaca. Escuela Politécnica Nacional. Quito 2010. [Consultado el 5 de noviembre de 2018] Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2175/1/CD-2924.pdf>

4.11 BALANCE DE CALOR EN EL SECADOR ROTATORIO

La transferencia de calor en un secador rotatorio a contracorriente se lleva a cabo por contacto directo entre el sólido (Humus de lombriz) y el gas de calentamiento. De esta forma, el proceso de secado se realiza mientras el material sólido se encuentra en movimiento dentro de un cilindro rotatorio. El diagrama de flujo del proceso de secado se muestra en la Figura 8.

¹⁵⁶ CARDENAS TULCÁN Luis Fernando, ROMERO ORTEGA Daniel Eduardo. Diseño y construcción de una máquina secadora de abono orgánico para la planta de abonos de Pronaca. Escuela Politécnica Nacional. Quito 2010. [Consultado el 5 de noviembre de 2018] Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2175/1/CD-2924.pdf>

Figura 8. Proceso de flujo para secado rotatorio a contracorriente.



Fuente: GEANKOPLIS,CJ. Procesos de transporte y operaciones unitarias. P. 625 [Consultado el 28 de Enero de 2019] Disponible en:
<https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/05/geankopolis.pdf>

Con el objetivo de determinar el flujo de gas caliente requerido para efectuar un proceso de secado eficiente, y la humedad del gas a la salida del secador, se realiza un balance de materia con respecto a la humedad:

Ecuación 10. Balance de materia del proceso de secado

$$\boxed{GH_2 + L_s X_1 = GH_1 + L_s X_2} \quad (10)$$

Fuente: GEANKOPLIS,CJ. Procesos de transporte y operaciones unitarias. P. 625 [Consultado el 28 de Enero de 2019] Disponible en:
<https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/05/geankopolis.pdf>

Donde:

G = Flujo de gas

H_1 = Humedad del gas de salida del secador

H_2 = Humedad del gas de entrada al secador

L_s = Flujo de sólido

X_1 = Humedad libre del sólido de entrada al secador

X_2 = Humedad libre del sólido a la salida del secador

Para resolver la ecuación 10 es necesario conocer algunos parámetros obtenidos del producto sólido, con base en los resultados del proceso de vermicompostaje y análisis realizados en el capítulo “DESARROLLO EXPERIMENTAL”:

- Flujo de sólido a ingresar: Este valor es el 70% del total ingresado al inicio del proceso de vermicompostaje, siendo este último de 4,221 Ton/h.
- Humedad de entrada al secador: 75 kg de agua/kg de producto. Este valor fue extraído de tabla x.
- Humedad a la salida del secador: 30 kg de agua/ kg de producto. Este valor es el recomendado para conseguir un buen proceso de tamizado posteriormente.
- Temperatura de entrada al secador: 300 K. Este valor fue extraído de la tabla
- Temperatura a la salida del secador: 333,5 K. Este es el valor aproximado del abono orgánico.¹⁵⁷
- Capacidad calorífica: 457,246 KJ /Kg*K. Este valor es aproximado para abono orgánico.¹⁵⁸

Por otro lado, los parámetros del gas de calentamiento son:

- Humedad de entrada al secador: 0,017 kg agua/ kg aire seco¹⁵⁹
- Temperatura de entrada al secador: 353,5 K¹⁶⁰
- Temperatura a la salida del secador: 306,5 K¹⁶¹

A partir de lo anterior, se procede a determinar la humedad libre del sólido a la entrada y salida del secador, mediante la ecuación 11:

¹⁵⁷ Ibid., p.53

¹⁵⁸ EL CALOR. Capacidad calorífica y calor específico. [Consultado 6 de febrero 2019] Disponible en: <http://elcalor-equipo2.blogspot.com/2010/11/calor-latente.html>

¹⁵⁹ CARDENAS TULCÁN Luis Fernando, ROMERO ORTEGA Daniel Eduardo. Diseño y construcción de una máquina secadora de abono orgánico para la planta de abonos de Pronaca. Escuela Politécnica Nacional. Quito 2010. p 53. [Consultado el 6 de febrero de 2019] Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2175/1/CD-2924.pdf>

¹⁶⁰ Ibid.,

¹⁶¹ Ibid.,

Ecuación 11. Humedad libre del sólido

$$X = Humedad_{Base\ seca} = \frac{m_w}{m_s} = \frac{Masa\ de\ agua}{Masa\ de\ sólido} \quad (13)$$

Fuente: GEANKOPLIS,CJ. Procesos de transporte y operaciones unitarias. P. 625 [Consultado el 28 de Enero de 2019] Disponible en: <https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/05/geankopolis.pdf>

Sabiendo que, de 4,221 toneladas de sólido, el 75% es agua de acuerdo con la humedad, y el restante es producto sólido, se tiene a la entrada al secador:

$$X_1 = \frac{3,17}{1,05} = 3,02$$

A la salida del secador, dichas toneladas deben salir con un 30% de humedad:

$$X_2 = \frac{1,27}{2,95} = 0,43$$

El flujo de sólido de ingreso en términos de kg es 175,88. Reemplazando en la ecuación 12 los valores determinados:

Ecuación 12. Flujo del sólido

$$G \times (0,017) + (175,88) \times (3,02) = GH_1 + (175,88) \times (0,43) \quad (14)$$

Fuente: GEANKOPLIS,CJ. Procesos de transporte y operaciones unitarias. P. 625 [Consultado el 28 de Enero de 2019] Disponible en: <https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/05/geankopolis.pdf>

A continuación, se calcula la entalpía del gas de entrada tomando como base la $T_0 = 273,5$ K, y mediante tablas de valor, el calor latente del agua: 2501 KJ/Kg. Ver ecuación 13.

Ecuación 13. Entalpía gas de entrada

$$\underline{H'_{G2} = c_s(T_G - T_0) + H \lambda_0 \quad (13)}$$

Fuente: GEANKOPLIS,CJ.
Procesos de transporte y operaciones unitarias. P. 625 [Consultado el 28 de Enero de 2019] Disponible en: <https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/05/geankopolis.pdf>

Donde:

c_s = Calor Húmedo

T_G = Temperatura del gas

T_0 = Temperatura inicial

H = Humedad del gas

λ_0 = Calor latente del agua

Para determinar el c_s , se tiene la siguiente expresión, dada en KJ/Kg de aire seco por K:

Ecuación 14.

Determinación del calor húmedo

$$\underline{c_s = 1,005 + 188 H \quad (16)}$$

Fuente:

GEANKOPLIS,CJ.

Procesos de transporte y operaciones unitarias.

P. 625 [Consultado el 28 de Enero de 2019]

Disponible en:

<https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/05/geankopolis.pdf>

$$c_s = 1,005 + 188 (0,017) = 4.20$$

Reemplazando la ecuación 14 en la ecuación 13, y resolviendo para el gas de entrada:

$$H'_{G2} = 4.20 \times (353.5 - 273,5) + (0,017) \times (2501) = 378,52 \frac{KJ}{Kg}$$

Resolviendo la ecuación 13, para la entalpía del gas de salida:

$$H'_{G1} = (1,005 + 188 H_1) \times (306,5 - 273,5) + H_1 \times (2501)$$

Ecuación 15. Entalpía gas de salida

$$H'_{G1} = 33,17 + 60,12H_1 \quad (17)$$

Fuente: GEANKOPLIS, C.J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. P. 625 [Consultado el 28 de Enero de 2019] Disponible en: <https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/05/geankopolis.pdf>

Para calcular la entalpía del sólido húmedo:

Ecuación 16. Entalpía del sólido húmedo

$$H'_S = c_{ps}(T_S - T_0) + XC_{AP}(T_S - T_0) \quad (16)$$

Fuente: GEANKOPLIS, C.J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. P. 625 [Consultado el 28 de Enero de 2019] Disponible en: <https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/05/geankopolis.pdf>

Donde:

c_{ps} = Capacidad calorífica del sólido seco [KJ/Kg de sólido seco *K]

T_S = Temperatura del sólido

T_0 = Temperatura inicial

X = Humedad libre del sólido

C_{AP} = Capacidad calorífica del agua [KJ/Kg de agua *K]

Resolviendo la ecuación 16, para la entalpía del sólido de entrada:

$$H'_{S1} = 457,246 \times (300 - 273,5) + (3,02 \times 4,187) \times (300 - 273,5)$$

$$H'_{s1} = 12452,10 \frac{KJ}{Kg \text{ de sólido seco}}$$

Al usar la ecuación 16, para la entalpía del sólido de salida:

$$h'_{s2} = 457,246 \times (333,5 - 273,5) + (0,43 \times 4,187) \times (333,5 - 273,5)$$

$$H'_{s2} = 27542,78 \frac{KJ}{Kg \text{ de sólido seco}}$$

Posteriormente, se plantea el balance de calor con $Q=0$, es decir, sin pérdidas de calor durante el proceso de secado:

Ecuación 17. Balance de calor

$$\underline{GH'_{G2} + L_S H'_{S1} = GH'_{G1} + L_S H'_{S2} + Q \quad (17)}$$

Fuente: GEANKOPLIS, C.J. Procesos de transporte y operaciones unitarias. P. 625 [Consultado el 28 de Enero de 2019] Disponible en: <https://fenomenosdetransporte.files.wordpress.com/2008/05/geankopolis.pdf>

Reemplazando los valores conocidos, y la ecuación 15, en la ecuación 17:

$$G(378,52) + (175,88) \times (12452,10) = G(33,17 + 60,12H_1) + (175,88) \times (27542,78) + 0$$

Finalmente, sustituyendo la ecuación 12 en la anterior, se obtiene:

$$G = 14009,72 \text{ Kg de aire seco/h} \quad H_1 = 0,0323 \text{ kg de agua/ kg aire seco}$$

4.12 REDUCCIÓN DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA

Lo que en general se realiza posteriormente es tamizar el humus, de manera que quede un producto fino, con el objetivo de eliminar los elementos gruesos o los que no alcanzaron a ser procesados y cualquier otro tipo de contaminante¹⁶². Para este proceso, se usa una zaranda vibratoria que tiene un orificio promedio de 0,5 cm, ya que este es el tamaño de partícula requerido por la norma NTC 5167 y se obtiene una textura más fina del abono orgánico producido.

¹⁶² INFOAGROS. Abonos orgánicos. [Consultado el 5 de noviembre de 2018] Disponible en: http://www.infoagro.com/documentos/abonos_organicos.asp

Ilustración 9. Zaranda vibratoria.



Fuente: COTIZACIÓN DE EQUIPOS
Anexo F. Equipos y Destrucciones
JV SAS

4.13 EMPACADO DEL ABONO ORGÁNICO

Finalmente, se realiza un empaqueo en sacos de hilo de 100% de poliéster, debido a que es un material que no contamina el abono orgánico. Se realizará un empaqueo aproximadamente de 7 kg y se sellarán con una cosedora de sacos portátil, para la disposición del producto y poder ser distribuido.

Ilustración 10. Sacos de hilo 100% poliéster y cosedora.



Fuente: MAYRESA. Máquinas y cosedora de sacos. [Consultado el 5 de noviembre del 2018] Disponible en:
<http://www.mayresacr.com/maquinas-cosedoras-de-sacos>,
<http://sacosymallas.com/es/digrapack/116-sacos-rafia-multiuso>.

5. ANÁLISIS FINANCIERO DEL PROCESO DE VERMICOMPOSTAJE

Una vez cumplida con la fase experimental del proyecto, incluyendo con los requisitos técnicos del mismo, igualmente con la probatoria de la vialidad de la elaboración del Vermicompost propuesto; en este capítulo se analizarán los aspectos financieros para la producción del Vermicompost a escala industrial. Los aspectos más relevantes serán el determinar cuáles y cuánto sería el costo para iniciar la elaboración del abono en escala industrial, lo referido a las maquinarias, insumos, gastos administrativos-legales, la planta física para elaborar el abono, etc. Por otro lado, estimará en qué tiempo, y cuánto dinero se necesitará generar en ese tiempo, de manera que se recupere la inversión inicial del proyecto.

5.1 INVERSIÓN PARA LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO

Todo emprendimiento comercial requiere una inversión inicial, que constituyen todas las erogaciones en maquinarias, utensilios, planta de producción, gastos legales en que se incurren para legalizar una empresa, entre otras. A continuación, se presentan las tablas donde se detalla la inversión inicial del proyecto.

Tabla 23. Mobiliarios y equipos de oficina.

Mobiliarios y Equipos de oficina			
Descripción	Cantidad	Costo (\$)	Total (\$)
Computadora	1	1.929.000,00	1.929.000,00
Escritorios	3	225.900,00	677.700,00
Impresora	1	435.000,00	435.000,00
Mesa para computadora	1	497.777,00	497.777,00
Silla secretarial	4	104.900,00	419.600,00
Teléfonos fijos	2	49.990,00	99.980,00
Teléfonos móviles	2	560.494,00	1.120.988,00
		Total	5.180.045,00

Fuente: Elaboración propia

- Inversión de los equipos: Se tiene en cuenta los principales equipos que requiere el proceso a escala industrial, (ver Tabla 24)

Tabla 24. Maquinarias, útiles y herramientas.

Maquinarias, útiles y herramientas			
Descripción	Cantidad	Costo (\$)	Total (\$)
Triturador de desechos vegetales con alimentador	1	14.677.500	14.677.500
Bota de caucho amarilla	7	32.000	224.000
Botas tipo ingeniero caña alta	1	120.000	120.000
Camisa indigo	7	34.000	238.000
Carretilla	2	165.500	331.000
Casco dieléctrico	7	14.000	98.000
Gafas de seguridad	7	8.600	60.200
Báscula de plataforma bajo perfil industrial	1	3.800.000	3.800.000
Guantes anell de nitrilo	2	36.000	72.000
Guantes de nitrilo	1	21.000	21.000
Guantes tipo ingeniero	3	9.000	27.000
Cosedora de sacos, portátil a 110V	1	880.000	880.000
Mascarilla para vapores orgánicos	2	44.538	89.076
Termohigrómetro con alarma -50 A 70°C	1	337.323	337.323
pHmetro portátil marca Thermo Orion	1	2.960.000	2.960.000
Mezcladora para abono	1	27.690.000	27.690.000
Pala	3	32.990	98.970
Pantalón jean	7	34.000	238.000
Lombrices	134	10.000	1.340.000
Protector auditivo	3	17.650	52.950
Rastrillos	3	6.400	19.200
Secadora para abono	1	38.290.000	38.290.000
Sistema de riego	1	550.000	550.000
Termómetro infrarrojo	2	39.900	79.800
Zaranda vibratoria y seleccionadores dinámicos rotativos Z12	1	25.000.000	25.000.000
		TOTAL	117.294.019

Fuente: Elaboración propia

- Materiales e insumos: Se dispuso los principales materiales e insumos para la construcción de la plata, en la siguiente tabla:

Tabla 25. Materiales e insumos para la construcción de la planta.

Materiales e insumos para la construcción de la planta			
Descripción	Cantidad	Costo (\$)	Total (\$)
Machete 18"	1	19.900,00	19.900,00
Boquilla rociadora	2	11.900,00	23.800,00
Escoba plástica	2	23.900,00	47.800,00
Tablas de madera inmunizada	7.160	11.000,00	78.760.000,00
Grifo	12	18.900,00	226.800,00
Manguera	2	68.900,00	137.800,00
Polisombra	2	565.000,00	1.130.000,00
Postes de madera	280	19.400,00	5.432.000,00
Techado planta	1500 m2	423,00	634.500,00
Tornillo madera avellanado irrizado	8	5.900,00	47.200,00
		TOTAL	86.459.800,00

Fuente: Elaboración propia

Así mismo la inversión inicial del proyecto es la suma de los costos de mobiliarios y equipos de oficina, costos de los equipos y los materiales para la construcción de la planta, y se expresa en la siguiente tabla:

Tabla 26. Inversión inicial.

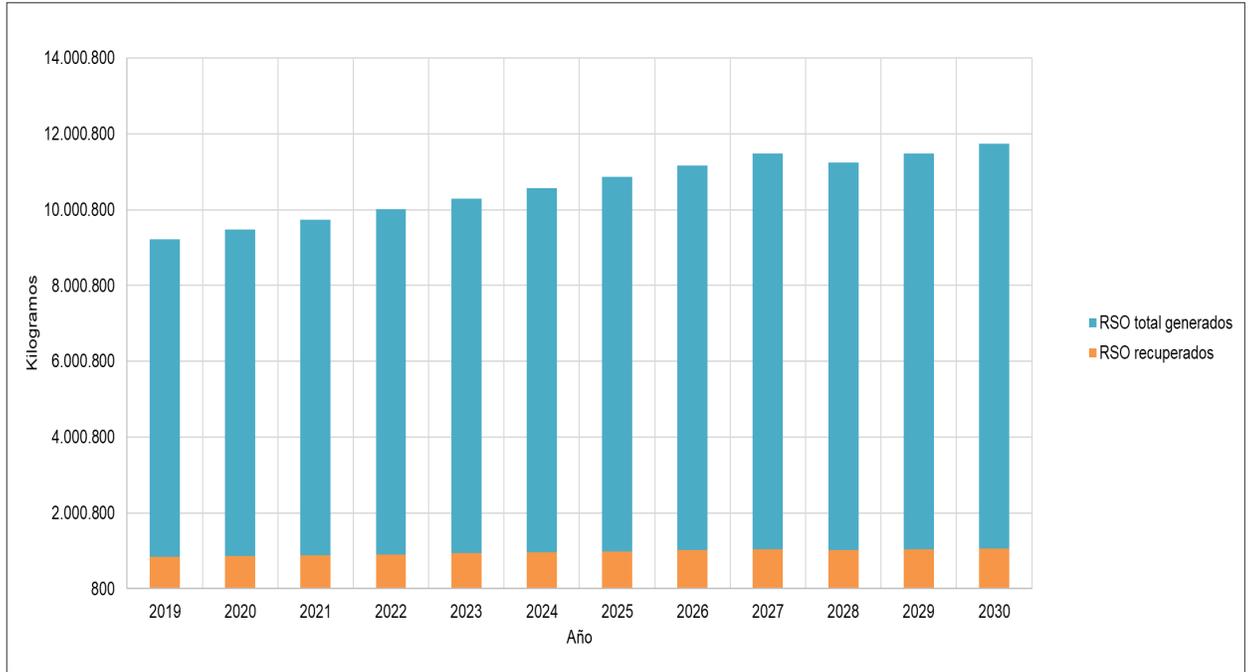
Inversión inicial	
Descripción	Total (\$)
Mobiliarios y equipos de oficina	5.180.045,00
Maquinarias, útiles y herramientas	117.294.019,00
Materiales e insumos para la construcción de la planta	86.459.800,00
Total	208.933.864,00

Fuente: Elaboración propia

5.2 INGRESOS Y EGRESOS DEL PROYECTO

5.2.1 Ingresos. Es importante reiterar que la idea del proyecto es utilizar los Residuos Sólidos Orgánicos (RSO) que produce el municipio, los cuales se generan acorde a la tendencia de crecimiento poblacional, y la cual está correlacionada con la generación de los RSO. Es decir, que la producción estará condicionada a los RSO que se dispondrán el relleno sanitario. Por lo tanto, se deben proyectar los ingresos en función de los RSO recuperables, de modo de calcular la producción anual de abono de acuerdo a la disponibilidad de los RSO y la fórmula del abono obtenido en el tratamiento 2. Para tal fin, se partirá de las estimaciones de RSO para el horizonte medio (2019-2030), que a continuación se muestran en la siguiente gráfica:

Gráfica 12. Proyección de los residuos sólidos del municipio a un horizonte medio (2019-2030).



Fuente: Elaboración propia

En la Gráfica 12, los RSO recuperables se determinaron con base en el 10% de los totales generados, correspondiente al mediano plazo, como se explicó en el capítulo “ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PROCESO DE VERMICOMPOSTAJE”. A continuación, se presenta la fórmula del tratamiento con estiércol, el cual fue el elegido para el proceso, ya que servirá para la producción anual de abono, en base a la disponibilidad de RSO y la mencionada fórmula, la cual se presenta a continuación:

Tabla 27. Fórmula del tratamiento dos.

Fórmula del tratamiento 2

Contenido	Cantidad Kg	% Cantidad Kg
Aditivos	2,6	22,41
Rso	6	51,72
Lecho	3	25,86
Masa total	11,6	100
Rendimiento	70%	
Abono Kg	8,12	

Fuente: Elaboración propia

En base a la Tabla 27 y a la cantidad de residuos sólidos disponibles, se estimarán la producción para cada año del horizonte medio (2019-2030), que se presentan a continuación:

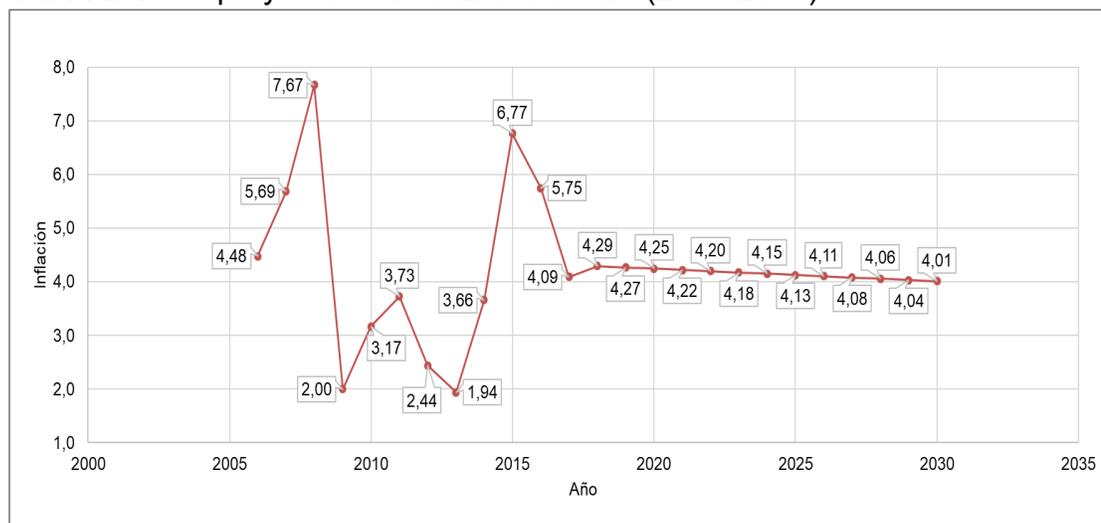
Tabla 28. Proyección de producción de abono orgánico a horizonte medio (2019-2030).

Años	22,42% Aditivos	51,72% Rso	25,86% Lecho	100,00% Masa total	70% Abono obtenido
2019	181.713,8	419.190	209.595,0	810.498,8	567.349,2
2020	186.694,6	430.680	215.340,0	832.714,6	582.900,2
2021	191.831,5	442.530	221.265,0	855.626,5	598.938,6
2022	197.122,2	454.735	227.367,5	879.224,7	615.457,3
2023	202.582,0	467.330	233.665,0	903.577,0	632.503,9
2024	416.417,3	960.620	480.310,0	1.857.347,3	1.300.143,1
2025	428.021,7	987.390	493.695,0	1.909.106,7	1.336.374,7
2026	439.999,0	1.015.020	507.510,0	1.962.529,0	1.373.770,3
2027	452.349,1	1.043.510	521.755,0	2.017.614,1	1.412.329,9
2028	442.777,7	1.021.430	510.715,0	1.974.922,7	1.382.445,9
2029	452.526,8	1.043.920	521.960,0	2.018.406,8	1.412.884,8
2030	462.640,1	1.067.250	533.625,0	2.063.515,1	1.444.460,6
Totales	4.054.675,8	9.353.605,0	4.676.802,5	18.085.083,3	12.659.558,3

Fuente: Elaboración propia

Seguidamente a partir de la producción estimada para los años del horizonte medio (columna “70% abono obtenido”, Tabla 28), se estimarán las ventas para cada año, bajo la premisa que toda la producción se venderá, para tal fin es necesario tener la proyección de los Índice de Precio al Consumidor (IPC) de los años correspondientes al horizonte medio (2019-2030). En tal sentido, se calcularon con un modelo de regresión lineal ($Y = a + bx$) de la serie cronológica de los IPC del 2006 al 2017, donde $a = 4,435454545$ y $b = -0,023531469$; el origen del modelo es el año 2006, con un valor codificado de la variable tiempo de $x = 1$; del cual se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 29. IPC proyectado a horizonte medio (2019-2030).



Fuente: Elaboración propia

Con las estimaciones de los IPC del horizonte medio (2019-2030), en la siguiente tabla se proyectan los ingresos del proyecto para doce (12) años.

Tabla 30. Ingresos del proyecto.

70%

Años	Abono obtenido	Cantidad saco 50		IPC proyectado (%)	Precio de venta proyectado \$/saco	Ventas proyectadas totales s/saco
		Kg C/U				
2019	567.349,2	11.347,0		4,11	18.000,0	204.246.000,00
2020	582.900,2	11.658,0		4,08	18.735,0	218.412.630,00
2021	598.938,6	11.979,0		4,06	19.495,0	233.530.605,00
2022	615.457,3	12.309,0		4,04	20.282,0	249.651.138,00
2023	632.503,9	12.650,0		4,01	21.096,0	266.864.400,00
2024	1.300.143,1	26.003,0		3,99	21.937,0	570.427.811,00
2025	1.336.374,7	26.727,0		3,96	22.807,0	609.562.689,00
2026	1.373.770,3	27.475,0		3,94	23.706,0	651.322.350,00
2027	1.412.329,9	28.247,0		3,92	24.635,0	695.864.845,00
2028	1.382.445,9	27.649,0		3,89	25.594,0	707.648.506,00
2029	1.412.884,8	28.258,0		3,87	26.585,0	751.238.930,00
2030	1.444.460,6	28.889,0		3,85	27.608,0	797.567.512,00
Totales	12.659.558,3	253.191,0				5.956.337.416,00

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 30, el proyecto tendrá en los primeros doce (12) años ingresos estimados de **\$ 5.956.337.416,00**.

5.2.2 Egresos. Los costos de egresos son la salida de los recursos financieros, en este se involucran, los servicios, mano de obra (sueldos y salarios), depreciación de los equipos y los costos variables.

En la siguiente tabla se muestra a continuación los costos variables:

Tabla 31. Costos variables.

Costos variables			
Descripción	Cantidad p/año	Costo	Total (\$)
Agua	1	6.617,88	6.617,88
Sacos de polietileno	11.347	1.590,00	18.041.730,00
Electricidad/Combustible anual	1	48.757.336,79	48.757.336,79
Estiércol bovino (82.750 Kg/año)	2	500.000,00	1.000.000,00
Cono de hilo 250 Gr	300	4.160,00	1.248.000,00
		Total	69.053.684,67

Fuente: Elaboración propia

Nota 1: El número de sacos por año viene del estimado de producción para el año 2019.

Nota 2: El rubro "ELECTRICIDAD/COMBUSTIBLE ANUAL" está detallado en la tabla, del mismo nombre.

- Costos de servicios industriales. Estos costos requeridos, se entiende por el gasto de energía que contiene cada equipo, para esto se tiene en cuenta el costo de la energía del municipio de Puerto Gaitán, en la siguiente tabla se encuentran los datos de la energía que requiere cada equipo y su costo anual.

Tabla 32. Electricidad y combustible anual.

Maquinaria	Potencia (HP)	Consumo 1hp = 0,7457 Kw/H	Consumo promedio P/hora Kw/H	Consumo		Costo diario p maquina (\$)	Costo anual p/mquina (\$)	
				Horas promedio d consumo diarias	Kw/H			
Triturador de desechos vegetales con alimentador	15	0,7457		11	8	89 551,49	49.350	15.397.054
Mezcladora de abono	12	0,7457		9	8	72 551,49	39.480	12.317.643
Secadora para abono	7,5	0,7457		6	8	45 551,49	24.675	7.698.527
Zaranda vibratoria y seleccionadores din rol z12	12	0,7457		9	8	72 551,49	39.480	12.317.643
Cosedora de sacos, portátil a 110V	1	0,7457		1	8	6 551,49	3.290	1.026.470
						TOTAL		48.757.337

Fuente: Elaboración propia

Nota 1: se asume que se trabajan 312 días al año (52 semanas x 6 días).

Nota 2: se asume un precio de 6.320 \$/Gal del Diesel

- Mano de obra. Para que la planta pueda realizar su funcionamiento y desarrollo adecuadamente, se necesitan dos técnicos los cuales se encargarán del análisis fisicoquímico de las muestras, dos obreros que serán designados como los que adecuaran el material a la respectiva vermicompostera, y tres operarios, que serán los encargados del uso de la maquinaria correspondiente. A continuación, se encuentran los sueldos y salarios de cada empleado.

Tabla 33. Sueldos y salarios.

Detalle	Sueldos y salarios año 1		
	técnico	Obrero 1	Operador
	Costo mensual (\$)	Costo mensual (\$)	Costo mensual (\$)
Salario	2.000.000	900.000	1.500.000
Auxilio de transp.	-	88.211	-
Rrcargos dom y fest.	408.333	-	437.500
Salud	96.333	36.000	77.500
Pensión	96.333	36.000	77.500
V/R a pag. Nomina	1.807.333	828.000	1.345.000
AFP	289.000	108.000	232.500
CCF	96.333	36.000	77.500
ARL	167.620	4.698	134.850
V/R a pag. Aportes	552.953	148.698	444.850
Cesantías	200.614	82.318	161.394
Intereses cesantías	24.074	9.878	19.367
Prima	200.614	82.318	161.394
Vacaciones	100.428	37.530	80.794
V/R a pag. Prest. Soc	525.730	212.044	422.949
Totales mensuales	2.886.016	1.188.742	2.212.799
Número de trabajadores	2	2	3
Totales anuales	5.772.032	2.377.484	6.638.396
Total general	14.787.912		

Fuente: Elaboración propia

- Depreciación. Respecto al decreto 3019 de 1989, indica que un equipo tiene una vida útil de 10 años, por ende, su desgaste implica un devalúo anual, lo cual se muestra en la Tabla 34.

Tabla 34. Depreciación anual de propiedad, planta y equipos.

Descripción	Costo	Porcentaje depreciación	
		anual	Total depreciación anual
Cosedora de sacos, portátil a 110V	880.000	10%	88.000
Triturador de desechos vegetales con alimentador	14.677.500	10%	1.467.750
Termohigrómetro con alarma -50 A 70°C	337.323	10%	33.732
pHmetro portatil marca Thermo Orion	2.960.000	10%	296.000
Mezcladora de abono	27.690.000	10%	2.769.000
Secadora para abono	38.290.000	10%	3.829.000
Báscula de plataforma bajo perfil industrial	3.800.000	10%	380.000
Termómetro	79.800	10%	7.980
Materiales e insumos para la construcción planta	86.459.800	10%	8.645.980
Zaranda Vibratoria y seleccionadores diná rotativos z12	25.000.000	10%	2.500.000
	Total depreciación anual		20.017.442

Fuente: Elaboración propia

Tabla 35. Costos fijos.

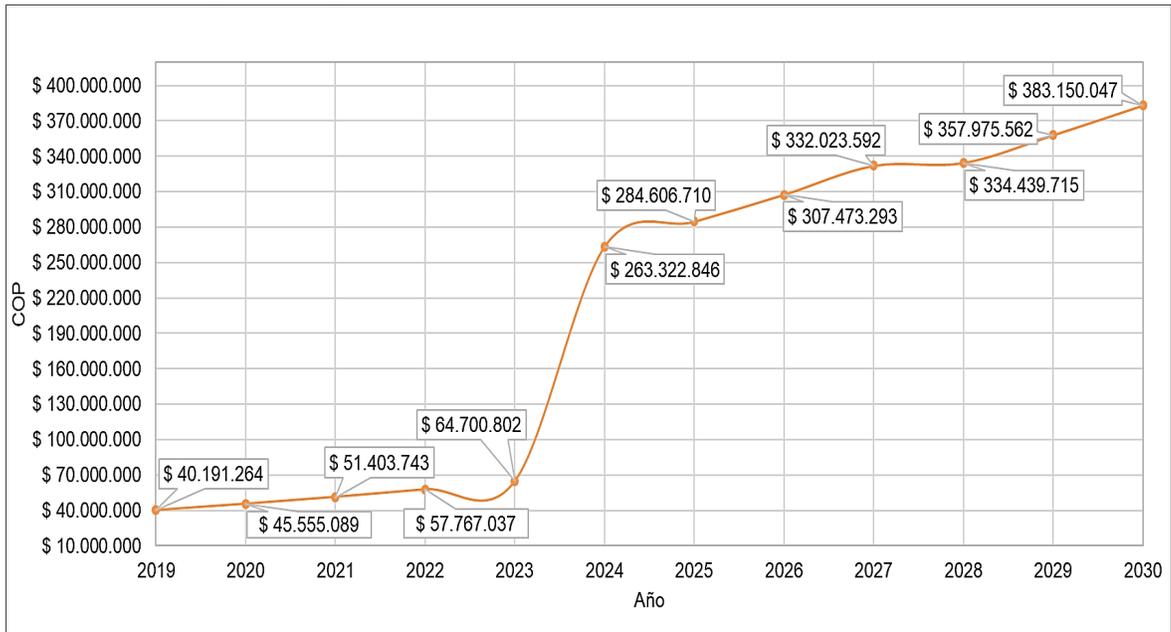
Descripción	Costos fijos		
	Cantidad p/año	Costo (\$)	Total (\$)
Aseo urbano	1	2.400.000	2.400.000
Asesoría	1	6.000.000	6.000.000
Material de oficina	1	14.000.000	14.000.000
Publicidad	1	12.000.000	12.000.000
Teléfono	1	6.000.000	6.000.000
	Total costos fijos		40.400.000

Fuente: Elaboración propia

5.3 VIABILIDAD DEL PROYECTO

5.3.1 Flujo de caja neto. El flujo de caja neto, es uno de los factores más importantes a evaluar en un análisis financiero ya que este evalúa la rentabilidad y viabilidad a la hora de ejecutar el proyecto, para el desarrollo de este, se tiene en cuenta los ingresos a la planta, en este caso la venta del abono orgánico y la inversión y los egresos, teniendo en cuenta el impuesto de renta como el 33%, como se observa en la Gráfica 13.

Gráfica 13. Flujo de Caja Neto.



Fuente: Elaboración propia

Nota: Para obtener los costos totales aplicamos los valores estimados de inflación para cada año (ver Tabla 29).

5.3.1.1 Valor Presente Neto. El valor presente neto es el método usado para evaluar la viabilidad de un proyecto, y se determina con ayuda de la tasa interna de oportunidad (15,16%)¹⁶³, con la siguiente ecuación:

Ecuación 18. Valor presente neto

$$VPN = -I_0 + \frac{F_t}{(1+k)^t} = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)^1} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n} \quad (18)$$

Fuente: Elaboración propia

Donde:

I₀ = inversión inicial. Sería el desembolso en dinero que hará la empresa para materializar el proyecto.

F_t = Flujos netos de efectivo. Es la diferencia entre los ingresos y egresos durante el número de años considerados para los cálculos del proyecto, podría resultar una pérdida o una ganancia.

K = Tasa de descuento. Se le conoce también tasa de oportunidad y tasa de costo de oportunidad del capital.

n = Número de periodos o años considerados para la evaluación del proyecto.

¹⁶³ BANCO BBVA. Tasa pasiva anual.

En caso de nuestro proyecto la fórmula sería en base a 12 periodos o años ($n = 12$), ya que fueron los años que se utilizaron para evaluar el proyecto. Para la evaluación del proyecto se tendrían los siguientes casos:

$$\begin{aligned}
 VPN = & -208.933.864,00 + \frac{40.191.263,81}{(1 + 0,1516)^1} + \frac{45.555.089,37}{(1 + 0,1516)^2} + \frac{51.403.743,34}{(1 + 0,1516)^3} + \frac{57.767.036,93}{(1 + 0,1516)^4} \\
 & + \frac{64.700.801,85}{(1 + 0,1516)^5} + \frac{263.322.846,12}{(1 + 0,1516)^6} + \frac{284.606.709,86}{(1 + 0,1516)^7} + \frac{307.473.293,41}{(1 + 0,1516)^8} \\
 & + \frac{332.023.592,34}{(1 + 0,1516)^9} + \frac{334.439.714,69}{(1 + 0,1516)^{10}} + \frac{357.975.561,75}{(1 + 0,1516)^{11}} + \frac{383.150.046,88}{(1 + 0,1516)^{12}}
 \end{aligned}$$

$$VPN = 597.961.453,88.$$

El valor presente neto es positivo arrojando un valor de \$ 597.961.453,88, por ende, nos indica que la realización del proyecto es altamente rentable debido a que el valor presente neto debe ser mayor a la inversión inicial que en este caso fue de \$208.933.864,00.

VPN > INVERSIÓN INICIAL, esto indica que el proyecto es altamente rentable.

5.3.1.2 Tasa Interna de Retorno. La tasa interna de retorno es un descuento que hace que el valor presente neto sea igual a 0, donde se determina en la siguiente ecuación:

Ecuación 19. Tasa interna de retorno

$$0 = -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)^1} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n} \quad (19)$$

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, para el proyecto se obtiene una tasa interna de retorno del 7%, arrojando rentabilidad al proyecto.

5.3.2 Rentabilidad del proyecto. La rentabilidad de este proyecto bastante alta, al calcular el VPN (valor presente neto), se observa que se recupera la inversión inicial al sexto año y se obtienen beneficios actualizados de \$ 263.322.846,12 en el año 6, por esta razón se decidió toma el horizonte medio, ya que a corto plazo no se alcanza a recuperar la inversión inicial.

El análisis anterior nos indica que el proyecto viable frente a otras inversiones de renta fija, con menos riesgo. Por lo tanto, es mejor invertir en el proyecto que en otras inversiones de renta fija.

5.4 COMPARACIÓN DEL ESCENARIO ACTUAL FRENTE A LA PROPUESTA DE PROYECTO

En el contexto del mercado de abono orgánico, del municipio de Puerto Gaitán, no existe competencia alguna, registrada legalmente. Sin embargo, contemplando toda la región del Meta, existen mercados con precios que oscilan entre \$15.000 y \$20.000, consultados mediante llamadas telefónicas; Por tanto, el proyecto evaluado con un precio de venta de \$18.000, y una alta calidad del producto, entra en la competencia del mercado de la región, siendo el único en el municipio mencionado. De acuerdo con lo anterior, es procedente ejecutar el proyecto de la investigación ante la realidad del mercado del abono.

6. CONCLUSIONES

- Se analizó que los RSO generados en el municipio de Puerto Gaitán, Meta, representan el 48% del total de los residuos sólidos, para el presente año; viéndose como una gran oportunidad de aprovechamiento de los mismos, y de igual forma, alargando la vida útil del lugar destinado para su disposición. Se concluyó, mediante un cuadro de comparación de técnicas de compostaje, la técnica más adecuada para el desarrollo experimental, siendo el vermicompostaje. Según los análisis fisicoquímicos realizados, los RSO del municipio, tienen una relación C/N de 13,51%, requiriéndose un ajuste de esta relación; con el fin de alcanzar el valor inicial recomendado para procesos de vermicompostaje.
- En el desarrollo experimental se estableció evaluar dos tratamientos de aditivos en los RSO, para el ajuste de la relación C/N de los mismos. Siendo uno de estiércol de bovino (C/N: 60%), y otro de restos de maíz (C/N: 55%); esto debido a que la región del Meta es reconocida por su actividad de ganadería y agricultura, permitiendo la accesibilidad de aporte de estos aditivos. Realizando la prueba de “t-student” entre los tratamientos, se concluyó que no existe una diferencia significativa en los tratamientos escogidos, esto debido a que las relaciones C/N entre los aditivos son muy parecidas. A partir de lo anterior, se determinó que el aditivo que se debe elegir es el estiércol de bovino, ya que es el aditivo mejor asimilado en menor tiempo, por las lombrices, durante las primeras semanas de la fase de campo; además de requerirse en menor cantidad con respecto a los restos de maíz, y siendo económicamente más rentable. Finalmente, se determinó en la fase de laboratorio, que los abonos obtenidos no cumplen con todos los parámetros exigidos por la norma 5167, lo que indica que no resultan ser de calidad para su venta. Sin embargo, se encontraron muy cerca de los valores exigidos.
- Se determinaron los requerimientos técnicos del proceso de vermicompostaje a nivel industrial, con base a la información obtenida del capítulo dos “Diagnóstico de los residuos sólidos en Puerto Gaitán”, de los RSO generados en el municipio, que se dispondrá en el relleno sanitario “El Alcaraván”. Para lo cual, se evaluaron los equipos y maquinaria que necesita la planta y sus respectivos procedimientos.
- Se evaluó financieramente, que la inversión inicial del proyecto es de \$208.933.864, y el valor presente neto es de valor positivo, indicando ganancias, y, por tanto, una alta rentabilidad a un horizonte mediano. La tasa de retorno resultó mayor a la tasa interna de oportunidad, lo cual brinda ganancias adicionales al proyecto, resultando ser viable su ejecución. De acuerdo a lo anterior, se determinó una recuperación de la inversión inicial en un periodo de 6 años.

7. RECOMENDACIONES

- Realizar el estudio de las pérdidas del material ingresado, por lixiviados y posibles escapes en vapores de la reacción. Al igual que el tratamiento de estos lixiviados generados, para su uso y venta como abono líquido.
- En la ejecución del proyecto, realizar el monitoreo minucioso de los parámetros fisicoquímicos, para la obtención de un abono orgánico con alta calidad.
- Realizar un estudio del efecto de tipo de lechos o materiales secos, de distintas proporciones, en la calidad del abono obtenido.

BIBLIOGRAFÍA

AGENCIA DE DESARROLLO Y COMERCIO EXTERIOR. Guía de lombricultura. 2002. [Consultado el 1 de octubre del 2018] Disponible en: <http://www.biblioteca.org.ar/libros/88761.pdf>

AGROWASTE. Vermicompostaje. p.1 [Consultado el 4 de agosto de 2018]. Disponible en: <http://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/campus/doc/htmls/sostenibilidad/vermicompostaje.pdf>

AMBIENTUM, Relación Carbono- Nitrógeno. [Consultado el 23 de septiembre del 2018] Disponible en: https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/relacion_carbono_nitrogeno.asp

ANDI, ASOCIACIÓN NACIONAL DE EMPRESARIOS DE COLOMBIA. Informe nacional de aprovechamiento. Colombia. 2016. [Consultado el 5 de noviembre del 2018] Disponible en: <http://www.andi.com.co/Uploads/22.%20Informa%20de%20Aprovechamiento%20187302.pdf>

BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO. Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos. Marzo 2017. [Consultado el 10 de octubre de 2018] Disponible en: <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/8202/Generacion-de-electricidad-a-partir-de-biogas-capturado-de-residuos-solidos-urbanos-Un-analisis-teorico-practico.PDF?sequence=1>

BARRENA Raquel. Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Barcelona, España. 2006. [Consultado el 30 de septiembre del 2018] Disponible en: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5307/rbg1de1.pdf>

BIBLIOTECA DEL CAMPO. Composición de los estiércoles. [Consultado el 10 de octubre del 2018] Disponible en: <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6633/7/053.7.pdf>

BUENO Pedro, DÍAZ Manuel Jesús y CABRERA Fransisco. Factores que afectan el proceso de compostaje. [Consultado el 11 de octubre de 2018] Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/20837/3/Factores%20que%20afectan%20al%20proceso%20de%20compostaje.pdf>

CARE. Internacional-Avina. Gestión integral de residuos sólidos. Ecuador. Enero del 2012. [Consultado el 11 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://www.avina.net/avina//wp-content/uploads/2013/03/MODULO-9-OK.pdf>

CASTRO, Gustavo, DAZA Martha, MARMOLEJO Luis. Evaluación de la adecuación de humedad en el compostaje de biorresiduos de origen municipal en la Planta de Manejo de Residuos Sólidos del municipio de Versalles, Valle del Cauca. Colombia. 2016. p.186. [Consultado el 10 de octubre del 2018] Disponible en: <http://bdigital.unal.edu.co/65483/1/53672-297646-1-PB.pdf>

CEAMSE, Tecnología ecológica. Gestión integral de residuos sólidos urbanos. [Consultado el 10 Octubre 2018]. Disponible en: <http://www.ceamse.gov.ar/gestion-integral-de-residuos-solidos-urbanos/>

COFESCO. Plan de gestión integral de residuos sólidos. Puerto Gaitán Meta. 2015. P.23.

COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. Norma de calidad del compost. p.3. [Consultado el 3 de agosto de 2018]. Disponible en: <http://www.lombricultura.cl/lombricultura.cl/userfiles/file/biblioteca/normas/Norma%20calidad%20COMPOST.pdf>

COMPOSTADORES. La lombricultura. [Consultado el 13 de septiembre del 2018] Disponible en: <http://www.compostadores.com/descubre-el-compostaje/vermicompostaje/172-la-lombricultura.html>

COMPOSTANDO CIENCIA LAB. Carbono orgánico soluble como índice de calidad de un compost. Julio 2013. [Consultado el 12 de octubre de 2018]. Disponible en: <http://www.compostandociencia.com/2013/07/carbono-organico-hidrosoluble-html/>

COMPOSTANDO CIENCIA LAB. La importancia de la relación carbono-nitrogeno en un compost. [Consultado el 4 de Septiembre de 2018]. Disponible en: <http://www.compostandociencia.com/2018/04/la-importancia-de-la-relacion-carbono-nitrogeno-en-un-compost/>

CONSEJO NACIONAL DE POLITICA ECONOMICA Y SOCIAL. Política nacional para la gestión integral de los residuos sólidos. Colombia. 2016. [Consultado el 11 de Octubre del 2018]. Disponible en: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf>

DÍAZ BOHÓRQUEZ Luisa Fernanda, GALLEGO ESCOBAR Laura Alejandra. Propuesta para el manejo y disposición de los residuos sólidos generados en el municipio de Muzo, Boyacá. Universidad de América. 2016. Colombia

DOMINGUEZ, Lidia. Balance elemental. [Consultado el 24 de septiembre del 2018] Disponible en: <https://es.scribd.com/document/220724379/Balance-Elemental>

ECURED. Residuales líquidos. Cuba. [Consultado el 30 de septiembre 2018]. Disponible en: https://www.ecured.cu/Residuales_L%C3%ADquidos

FAU, UNIVERSIDAD DE CHILE. Sistema de reciclaje orgánico vegetal para el interior del hogar a través del vermicompostaje. 2014. [Consultado el 1 e octubre del 2018] Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/130538/vermiz-sistema-de-reciclaje-organico-vegetal-para-el-interior-del-hogar-a-traves-del-vermicompostaje.pdf;sequence=1>

FIGUEROA BARRERA Aydee, ÁLVAREZ HERRERA Javier, FORERO Andrés, SALAMANCA César, PINZÓN Lida. Determinación del nitrógeno potencialmente mineralizable y la tasa de mineralización de nitrógeno en materiales orgánicos. 2012. Colombia

GESTIÓN DE RSU. Composición de los residuos sólidos. p.11. [Consultado el 3 de octubre del 2018] Disponible en: https://aulagaasociacion.files.wordpress.com/2015/03/3_composicion_rsu.pdf

GESTIÓN DE RSU. Propiedades físicas, químicas y biológicas de los RSU. [Consultado el 4 de octubre]. Disponible en: https://aulagaasociacion.files.wordpress.com/2015/03/4_propiedades_rsu.pdf

GRUPO DE ACCIÓN PARA EL MEDIO AMBIENTE. Manual de vermicompostaje. Madrid. p.5 [Consultado el 30 de septiembre del 2018] Disponible en: <https://www.asociaciongrama.org/documentacion/manuales/Manual%20de%20Vermicompostaje%20GRAMA.pdf>

GUAUQUE, Diana Marcela. Comparación del proceso de vermicompostaje con la especie Eisenia Fetida desde la variación de los residuos orgánicos. Universidad Militar Nueva Granada. Colombia. 2017. [Consultado el 23 de septiembre del 2018] Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/16549/GuauqueSanchezDianaMarcela2017.pdf;jsessionid=F5B1E42A9854A92D974849B066570B1B?sequence=3>

HANNA INSTRUMENTS. Determinación de nitrógeno total. Colombia. [Consultado el 12 de octubre de 2018] Disponible en: <https://www.hannacolombia.com/blog/post/85/determinacion-nitrogeno-total-kjeldahl>

HOGAR NATURAL. Compostaje. [Consultado el 13 de septiembre del 2018] Disponible en: <http://www.elhogarnatural.com/reportajes/compostaje.htm>

Huerta, O., López, M., Soliva, M. y Zaloña, M. Compostaje de Residuos Municipales – Control del proceso, rendimiento y calidad del producto. Cataluña. 2008. p 186.

INDUSTRIAMBIENTE. Residuos gaseosos. [Consultado el 30 de septiembre del 2018], Disponible en: <https://www.industriambiente.com/residuos-gaseosos>

INFOAGRO. Problemática, clasificación y gestión de los residuos sólidos urbanos. [Consultado el 2 de octubre del 2018] Disponible en: http://www.infoagro.com/documentos/problematika__clasificacion_y_gestion_residuos_solidos_urbanos.asp

INFOAGRO. Propiedades de los abonos orgánicos. [Consultado el 12 de octubre del 2018]. Disponible en: http://www.infoagro.com/abonos/abonos_organicos.htm

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 NACIONAL DE SALUD. Manual de gestión integral de los residuos. 2010. p.6 [Consultado el 3 de agosto de 2018] Disponible en: <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/IA/INS/manual-gestion-integral-residuos.pdf>

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE. Gestión de residuo: clasificación y tratamiento. 2015.p.2 [Consultado el 10 de agosto de 2018] Disponible en: <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/NTP/NTP/Ficheros/1043a1054/ntp-1054w.pdf>

JARAMILLO HENAO Gladys, ZAPATA MÁRQUEZ Liliana. Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia. Universidad de Antioquia. Colombia. 2008. [Consultado el 3 de agosto de 2018] Disponible en: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>

JARAMILLO SILVA, Carlos Andrés. Centro educativo tecnológico y de investigación. Bogotá .2010. p.18

LA AVENTURA DE APRENDER. Como hacer una unidad de compostaje. [Consultado el 1 de octubre del 2018] Disponible en: http://laaventuradeaprender.educalab.es/documents/10184/76301/Guia-LADA_Como-hacer-una-unidad-de-compostaje.pdf

LINEA BASE 2008. Municipio de Puerto Gaitán. [Consultado el 10 de septiembre del 2018] Disponible en: <http://observatorio.unillanos.edu.co/observatorio/archivos/LineaBase/Linea%20Base%20-%20Puerto%20Gaitan.pdf>

LÓPEZ RIVERA, Natalia. Propuesta de un programa para el manejo de los residuos sólidos en la plaza de mercado de Cerete, Córdoba. Universidad Javeriana. Colombia. 2009. [Consultado el 11 de octubre del 2018] Disponible en: <https://javeriana.edu.co/biblos/tesis/eambientales/tesis64.pdf>

MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. Iniciación al compostaje y vermicompostaje doméstico. España. [Consultado el 13 de septiembre del 2018] Disponible en: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/aderlan/documentos/EJESTotal/EJE4/compost%20y%20vermicompost.pdf>

MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Colombia. Decreto 2676 (22, diciembre, 2000). Por el cual se reglamenta la gestión integral de residuos hospitalarios y similares. 2000. 5

MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL. Compost. [Consultado el 12 de octubre del 2018] Disponible en: <http://cml-medioambiente.com/pdf/compost2011.pdf>

MINISTERIO DE SALUD. Disposición correcta de la basura. Puerto Rico. 1997. [Consultado el 4 de agosto de 2018] Disponible en: <http://www.binasss.sa.cr/poblacion/rellenosanitario.htm>

MONTEVIDEO AMBIENTE. Manual de vermicompostaje. Uruguay. p.54 [Consultado el 5 de noviembre 2018] Disponible en: <http://www.montevideo.gub.uy/sites/default/files/biblioteca/imvermicompostajeinterior.pdf>

NCT 5167. Productos para la industria agrícola, productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. [Consultada el 10 de octubre del 2018]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/138627365/NTC-5167-Apartes1-1-Norma-Para-Abonos-Organicos-y-Fertilizantes>

NINCO CARDOZO, Cristhian Felipe, SANCHEZ GONZALEZ, Jennifer Johana. Propuesta para la producción de abono orgánico mediante el compostaje de los residuos sólidos del municipio del Rosal-Cundinamarca. Fundación Universidad de América, 2017.

OBSERVATORIO AMBIENTAL DE BOGOTÁ. [Consultado el 3 de agosto 2018] Disponible en: <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/preguntas-frecuentes/que-es-el-plan-de-gestion-integral-de-residuos-solidos-y-como-se-implementa>

RECYTRANS. Soluciones globales para el reciclaje. [Consultado el 30 de septiembre de 2018]. Disponible en: <https://www.recytrans.com/blog/clasificacion-de-los-residuos/>

RELACIÓN CARBONO-NITROGENO EN LOS ABONOS ORGÁNICOS. [Consultado el 24 de septiembre del 2018] Disponible en: <https://www.slideshare.net/rayo2882/relacion-carbono-nitrgeno-en-compostas>

REVERTIA. Glosario de términos. [Consultado el 10 de agosto de 2018] Disponible en: <https://revertia.com/es/quienes-somos-empresa-especializada-en-residuos-electronicos/glosario/>

RIVAS Leonardo, HOYOS Phanor, AMÉZQUITA Edgar, MOLINA Diego. Manejo y uso de los suelos de la Altillanura Colombiana. Cali, Colombia. 2004. [Consultado el 10 de septiembre del 2018] Disponible en: http://ciat-library.ciat.cgiar.org/Articulos_Ciat/degradacion_capa_arable.pdf

ROMÁN Pilar, MARTÍNEZ María, PANTOJA Alberto. Manual de compostaje del agricultor. Chile. 2013. p.11 [Consultado el 3 de agosto del 2018]. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

SÁEZ Alejandrina, URDANETA Joheni. Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. 2014. [Consultado el 30 de septiembre 2018]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/737/73737091009/>

SALAMANCA CASTRO, Eduard Mauricio. Estrategias para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en la plaza de mercado de Fontibón, Bogotá D.C. Manizales, Colombia. 2014. [Consultado el 10 de Octubre] Disponible en: http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1931/Salamanca_Castro_Eduad_Mauricio_2014.pdf?sequence=1

SCIELO. La biomasa de los cultivos en el ecosistema y sus beneficios agroecológicos. Cuba. [Consultado el 24 de septiembre del 2018] Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000100002

SERVICIO AGRICOLA Y GANADERO REGION DE ATACAMA. Pauta técnica para la aplicación de compost. 2017. [Consultado el 12 de octubre 2018]. Disponible en: http://www.sag.cl/sites/default/files/pauta-tecnica-aplicacion-de-compost-conc.1-2-3_region_atacama.pdf

SILVA Juan Pablo, LÓPEZ Piedad, VALENCIA Pady. Recuperación de nutrientes en fase sólida a través del compostaje. Cali, Colombia. P. 9 [Consultado el 11 de octubre 2018] Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsars/fulltext/compostaje.pdf>

TRATAMIENTO DE LA MATERIA ORGÁNICA. [Consultado el 23 de septiembre del 2018] Disponible en: http://www.errausketarikez.org/pdf/6.TRATAMIENTO_DE_MATERIA_ORGANICA.pdf

UNIDAD ADMINISTRATIVA ESPECIAL DE SERVICIOS PUBLICOS (UAESP).
Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de
metodologías de compostaje y lombricultura. [Consultado el 10 de Octubre 2018].
Disponible en: http://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf

UNIVERSIDAD ICESI. Manejo de residuos orgánicos e inorgánicos. [Consultado el
2 de octubre del 2018] Disponible en:
<http://eduteka.icesi.edu.co/proyectos.php/2/10735>

UNIVERSIDAD ICESI. Vermicompostaje. Cali, Colombia. p.42. [Consultado el 24
de septiembre del 2018] Disponible en:
https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/76623/1/dise%C3%B1o_experimental_enfoque.pdf-Página42.

UNIVERSIDAD JAVERIANA. Centro educativo tecnológico y de investigación
Puerto Gaitán, Meta.p.52 [Consultado el 15 de septiembre del 2018] Disponible
en: <https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/4088>

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA. Guia de lombricultura. Nicaragua p.9
[Consultado el 5 de noviembre de 2018], Disponible en:
<http://repositorio.una.edu.ni/2409/1/nf04s693.pdf>

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. Efecto de la aplicación de un
vermicompost en las propiedades químicas de un suelo salino-sódico del
semiárido venezolano. 2015. [Consultado el 12 de octubre del 2018] Disponible en
:https://revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/47115/55127

VALLEJO OCAMPO, Uver. Análisis del impacto social y ambiental de la gestión
integral de residuos sólidos en el municipio de Aguadas, Caldas. Universidad de
Manizales. Colombia. 2016. [Consultado el 11 de octubre del 2018] Disponible en:
<http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/2863/1/ANÁLISIS%20DEL%20IMPACTO%20SOCIAL%20Y%20AMBIENTAL%20DE%20LA%20GESTIÓN%20INTEGRAL%20DE%20RESIDUOS%20SÓLIDOS%20EN%20EL%20MUNICIPIO%20DE%20AGUADAS%2c%20CALDAS.pdf>

ANEXOS

ANEXO A.
PROYECCIÓN DE RESIDUOS EN TONELADAS DEL ÁREA URBANA PARA EL
MUNICIPIO DE PUERTO GAITÁN

Horizonte	Año	Total de residuos	Materia Orgánica	Plástico	Cartón	Papel	Vidrio	Metal	Otros
Corto	2016	8683,6	4505,9	1310,4	655,6	327,4	123,3	82,5	1678,5
	2017	8965,1	4652	1352,8	676,9	338	27,3	85,2	1732,9
	2018	9256,6	4803,3	1396,8	698,9	349	131,4	87,9	1789,3
	2019	9558,6	4960	1442,4	721,7	360,4	135,7	90,8	1847,7
	2020	9871,5	5122,3	1489,6	745,3	372,2	140,2	93,8	1908,2
Mediano	2021	10195,6	5290,5	1538,5	769,8	384,4	144,8	96,9	1970,8
	2022	10531,6	5464,9	1589,2	795,1	397	149,5	100,1	2035,8
	2023	10879,9	5645,6	1641,8	821,4	410,2	154,5	103,4	2103,1
	2024	11240,9	5832,9	1696,3	848,7	423,8	159,6	106,8	2172,9
	2025	11615,3	6027,2	1752,7	877	437,9	164,9	110,3	2245,2
Largo	2026	12003,5	6228,6	1811,3	906,3	452,5	170,4	114	2320,3
	2027	12406,1	6437,5	1872,1	936,7	467,7	176,2	117,9	2398,1
	2028	12823,8	6654,2	1935,1	968,2	483,5	182,1	121,8	2478,8
	2029	13257,1	6879,1	2000,5	1000,9	499,8	188,3	125,9	2562,6
	2030	13706,7	7112,4	2068,3	1034,9	516,7	194,6	130,2	2649,5
Diseño de sitio de disposición final (25 años)	2031	14173,2	7354,5	2138,7	1070,1	534,3	201,3	134,6	2739,7
	2032	14657,5	7605,8	2211,8	1106,6	552,6	208,1	139,2	2833,3
	2033	15160,1	7866,6	2287,7	1144,6	571,5	215,3	144	2930,5
	2034	15681,9	8137,4	2366,4	1184	591,2	222,7	149	3031,3
	2035	16223,7	8418,5	2448,2	1224,9	611,6	230,4	154,1	3136
	2036	16786,3	8710,4	2533,1	1267,4	632,8	238,4	159,5	3244,8
	2037	17370,6	9013,6	2621,2	1311,5	654,9	246,7	165	3357,7
	2038	17977,4	9328,5	2712,8	1357,3	677,7	255,3	170,8	3475
	2039	18607,7	9655,5	2807,9	1404,9	701,5	264,2	176,8	3596,9
	2040	19262,5	9995,3	2906,7	1454,3	726,2	273,5	183	3723,4
Total		330896,7	171702,3	49932	24983	12475	4698,7	3143,5	63962

ANEXO B.
PROYECCIÓN DE RESIDUOS EN TONELADAS DEL ÁREA RURAL PARA EL
MUNICIPIO DE PUERTO GAITÁN

Horizonte	Año	Total de residuos	Materia Org:	Zona Rural					Otros	
				Plástico	Cartón	Papel	Vidrio	Metal		
Corto	2016	7470,8	3227,8	1236,5	390,5	728,9	130,2	26	1731	
	2017	7619,5	3292	1261,1	398,2	743,4	132,7	26,5	1765,5	
	2018	7770,7	3357,4	1286,1	406,1	758,1	135,4	27,1	1800,5	
	2019	7924,4	3423,8	1311,5	414,2	773,1	138,1	27,6	1836,1	
	2020	8080,6	3491,3	1337,4	422,3	788,4	140,8	28,2	1872,3	
Mediano	2021	8239,9	3560,1	1363,7	430,7	803,9	143,6	28,7	1909,2	
	2022	8401,2	3629,8	1390,4	439,1	819,6	146,4	29,3	1946,6	
	2023	8566	3701	1417,7	447,7	835,7	149,2	29,8	1984,8	
	2024	8733,3	3773,3	1445,4	456,4	852	152,1	30,4	2023,6	
Largo	2025	8903,2	3846,7	1473,5	465,3	868,6	155,1	31	2062,9	
	2026	9076,5	3921,6	1502,2	474,4	885,5	158,1	31,6	2103,1	
	2027	9252,4	3997,6	1531,3	483,6	902,7	161,2	32,2	2143,9	
	2028	9431,9	3560,1	1363,7	430,7	803,9	143,6	28,7	3101,2	
	2029	9614,3	3560,1	1363,7	430,7	803,9	143,6	28,7	3283,7	
	2030	9800,3	3560,1	1363,7	430,7	803,9	143,6	28,7	3469,6	
	2031	9989,3	3560,1	1363,7	430,7	803,9	143,6	28,7	3658,6	
	2032	10181,8	3227,8	1236,5	390,5	728,9	130,2	26	4442,1	
	Diseño de sitio de disposición final (25 años)	2033	10377,9	3227,8	1236,5	390,5	728,9	130,2	26	4638,1
		2034	10578	3227,8	1236,5	390,5	728,9	130,2	26	4838,2
2035		10781,1	3227,8	1236,5	390,5	728,9	130,2	26	5041,3	
2036		10988,7	3227,8	1236,5	390,5	728,9	130,2	26	5249	
2037		11199,9	3227,8	1236,5	390,5	728,9	130,2	26	5460,1	
2038		11415,1	3227,8	1236,5	390,5	728,9	130,2	26	5675,3	
2039		11634,3	3227,8	1236,5	390,5	728,9	130,2	26	5894,6	
2040		11857,6	3227,8	1236,5	390,5	728,9	130,2	26	6117,9	
Total		237888,5	86512,8	33140	10465,3	19535,1	3488,4	697,7	84049,3	

ANEXO C.
VOLANTE DISEÑADO PARA LA SOCIALIZACION DEL MANEJO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS



ANEXO E. RESULTADOS FISICOQUIMICOS DE LOS TRATAMIENTOS OBTENIDOS



RESULTADOS DE ANÁLISIS R 60864

FOR 04 050, Version N° 12/2016-07-29



INSTITUTO DE HOROSCOPIA,
METEOROLOGÍA Y
ESTUDIOS AMBIENTALES
Laboratorio acreditado NTC-TSO/IEC 17025
Res. No. 2016 de 2014 y 1226 de 2016

Empresa: ATP INGENIERIA S.A.S - EN REORGANIZACION
Nit: 813000008 8
Dirección: Cra 7 BIS A N° 124-69
Solicitado por: MARIA IBANOBA OSORIO
Telefono: 3184666384
Celular: --
E-mail: maria.ibanoba@atpingeneria.com
Orden de Servicio: 28407

Fecha Recepción: 2018-10-20
Fecha de Emisión de Resultados: 2018-10-31
Fecha de Muestreo: 2018-10-19
Muestreo a Cargo de: CLIENTE
Plan de muestreo: No Reporta
Procedimiento de muestreo: No Reporta
Número total de muestras: 2
Lugar de Muestreo: Puntual Suelos
Tipo de Muestra: ARI() ARD() ARnD() AN()
AP() AM() S(X) AX()

Reporte de Resultados								
Item	Fecha de Análisis (AAAA-MM-DD)	Parámetro	Método	Técnica	Límite de Cuantificación del método	Unidad	MUESTRA 1	MUESTRA 2
							MS95837	MS95838
1	2018-10-25	Calcio Disponible	NTC 5349	Extracto con pasta de saturación--AA aire-acetileno	0,100	cmol(+)/kg	9,01	8,86
2	2018-10-26	Carbono organico total (COT)*	NTC 5403 Walkley & Black	Digestión, Titulometría	0,0600	%	5,60	5,59
3	2018-10-26	Cenizas	No Aplica	Calcinación a 550°C	N.A	%	56,5	56,2
4	2018-10-24	Conductividad Electrica*	NTC 5596:2008	Pasta de saturación, Electrometría	0,001	mmhos/cm	2,10	2,20
5	2018-10-29	Densidad Aparente*	NOM-021-RECNAT-2000, AS-03	Terron Parafinado	N.A	g/cm	0,849	0,878
6	2018-10-24	Fósforo total	IGAC	Digestión -colorimetría	1,5	mg/kg ss	2049	1994
7	2018-10-26	Humedad Natural*	IGAC 6a EDICIÓN, 2006	Gravimétrico	N.A	%	54,9	58,1
8	2018-10-29	Magnesio Disponible	NTC 5349	AA - Llama directa Aire-Acetileno	0,0330	cmol(+)/kg	3,689	3,398
9	2018-10-26	Materia orgánica	Cálculo- Walkley & Black	Digestión, Titulometría	0,10	%	5,60	5,59
10	2018-10-26	Nitrógeno total	NTC 5889: 2011-12-09	Digestion - kjeldahl, Titulometría	0,015	%	0,483	0,482
11	2018-10-24	pH*	Relación suelo:agua 1:1 IGAC	Electrometría	N.A	Und de pH	5,91	6,14
12	2018-10-30	Potasio Disponible	NTC 5349	AA-Llama Directa	0,0640	cmol(+)/kg	4,96	3,93
13	2018-10-29	Relación Carbono-Nitrogeno	Cálculo	Cálculo	N.A	%	11,579	11,612
14	2018-10-30	Sodio Disponible	NTC 5349	Extracto con pasta de saturación--AA aire-acetileno	0,0430	cmol(+)/kg	0,970	0,971

ARI: Agua Residual Industrial, ARD: Agua Residual Doméstica, ARnD: Agua Residual no Doméstica, AN: Agua Superficial o Subterránea, AP: Agua Potable, S: Suelo, AM: Agua Marina, AX: Otras

* ChemiLab tiene estos parámetros acreditados mediante resolución 2016 de 2014 y 1226 de 2016 del IDEAM.

** Análisis realizados por laboratorio subcontratado acreditado

(P) IICCA

Parámetro no acreditado

Observaciones: Métodos de Análisis aplicados según el Laboratorio de Suelos IGAC y US-EPA (aplica para suelos)
Métodos de Análisis aplicados según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (aplica para aguas)

Resultados validos únicamente para la(s) muestra(s) analizadas.

Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin autorización previa de ChemiLab S.A.S

MARI A CRISTINA CORTES FORERO
Director Técnico
PQ-4590



CHEMILAB S.A.S
Telefax: (571) 6702853

Página 1 de 2
CARRERA 21 N° 195-50, Bodega 6 y 7 B. Canaima
BOGOTÁ D.C.

ANEXO F. COTIZACIONES DE LOS EQUIPOS

CENTRAL S.A.S.

Avenida Américas No. 36-11 cel. 3102038051
Marcela.montero@centralsas.com
Bogotá – Colombia.



Bogotá, Noviembre 06 2018

PLUS AMBIENTE SAS E.S.P.
ATT: MARIA CAMILA PEREZ PEREZ
BOGOTA



COTMM263-2018

CARGADOR BOBCAT MODELO S450 DE BRAZO RADIAL VERSION CABINA ABIERTA

Modelo	S450
Capacidad de carga	608 Kilos.
Altura de descarga	2.78 .mm
Motor / Marca	Diesel / Kubota
Potencia	49 H.P.
Cilindrada	2.200 c.c.
Tipo de aspiración	Natural
Bomba Auxiliar	16,9 galones por minuto.
Llantas	10 X 16.5neumáticas
Ancho de la cuchara	1,57 metros. (62 pulgadas)
Capacidad de la cuchara (volumen)	0,40 m3
Largo de la maquina con cucharón.	3.17 metros.
Altura de la maquina	1.97 metros.
Peso de operación	2.365 kg

Garantía de un (1) año sin límite de horas.

CENTRAL S.A.S.

Avenida Américas No. 36-11 cel. 3102038051
Marcela.montero@centraisas.com
Bogotá – Colombia.



Potente iluminación:



Este nuevo sistema de iluminación (Luces halógenas) emite, un haz de luz de gran intensidad que amplia espectro en la zona de trabajo y permite laborar en horas nocturnas.

Auxiliar Hidráulico



Auxiliar hidráulico para la conexión de accesorios tales como el brazo excavador, ahoyador, grapas hidráulicas, y más de 50 accesorios disponibles en Bobcat.

Capacitación en nuestras instalaciones.

- ✓ Capacitación para sus operadores en los temas de:
- ✓ Seguridad.
- ✓ Mantenimiento.
- ✓ Operación.
- ✓ Entrenamiento en la realización de los trabajos de manera adecuada y segura.

CENTRAL S.A.S.

Avenida Américas No. 36-11 cel. 3102038051
Marcela.montero@centralsas.com
Bogotá – Colombia.



VALOR DE SU INVERSION.	
	Precios antes de IVA.
Cargador Bobcat modelo S450 versión cabina abierta llanta neumática y silla standar. No incluye cuchilla	US\$29.000
Cuchilla de doble perfil y esquineros instalados en la cuchara Opcional adicional	\$950.000

ADICIONAR IVA 5% para el cargador y 19% para la cuchilla

Condiciones comerciales:

Forma de pago: Contado – Leasing
Validez de la oferta: 5 días a partir de la fecha
Entrega: Inmediata en Bogotá.

Atentamente,

MARCELA MONTERO

División Comercial
CENTRAL S.A.S.
Cel. 3102038051
www.centralsas.com





F - 026 VERSION 01

Cotización

Número : 58933

Fecha : 08/11/2018

Fecha fin de validez : 08/12/2018

Equipos y Laboratorio De Colombia SAS

Nombre: Germán Quiroga Carneño

NIT 900.355.024-5

Cra 51 No 6 sur - 36 Medellín

Teléfono: 448 03 88

Correo: info@equiposylaboratorio.com

Web: www.equiposylaboratorio.com

ATP Integridad y Corrosión S.A.S

Señora María Ibanoba Osorio C

Email: maria.ibanoba@atpingeneria.com

Cel: 318 466 6384

Bogotá

Valores visualizados en Pesos Colombianos

Descripción	Valor Unitario	Cantidad	Valor Total
<p>STAR1215 - PHMETRO PORTATIL MARCA THERMO ORION</p> <p>PH Rango: -2.00 a 16.00-Resolución: 0.1, 0.01 Exactitud relativa: ±0.01 pH Puntos de Calibración: Hasta 3 MV/Rel mV/ORP Rango - mV: ±1600.0 mV-Rango - RmV: ±1999.9 mV Resolución: 0.1-Modo EH ORP: No Exactitud relativa: ±0.2 mV ó ±0.05 % de lectura, la que sea mayor</p> <p>Temperatura Rango: -5 a 105 °C, 23 a 221 °F Resolución: 0.1-Exactitud relativa: ±0.1 Compensación Temperatura: Automático o manual Temperatura Calibr. de Desviación: Si</p> <p>Registro de datos N° Registro de Datos: 50 Registro: Manual, Automático con AUTO-READ™</p> <p>Entradas Electrodo pH: BNC- Sonda ATC: mini-DIN 8 pines</p> <p>Alimentación Adapt. AC: Opcional – universal, 100-240 VAC Pilas: Incluido – 4 pilas AA-Duración Pila: 2000 hrs.</p> <p>EL EQUIPO INCLUYE: Kit de Medidor de pH Portátil Orion Star A121, Electrodo 9107BNMD Orion Triode relleno gel cuerpo hepático pH/ATC , Kit de solución (50 ml cada buffer de pH 4, 7 y 10; solución de almacenamiento y solución limpiadora), 911110 solución de enjuage, 10 bolsas, armadura de protección con soporte de electrodo y estuche rígido-4 pilas AA (instaladas).</p> <p>GARANTIA: TRES (3) POR DEFECTOS DE FABRICACION. NO INCLUYE MALOS MANEJOS</p>	2.960.000,00	1	2.960.000,00



Oferta de Equipos y suministros para Laboratorio

FV03-V5 Cotización No 88549

Señores: PLUS AMBIENTAL SA S ESP Dirección: C.C e NIT: 000000 Teléfono: E-Mail:	Fecha: 06/11/2018 Atención: SRA MARIA IBANOBA Validez: 06/12/2018 Forma Pago: ANTICIPADO Asesor: Cristina Blanco
--	---

Item	Producto	Cantidad	Entrega	Vr.Unitario	IVA Vigente	Vr.Total
1	Código del artículo:CC4154	1	06/11/2018	283.465	\$53.858	\$337.323

Equipo: TERMOHIGROMETRO CON ALARMA -50 A 70°C MINIMAS Y MAXIMAS HUMADAD 20-99%
Marc: CONTROL COMPAN
Especificaciones técnicas:
 TERMOHIGROMETRO CON ALARMA
 -50 A 70°C MINIMAS Y MAXIMAS HUMADAD 20-99%
 Es ideal para mediciones rutinarias, monitoreo las 24 horas, todas las necesidades de control de calidad y requisitos experimentales críticos.

Calibración multipunto en un Certificado Traceable @ ISO / IEC 17025:2005(175001) acreditado por A2LA. Indica la trazabilidad de las mediciones a las unidades del SI a través de NIST u otros institutos nacionales de medición reconocidos (MNI) que son signatarios del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo CPM.

La pantalla triple muestra simultáneamente la humedad mínima / máxima y actual, o la temperatura mínima / máxima y actual. La función de memoria mínima y máxima para la temperatura y la humedad permite monitorear las condiciones durante la noche, los fines de semana o cualquier período de tiempo. El sensor externo en un cable de 7 pies lee la temperatura y la humedad. El rango de humedad es de 5.0 a 95.0% con una resolución de 0.1%. La precisión es de ± 3% de HR de 25-75%, ± 5% de lo contrario. El rango de temperatura es de 32.0 a 140.0 ° F y de 0.0 a 60.0 ° C. La resolución es 0.1 °. Las precisiones ± 0.5 ° C.

La alarma suena cuando la lectura se eleva por encima o cae por debajo de los puntos de ajuste. La unidad se suministra con un soporte abatible para el banco de laboratorio y la ranura para el montaje en la pared. Vista fácil, dígitos de 1/2 pulgada de alto se pueden leer desde 10 pies. Se suministra con una batería AAA para un monitoreo continuo de 1 año y un sensor externo de humedad / temperatura. La caja es de plástico ABS de alto impacto y resistente a los productos químicos. La unidad mide 4-1 / 4 x 2-3 / 4 x 3/4 pulgadas y pesa 4 onzas. Reemplazo de la batería Cat. No. 1105.
GARANTIA UN AÑO POR DEFECTOS DE FABRICA



Observaciones:

* Fecha de entrega de productos sujeta a venta previa (ver fechas en cotización). Productos de importación no tienen cambio

Blamis Dotaciones Laboratorio S.A.S

Nit. 800.154351-3

OFICINAS Y ALMACEN AL PUBLICO:

BOGOTÁ: CARRERA 47 No. 94 A - 05 - LA CASTELLANA
 PBX: 611 18 51 - TEL.: 636 05 93 - FAX: 636 05 94
MEDELLIN: PBX: 2307982 - 4485720
CALI: PBX: 3315328 - 3733314
[WebSite: www.blamis.com.co](http://www.blamis.com.co)
 E-mail: blamis@blamis.com.co

¡MUESTRA EXPERIENCIA MARCA LA DIFERENCIA

*** Cosedora de sacos, portátil a 110V

Marca YAO HAN, ref: N600A, taiwanesa

Valor unitario.....\$880.000

SACOS

*** Hilo 100% poliéster, 5200 m x kilo, marca
NEWLONG, ref: 20S/6

Valor cono por 250 grm.....\$4.160

NUEVA COSEDORA PORTÁTIL Para cerrar sacos



**Modelo
NP-7A**



**De alta velocidad
con asa de plástico
y dispositivo
Lubricador**

Ideal para cerrar sacos
de papel, algodón, yute;
polipropileno con
productos agrícolas,
fertilizantes, harinas,
semillas, etc.



Uso opcional
NP-7A Coseadora equipada
de un pago de repuestos
con trípode básico.
Disponibles con precio
Adicional.

**Cadeneta de un
solo hilo**



- 1.500 - 1.600 r.p.m.
- Servicio técnico de
reparación, mantenimiento
y repuestos
- Biela de acero de
gran duración
(sin bielas de nylon)
- Corte automático de hilo
- Mantenimiento mínimo



CORTE POR COSTURA PLANA

Especificaciones	
Velocidad	5-6 segundos por saco
Puntada	7,2mm (3,5") fija. 1 y 2 hilos
Aguja	DNX1 No. 25
Peso	5,3 Kg (12 libras) con hilo

REPRESENTACIONES
ANIBAL ROJAS
S.7234

BOGOTÁ, B.C. Calle 13 No. 28-65 PBX: 370 66 64 FAX: 370 11 52
MEDELLÍN, Carrera 54 No. 50-43 Local 103 Tel: 231 26 68 Telefax: 231 91 41
newlongcol@arib.net.co

HILO PARA COSER SACOS NEWLONG

FICHA TÉCNICA	
<i>Uso</i>	Costura de sacos
<i>Composición</i>	100% poliéster
<i>Siliconado</i>	3 – 4%
<i>Resistencia/peso</i>	6.6 kg
<i>Longitud x kilo</i>	5200 m
<i>Número de cabos</i>	6
<i>Color</i>	Blanco
<i>Presentación</i>	Conos
<i>Tamaño</i>	250 grm caja x 100 unds. 1 kilo caja x 24 unds 2 kilos caja x 12 unds 4 kilos caja x 6 unds 8 kilos caja x 4 unds

REPRESENTACIONES ANÍBAL ROJAS LTDA.
PBX (1) 370 66 64 // www.anibalrojasltda.com



Documento Especifico Formato de Cotizaciones

Identificación: **DEFC-01**
 Revisión: **1**
 Fecha: **6/11/2018**

FC8-865

Mavin Colombia SAS

Nit: 900.970.770-9
 Calle 13 30-67 Barrio Ricaurte
 Bogota D.C. Colombia
 Ventas de Régimen Común

Cliente:

Razon Social: **plus ambiente sas**
 Email: **90144854-0**
 Dirección: **CRA 7 BIS# 124-69**
 Telefono: **3099227**

Fecha: 6/11/2018

Contacto: **DEIVI DARIO MORA**
 NIT:
 Movil:
 Vendedor: **Bianca O.**

Cant	Imagen	Ref.	Item	Descripcion	Precio/ Unitario	Total \$
1		Bascula_Plat	1.5m x 1.5m	Bascula de Plataforma Bajo Perfil Industrial- Marca Moresco Capacidad: 3000kg Division de Escala: 1 kg Dim: 150 x 150 cm Alfajor Corrugado	\$ 3,800,000	\$ 3,800,000
Términos y Condiciones:					Subtotal (\$):	\$ 3,800,000
Mavin Colombia SAS 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. Mavin Colombia SAS no será responsable por cualquier error de precios que contengan.					Iva 19%	\$ 722,000
Forma de Pago					Flete/Envío:	
Pago 100% por Adelantado -- Generar pagos/Transferencia Bancarias a: Bancolombia Cuenta de Ahorros: 23160436191 Titular Mavin Colombia SAS Nit: 900.970.770-9					Total \$:	\$ 4,522,000
Envios/Fletes						
A menos que en el pedido se indique lo contrario, el comprador paga 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 Mavin Colombia SAS acuerde por escrito que asume la responsabilidad y el pago de tales cargos. La titularidad y el riesgo de pérdida pasará al comprador en el momento de entrega al transportador común.						
Tiempo de Garantía: Los Productos Cotizados cuentan con una Garantía limitada de 12 Meses Apartir de su Compra						

Elaborado por: **Bianca O.**
 Dept. Ventas

Aprobado Por: **Steven Moreno**
 Representante Legal

Mavin Colombia S.A.S. ** Soluciones de Medición y Control ** Nit: 900.970.770-9 ** IVA de régimen común ** Actividad Principal 4774 ICA 1104 x 1000
 www.mavincolombia.com ** Email: ventas@comercializadoraleader.com ** Tel: +571 3751574 ** Calle 13 #30-67 Bogota D.C. Ricaurte



Equipos y Destrucciones JV S.A.S

Bogotá D.C., Noviembre 8 de 2018

Cotización No. CTJV-118-18 001

Señores
PLUS AMBIENTE SAS ESP
NIT 901.044.854-0
Sra. María Ibanoba Osorio
Analista de compras
Ciudad

Asunto: COTIZACION EQUIPOS

Respetados Señores:

Nos complace presentarle nuestra empresa EQUIPOS Y DESTRUCCIONES JV S.A.S, con más de 16 años de experiencia en el mercado de elaboración de equipos y maquinaria para el manejo de Residuos sólidos orgánicos e inorgánicos en el país.

Todos los diseños de nuestros equipos son propios, únicos, exclusivos y adaptados a las necesidades propias de nuestros clientes. Se encuentran en proceso de Registro de Diseño Industrial y Patente ante la Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia. El Diseñador de nuestra maquinaria junto con un equipo de Ingenieros siempre está en un mejoramiento continuo de los Equipos, basado en los avances tecnológicos y aprendizaje en diferentes congresos, seminarios y ferias a nivel nacional e internacional para que logren una alta eficiencia y presten un mejor servicio en sus procesos.

Contamos en nuestra experiencia con el montaje de varias Plantas de Manejo de Residuos Sólidos en diferentes municipios del territorio nacional y una amplia gama de maquinaria en diferentes empresas y lugares del país.

A través del tiempo nos hemos hecho un excelente nombre reuniendo dos factores relevantes en todo negocio: Buen precio y excelente calidad.

Nuestra premisa es cumplir con nuestra maquinaria las expectativas y necesidades de nuestros clientes.

Por lo anterior nos permitimos presentar cotización de los siguientes equipos

MAS DE
16
AÑOS
CONTIGO



clientes@equiposydestrucciones.com



Telefono: 9277304 Celular: 3209118208



Bogotá, Colombia



Equipos y Destrucciones JV s.a.s

RIOTRITURADORA

- ✓ Cuerpo del equipo fabricado en lámina de acero A36 según norma ASTM
- ✓ Sistema de trituración por cuchillas fijas y móviles tipo masa cortante
- ✓ Tres cuchillas dinámicas y dos estáticas
- ✓ Triturado por medio de cuchillas y expulsores tipo martillo
- ✓ Unidad motriz de 25 HP, 220 VAC
- ✓ Rendimiento: 4000-5000 kilos/hora aproximadamente



MAS DE
16
AÑOS
CONTIGO



clientes@equiposydestrucciones.com



Telefono: 9277304 Celular: 3209118208



Bogotá, Colombia



Equipos y Destrucciones JV s.a.s

ZARANDA 3x1

- ✓ Housing con graduación para aumentar o disminuir la frecuencia de vibración.
- ✓ Montado sobre doble chumacera tipo FY para trabajo pesado.
- ✓ Caja vibradora soportada mediante cuatro (4) muelles en espiral para trabajo pesado.
- ✓ Mecanismo vibrador por rotor desbalanceado.
- ✓ Dimensiones de la malla de 300 x 100 cm. Aprox.
- ✓ Tres bocas de salida
- ✓ Malla con hueco de 3 a 5 mm aproximadamente, en alambre de acero calidad 1070 y 1030.
- ✓ Motor trifásico de 12 HP, 220 V, 1750 RPM.
- ✓ Transmisión mecánica por doble correa trapezoidal
- ✓ Capacidad:

NOTA: el grado de humedad del material a ingresar a este equipo debe ser del 5% para que no se colmate el residuo y afecte la producción del mismo.



IMAGEN ILUSTRATIVA

ERD JV S.A.S. SE RESERVA EL DERECHO DE HACER CAMBIOS EN LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS EQUIPOS SIN PREVIO AVISO; ESTO CON EL FIN DE MANTENER EL DESARROLLO TECNOLOGICO Y MEJORAMIENTO CONTINUO.

AS DE
16
AÑOS
CONTIGO

 clientes@equiposydestrucciones.com



Telefono: 9277304 Celular: 3209118208



Bogotá, Colombia



ZARANDA VIBRATORIA Y SELECCIONADORES DINÁMICOS ROTATIVOS Z I 2

Diseñado y fabricado para ser mas eficiente en el tamizaje del abono orgánico disminuyendo el nivel de colmatamiento de las mallas o cribas.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
POTENCIA	12HP
OSCILACIÓN	3/16"ajustable a 1500 ciclos x minuto
GRANULOMETRÍA FINAL	Múltiples Mallas
CAPACIDAD**	5Tonelada/hora
VOLTAJE	220/440

DIMENSIONES DEL EQUIPO	
LARGO EQUIPO TOTAL (MM)	2500 aprox
ANCHO EQUIPO TOTAL (MM)	1500 aprox
ALTO EQUIPO TOTAL (MM)	2500 aprox

ÁREA	
CLASIFICACIÓN	3x1



**Fluctúa ampliamente por variables como humedad, distribución y granulometría, etc.

ESTE DOCUMENTO HACE PARTE DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL Y MORAL DE EQUIPOS Y DESTRUCCIONES J.V.S.A.S.™ E & D J.V.S.A.S.™ Y POR TANTO NO PODRÁ SER DIFUNDIR NI EXTRAÍR INFORMACIÓN POR INICIATIVA PROPIA, O BIEN DE SU DESTINATARIO, PARA EFECTOS DIFERENTES DE LA PROMOCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS EQUIPOS E & D J.V.S.A.S.™, EXCEPTO POR ORDEN Y/O APROBACIÓN EXPRESA DE E & D J.V.S.A.S.™, A TRAVÉS DE SU REPRESENTANTE LEGAL, Y SE INCURRIRÁ EN EL CASO EN QUE SE OCURRA EN LAS CONDICIONES PENALES ESTABLECIDAS POR LA LEY POR LA VIOLACIÓN DE RESERVA DE SECRETOS INDUSTRIALES, RESERVA DE PATENTES E INVENCIÓNES. E & D J.V.S.A.S. SE RESERVA EL DERECHO DE HACER CAMBIOS EN LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS SIN PREVIO AVISO, ESTO CON EL FIN DE MANTENER EL DESARROLLO TECNOLÓGICO Y MEJORA EN EL TIEMPO CONTINUO.



CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS	
CARGA	9Kw - 32A - 220 V.A.C
CONEXIÓN ELÉCTRICA	trifásica +tierra 220V Protección Breaker tripolar 40A tipo C conductor 10AWG (Max 20m)
ESTIMADO EN VACÍO	21A aprox
ESTIMADO EN CONSUMO	31A aprox

ESTRUCTURA ROBUSTA HR	✓
TAMIZA	✓
SEPARA	✓
SELECCIONA POR TAMAÑO DE PARTICULA	✓
MECANISMO DINÁMICO	✓
MECANISMO OSCILATORIO	✓
MECANISMO VIBRATORIO	✓
MOTOR TRIFÁSICO	✓
CLP (CONTROL LOGICO PROGRAMABLE)	✓
NORMAS RETIE	✓

ESTE DOCUMENTO HACE PARTE DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL Y MORAL DE EQUIPOS Y DESTRUCCIONES J.V.S. A.S. E & D J.V.S.A.S.™ Y POR TANTO NO PODRÁ SER DIFUNDIR NI EXTRAER INFORMACIÓN POR WIC O A VA PROPIA Y/O AJENA DE SU DESTINATARIO, PARA EFECTOS DIFERENTES DE LA PROMOCIÓN Y EVALUACIÓN DE LOS EQUIPOS E & D J.V.S. A.S.™, EXCEPTO POR ORDEN Y/O APROBACIÓN EXPRESA DE E & D J.V.S. A.S.™, A TRAVÉS DE SU REPRESENTANTE LEGAL, Y SE INCURRIRÁ EN EL CASO QUE SEA SI OCURRAN EN LAS SANCIÓNES PENALES ESTABLECIDAS POR LA LEY POR LA VIOLACIÓN O RESERVA DE SECRETO INDUSTRIAL O RESERVA DE PATENTES E INVENCIÓNES. E & D J.V.S. A.S. SE RESERVA EL DERECHO DE HACER CAMBIOS EN LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS ANTERIORMENTE MENCIONADOS, ESTO CON EL FIN DE MANTENER EL DESARROLLO TECNOLÓGICO Y MEJORAMIENTO CONTINUO.



COTIZACION

EQUIPOS COTIZADOS	CANT.	Precio Unitario antes de IVA
BIOTRITURADORA	1	\$32.190.000
ZARANDA	1	\$26.690.000

La propuesta Incluye:

- *Manual de operación y de mantenimiento del equipo;*
- *Pruebas y capacitación sobre la operación y mantenimiento preventivo del equipo para el momento de la entrega en la planta de Equipos y Destrucciones JV S.A.S. en la ciudad de Bogotá. En caso de requerirla fuera de la ciudad se cobrarán gastos de viaje y viáticos.*
- *Certificado de garantía por escrito del equipo por un (1) año contado a partir de la fecha de entrega del mismo o desde el momento que se informe al cliente su disponibilidad.*



Equipos y Destrucciones JV s.a.s

Bogotá D.C., Noviembre 15 de 2018

Cotización No. CTJV-120-18 001

Señores
PLUS AMBIENTE SAS ESP
NIT 901.044.854-0
Sra. María Ibanoba Osorio
Analista de compras
Ciudad

Asunto: COTIZACION EQUIPOS

Respetados Señores:

Nos complace presentarle nuestra empresa EQUIPOS Y DESTRUCCIONES JV S.A.S, con más de 16 años de experiencia en el mercado de elaboración de equipos y maquinaria para el manejo de Residuos sólidos orgánicos e inorgánicos en el país.

Todos los diseños de nuestros equipos son propios, únicos, exclusivos y adaptados a las necesidades propias de nuestros clientes. Se encuentran en proceso de Registro de Diseño Industrial y Patente ante la Superintendencia de Industria y Comercio de Colombia. El Diseñador de nuestra maquinaria junto con un equipo de Ingenieros siempre está en un mejoramiento continuo de los Equipos, basado en los avances tecnológicos y aprendizaje en diferentes congresos, seminarios y ferias a nivel nacional e internacional para que logren una alta eficiencia y presten un mejor servicio en sus procesos.

Contamos en nuestra experiencia con el montaje de varias Plantas de Manejo de Residuos Sólidos en diferentes municipios del territorio nacional y una amplia gama de maquinaria en diferentes empresas y lugares del país.

A través del tiempo nos hemos hecho un excelente nombre reuniendo dos factores relevantes en todo negocio: Buen precio y excelente calidad.

Nuestra premisa es cumplir con nuestra maquinaria las expectativas y necesidades de nuestros clientes.

Por lo anterior nos permitimos presentar cotización de los siguientes equipos

MAS DE
16
AÑOS
CONTIGO



clientes@equiposydestrucciones.com



Telefono: 9277304 Celular: 3209118208



Bogotá, Colombia



Equipos y Destrucciones JV s.a.s

MEZCLADORA DE ABONO

- ✓ Cuerpo del equipo fabricado en lámina de acero A36 según norma ASTM
- ✓ Eje macizo para evitar deformaciones
- ✓ Agitadores en perfil austenizado
- ✓ Moto reductor de 12HP
- ✓ Tablero de control
- ✓ Sistema de ensaque directo

SECADORA DE ABONO

- ✓ Cuerpo del equipo fabricado en lámina de acero A36 según norma ASTM
- ✓ Cilindro Rotativo de velocidad variable
- ✓ Quemador a gas
- ✓ Motoreductor de 7,5 HP
- ✓ Sistema de rotación compuesto por rodamiento guiado

*E&D JV S.A.S. SE RESERVA EL DERECHO DE HACER CAMBIOS EN LAS ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LOS EQUIPOS SIN PREVIO AVISO;
ESTO CON EL FIN DE MANTENER EL DESARROLLO TECNOLÓGICO Y MEJORAMIENTO CONTINUO.*

MAS DE
16
AÑOS
CONTIGO



clientes@equiposydestrucciones.com



Telefono: 9277304 Celular: 3209118208



Bogotá, Colombia



Equipos y Destrucciones JV S.A.S

COTIZACION

EQUIPOS COTIZADOS	CANT.	Precio Unitario antes de IVA
MEZCLADORA PARA ABONO	1	\$27.690.000
SECADORA PARA ABONO	1	\$38.290.000

La propuesta Incluye:

- *Manual de operación y de mantenimiento del equipo;*
- *Pruebas y capacitación sobre la operación y mantenimiento preventivo del equipo para el momento de la entrega en la planta de Equipos y Destrucciones JV S.A.S. en la ciudad de Bogotá. En caso de requerirla fuera de la ciudad se cobrarán gastos de viaje y viáticos.*
- *Certificado de garantía por escrito del equipo por un (1) año contado a partir de la fecha de entrega del mismo o desde el momento que se informe al cliente su disponibilidad.*

ANEXO G. DIMENSIONAMIENTO DE CAMAS O SISTEMAS DE VERMICOMPOSTAJE.

Horizonte	Año	RSO (Toniaño)		Total RSO (Toniaño)	% RSO RECUPERABLE (Toniaño)	Cantidad RSO (Ton/horizonte año)	Tiempo aproximado del proceso (meses)	Cantidad total RSO (Ton/ Lote)	cantidad de aditivo (Ton/lote)	Cantidad de tierra										
		Zona Rural	Zona Urbana																	
Corto	Mediano	Largo	2019	4960	3423,8	8383,8	419,19	467,3	3,0	116,8	50,8	58,4								
			2020	5122,3	3491,3	8613,6	430,68													
			2021	5290,5	3560,1	8850,6	442,53													
			2022	5464,9	3629,8	9094,7	454,735													
			2023	5645,6	3701	9346,6	467,33													
			2024	5832,9	3773,3	9606,2	480,62													
			2025	6027,2	3846,7	9873,9	494,69													
			2026	6228,6	3921,6	10150,2	509,51													
			2027	6437,5	3997,6	10435,1	525,01													
			2028	6654,2	4074,9	10729,1	541,23													
			2029	6879,1	4153,6	11032,7	558,19													
			2030	7112,4	4233,9	11346,3	575,82													
			2031	7354,5	4315,8	11670,3	594,51	1067,3	3,0	266,8	116,0	133,4								
			2032	7605,8	4399,3	12005,1	614,76													
			2033	7866,6	4483,3	12350,0	635,73													
			2034	8137,4	4567,8	12705,2	657,45													
			2035	8418,5	4652,8	13070,3	680,62													
			2036	8710,4	4738,3	13445,7	705,27													
			2037	9013,6	4824,4	13831,0	731,43													
			2038	9328,5	4911,1	14226,6	759,13													
			2039	9655,5	5000,0	14632,5	788,31													
			2040	9995,3	5090,1	15048,4	819,01													
						2031	7354,5						4315,8	11670,3	594,51	1983,5	3,0	495,9	215,6	247,9
						2032	7605,8						4399,3	12005,1	614,76					
2033	7866,6	4483,3				12350,0	635,73													
2034	8137,4	4567,8				12705,2	657,45													
2035	8418,5	4652,8				13070,3	680,62													
2036	8710,4	4738,3				13445,7	705,27													
2037	9013,6	4824,4				13831,0	731,43													
2038	9328,5	4911,1				14226,6	759,13													
2039	9655,5	5000,0				14632,5	788,31													
2040	9995,3	5090,1				15048,4	819,01													

Horizonte	Año	RSO (Toniaño)		Total RSO (Toniaño)	% RSO RECUPERABLE (Toniaño)	Cantidad de Papel	Cantidad de lecho	Cantidad total de alimento al sistema (Ton/lot)	cantidad de lombriz (Ton/lot)	Volumen de RSO (m3/lot)	Cantidad de camas (2mx40mx0,5m)											
		Zona Rural	Zona Urbana																			
Corto	Mediano	Largo	2019	4960	3423,8	8383,8	419,19	342,4	2556,8	14364,4	1711,9	35783,1	745,48									
			2020	5122,3	3491,3	8613,6	430,68															
			2021	5290,5	3560,1	8850,6	442,53															
			2022	5464,9	3629,8	9094,7	454,735															
			2023	5645,6	3701	9346,6	467,33															
			2024	5832,9	3773,3	9606,2	480,62															
			2025	6027,2	3846,7	9873,9	494,69															
			2026	6228,6	3921,6	10150,2	509,51															
			2027	6437,5	3997,6	10435,1	525,01															
			2028	6654,2	4074,9	10729,1	541,23															
			2029	6879,1	4153,6	11032,7	558,19															
			2030	7112,4	4233,9	11346,3	575,82															
			2031	7354,5	4315,8	11670,3	594,51	377,3	7516,5	20866,0	1886,7	41144,0	857,17									
			2032	7605,8	4399,3	12005,1	614,76															
			2033	7866,6	4483,3	12350,0	635,73															
			2034	8137,4	4567,8	12705,2	657,45															
			2035	8418,5	4652,8	13070,3	680,62															
			2036	8710,4	4738,3	13445,7	705,27															
			2037	9013,6	4824,4	13831,0	731,43															
			2038	9328,5	4911,1	14226,6	759,13															
			2039	9655,5	5000,0	14632,5	788,31															
			2040	9995,3	5090,1	15048,4	819,01															
						2031	7354,5							4315,8	11670,3	594,51	356,0	18160,5	32635,2	1780,1	46015,3	958,7
						2032	7605,8							4399,3	12005,1	614,76						
2033	7866,6	4483,3				12350,0	635,73															
2034	8137,4	4567,8				12705,2	657,45															
2035	8418,5	4652,8				13070,3	680,62															
2036	8710,4	4738,3				13445,7	705,27															
2037	9013,6	4824,4				13831,0	731,43															
2038	9328,5	4911,1				14226,6	759,13															
2039	9655,5	5000,0				14632,5	788,31															
2040	9995,3	5090,1				15048,4	819,01															

**ANEXO H.
IPC PROYECTADO**

IPC proyectado	
Año	Inflación (\$)
2006	4,48
2007	5,69
2008	7,67
2009	2,00
2010	3,17
2011	3,73
2012	2,44
2013	1,94
2014	3,66
2015	6,77
2016	5,75
2017	4,09
2018*	4,13
2019*	4,11
2020*	4,08
2021*	4,06
2022*	4,04
2023*	4,01
2024*	3,99
2025*	3,96
2026*	3,94
2027*	3,92
2028*	3,89
2029*	3,87
2030*	3,85

ANEXO I. FLUJO DE CAJA NETO

Descripción	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Ventas brutas	204.246.000,00	218.412.630,00	233.530.605,00	249.651.138,00	266.864.400,00	570.427.811,00
Costos totales	144.259.039,09	150.419.959,30	156.808.600,02	163.431.679,90	170.296.039,03	177.408.637,69
Beneficio antes de impuesto	59.986.960,91	67.992.670,70	76.722.004,98	86.219.458,10	96.568.360,97	393.019.173,31
Impuesto sobre la renta 33%	19.795.697,10	22.437.581,33	25.318.261,64	28.452.421,17	31.867.559,12	129.696.327,19
Flujo de caja neto	40.191.263,81	45.555.089,37	51.403.743,34	57.767.036,93	64.700.801,85	263.322.846,12
Descripción	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Ventas brutas	609.562.689	651.322.350	695.864.845	707.648.506	751.238.930	797.567.511
Costos totales	184.776.554,8775	192.406.986,7005	200.307.244,4845	208.484.752,7218	216.947.046,7793	225.701.770,111
Beneficio antes de impuesto	424.786.134,1225	458.915.363,2995	495.557.600,5155	499.163.753,2782	534.291.883,2207	571.865.741,400
Impuesto sobre la renta 33%	140.179.424,2604	151.442.069,8888	163.534.008,1701	164.724.038,5818	176.316.321,4628	188.715.694,111
Flujo de caja neto	284.606.709,8621	307.473.293,4107	332.023.592,3454	334.439.714,6964	357.975.561,7579	383.150.046,2889