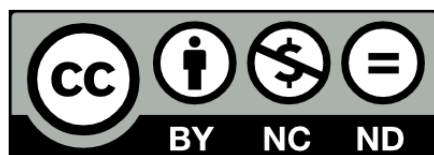


EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS (COMPOSTAJE, LOMBRICULTURA Y BOKASHI)
PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS DOMICILIARIOS
GENERADOS EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE PUERTO GAITÁN-META.



CAROLINA RICO URRUTIA
JHOAN SEBASTIÁN LEGUÍZAMO OLARTE



UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2019

EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS (COMPOSTAJE, LOMBRICULTURA Y BOKASHI)
PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS DOMICILIARIOS
GENERADOS EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE PUERTO GAITÁN-META.

CAROLINA RICO URRUTIA
JHOAN SEBASTIÁN LEGUÍZAMO OLARTE

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingenieros Ambientales

Director
JAMES MARTÍN SANTIAGO ESCOBAR
Ingeniero Ambiental

Codirector
CESAR AUGUSTO RIVEROS
Ingeniero Agrónomo

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL
VILLAVICENCIO

2019

Autoridades Académicas

P JUAN UBALDO LÓPEZ SALAMANCA, O.P.

Rector General

P MAURICIO ANTONIO CORTES GALLEGO, O.P.

Vicerrector Académico General

P JOSÉ ARTURO RESTREPO RESTREPO, O.P.

Rector Sede Villavicencio

P RODRIGO GARCÍA JARA, O.P.

Vicerrector Académico Sede Villavicencio

Adm. JULIETH ANDREA SIERRA TOBÓN

Secretaria de División Sede Villavicencio

Ing. YÉSSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana Facultad de Ingeniería Ambiental

Notas de Aceptación

YÉSICA NATALIA MOSQUERA BELTRÁN

Decana de la facultad de Ingeniería Ambiental

JAMES MARTÍN SANTIAGO ESCOBAR

Director trabajo de grado

MARÍA ALEXANDRA MÉNDEZ LEAL

Jurado

ALFONSINA BOCANEGRA TORRES

Jurado

Villavicencio, abril de 2019

Agradecimientos

Quiero brindar agradecimientos a Dios, primeramente, a nuestros padres, hermanos y familiares por apoyar esta meta, a todos los profesores de la facultad de Ingeniería ambiental por compartir su valioso conocimiento con nosotros, por hacer, en algunos casos, difícil nuestros días, por los regaños, consejos, por los parciales y quices inesperados, por hacernos trasnochar casi siempre, por las lágrimas y sonrisas y por muchos factores más; gracias.

Gracias a nuestra decana de facultad por querernos y guiarnos, por brindar sus conocimientos, por querer llevarnos siempre a la excelencia y velar por el bien colectivo.

Gracias a todo el equipo administrativo y directivo, a los celadores, a las aseadoras, a los podadores, a las personas de la cafetería por el buen servicio que nos brindaron día a día.

Gracias a nuestro director de trabajo de grado, a la alcaldía municipal de Puerto Gaitán-Meta y a la empresa de servicios públicos Perla del Manacacías por el apoyo brindado.

Infinitas gracias a todos por formar más que profesionales de Ingeniería, unas buenas personas.

Contenido

	Pág.
Resumen	12
Abstract	13
Introducción.....	14
1. Planteamiento del problema	15
1.1 Formulación del problema.....	16
2. Objetivos	17
2.1. Objetivo general	17
2.2. Objetivos específicos	17
3. Justificación.....	18
4. Delimitación	20
4.1 Delimitación espacial.....	20
4.2. Delimitación Temporal	21
5. Marco de referencia	22
5.1 Antecedentes	22
5.2 Marco teórico	24
5.3 Marco conceptual.....	26
5.4 Marco legal.....	27
6. Marco metodológico	28
6.1 Diseño de la investigación	28
6.2 Fase 1. Selección de la muestra.....	28
6.1.1 Recolección de información poblacional y demográfica	29
6.1.2 Aplicación del modelo probabilístico por conglomerados bietápico	30
6.3 Fase 2: Recolección y muestreo	33
6.3.1 Sensibilización	34
6.3.2 Recolección de residuos sólidos orgánicos domiciliarios	35
6.3.3 Implementación del método de cuarteo.....	36
6.4 Fase 3: Caracterización fisicoquímica	37

6.5 Fase 4: Selección de tecnología y dimensionamiento	40
6.5.1 Matriz de comparación de criterios	40
6.5.2 Dimensionamiento de la tecnología seleccionada.....	41
6.6 Diseño de la guía de operaciones	46
7. Resultados y análisis	47
7.1 Resultados caracterización Fisicoquímica.....	47
7.2 Selección de la tecnología de aprovechamiento: Matriz de decisión	50
7.3 Dimensionamiento estructural de la tecnología seleccionada	60
7.4 Guía para lombricultura en el municipio de Puerto Gaitán-Meta.....	63
7.4.1 Montaje del Lombricultivo	64
7.4.2 Condiciones a tener en cuenta del Lombricultivo.	66
8. Conclusiones.....	69
9. Referencias bibliográficas	71
10. Apéndices.....	78

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Condiciones ideales para el compostaje.	25
Tabla 2. Condiciones para el establecimiento de la lombriz.	25
Tabla 3. Comparación entre el proceso de compostaje y Bokashi.	26
Tabla 4. Resumen de fuentes consultadas.	29
Tabla 5. Datos de barrios del casco urbano del Municipio.	30
Tabla 6. Muestra de la población objeto de estudio.	31
Tabla 7. Conglomerados seleccionados	32
Tabla 8. Evidencia fotográfica sensibilización.	34
Tabla 9. Evidencia fotográfica de recolección	35
Tabla 10. Método de cuarteo.	36
Tabla 11. Preparación de la muestra y análisis de laboratorio.	37
Tabla 12. Matriz de ponderado de criterios.	40
Tabla 13. Viabilidad de las tecnologías según su puntaje.	41
Tabla 14. Datos de población.	42
Tabla 15. Cronograma camas de lombricultivo.	45
Tabla 16. Resultado de análisis fisicoquímico.	47
Tabla 17. Matriz calificativa.	48
Tabla 18. Criterio 1. Características físico-químicas.	51
Tabla 19. Criterio 2. Condiciones técnicas.	52
Tabla 20. Criterio 3. Condiciones ambientales.	54
Tabla 21. Criterio 4. Frecuencia.	58
Tabla 22. Criterio 5. Costos.	58
Tabla 23. Criterio 6. Rentabilidad.	59
Tabla 24. Matriz de ponderado de criterio.	60
Tabla 25. Viabilidad de las tecnologías.	60
Tabla 26. Relaciones Carbono/Nitrógeno de diversos materiales orgánicos.	68
Tabla 27. Ejemplo de mezclas con relación C/N de 30:1 para zona Urbana	68

Tabla 28. Ejemplo de mezclas con relación C/N de 30:1 para zona Rural. 68

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Localización geográfica objeto de estudio	21
Figura 2. Número de documentos publicados por año relacionados con “Organic Waste, Physical-Chemical Characteristics”	22
Figura 3. Fases de metodología	28
Figura 4. Ubicación de los conglomerados seleccionados	33
Figura 5. Número de documentos publicados por año relacionados con “Composting” por Base de datos Scopus.....	55
Figura 6. Número de documentos publicados por año relacionados con “Vermiculture” por Base de datos Scopus.....	56
Figura 7. Número de documentos publicados por año relacionados con “Bokashi” por Base de datos Scopus	56
Figura 8. Distribución de aprovechamiento en Colombia de los residuos orgánicos	57
Figura 9. Vista general de las camas de lombricultura con sus respectivas dimensiones	61
Figura 10. Dimensiones de las camas de lombricultura y espaciamiento entre cada una	62
Figura 11. Camas de lombricultivo en tercera dimensión.....	63

Lista de apéndices

	Pág.
Apéndice A. Marco legal.....	78
Apéndice B. Respuesta a solicitud de Plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS) en la Secretaría de Agropecuaria y Medio Ambiente (SAMA) de la alcaldía Municipal.	82
Apéndice C. Respuesta a solicitud con cantidad de barrios y habitantes del Municipio en la Secretaría de Planeación de la alcaldía Municipal.....	83
Apéndice D. Respuesta de acompañamiento y apoyo por parte de la Empresa de Servicios Públicos de aseo Perla del Manacacias.	85
Apéndice E. Brochure.	86
Apéndice F. Formatos diligenciados por la comunidad participativa.....	87
Apéndice G. Guía de recomendaciones.	88
Apéndice H. NTC 5176.....	90

Resumen

En materia ambiental, social y económica es importante que las grandes industrias, municipios y departamentos opten por recurrir a buenas prácticas ambientales mediante la implementación de proyectos estratégicos como se presenta en este trabajo de evaluación de tecnologías (bokashi, lombricultura y compostaje) para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos domiciliarios en el casco urbano del municipio de Puerto Gaitán-Meta.

El desarrollo de esta investigación estuvo enmarcado en una perspectiva de caracterización tipo descriptiva con fines de identificación, esta propuesta es realizada debido a la evidente falta de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos domiciliarios, la cual beneficiaría a más de 17.912 habitantes que constituye el casco urbano del municipio. Se realizó la evaluación de tres tipos de abonos orgánicos (compost, lombricultura y bokashi) en cuatro fases: selección de la muestra de población, recolección y muestreo de los residuos, caracterización fisicoquímica y selección de la tecnología más apropiada, dimensionamiento y diseño de una guía de operación.

Según la evaluación de tecnologías; y teniendo en cuenta las fases de la investigación se logró concluir que la tecnología más viable para el municipio de Puerto Gaitán Meta es la tecnología lombricultura adaptándose a condiciones ambientales, técnicas, frecuencia, costos, rentabilidad y características fisicoquímicas de los residuos.

Palabras Clave: Lombricultura, Bokashi, Compostaje, Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos domiciliarios.

Abstract

In environmental, social and economic matters it is important that large industries, municipalities and departments choose to resort to good environmental practices through the implementation of strategic projects as presented in this work of evaluation of technologies (bokashi, vermiculture and composting) for the use of residential solid waste in the urban area of the municipality of Puerto Gaitán-Meta.

The development of this research was framed in a descriptive characterization perspective for identification purposes, a proposal made due to the evident lack of use of solid organic waste at home, which would benefit more than 17,912 inhabitants that constitutes the urban center of the municipality. The evaluation of three types of organic fertilizers (compost, vermiculture and bokashi) was carried out in four phases: selection of the population sample, collection and sampling of the waste, physicochemical characterization and selection of the most appropriate technology, sizing and design of a operation guide.

According to the evaluation of technologies; and taking into account the phases of the investigation, it was concluded that the most viable technology for the municipality of Puerto Gaitán Meta is earthworm technology adapting to environmental conditions, techniques, frequency, costs, profitability and physicochemical characteristics of the waste.

Keywords: Vermiculture, Bokashi, Composting, Use of household organic solid waste.

Introducción

Los residuos sólidos han ocasionado impactos ambientales negativos por el inadecuado manejo y disposición final que en algunos sitios se les da cotidianamente, ligado directamente con el incremento de la población humana, hábitos de consumo y a los diferentes y nuevos procesos de transformación industrial o a lo que denominamos actualmente globalización.

Según el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS, 2015), en el Municipio de Puerto Gaitán Meta del total de residuos producidos “el 39% corresponde a orgánicos y de estos sólo el 0,016% se aprovechan por medio de procesos de compostaje”, por lo cual los residuos no aprovechados son debidamente transportados en un recorrido de más de 194 kilómetros y dados a disposición final por parte del relleno sanitario Parque Ecológico Reciclante en el municipio de Villavicencio, Meta.

Esta investigación es el resultado de la necesidad del municipio de concientizar, aprovechar la materia prima, reducir costos que asume la administración para transporte y disposición final y sobre todo aportar al cuidado y preservación del medio ambiente.

Como aporte a esta problemática, fue necesaria la sensibilización en el casco urbano del municipio utilizando modelos estadísticos y medios de comunicación e información, así mismo recolección y análisis fisicoquímico de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios con el fin de identificar la tecnología más viable para el Municipio, teniendo en cuenta factores climáticos y de población. Siguiendo a esto, se dimensionó estructuralmente según los requerimientos de la tecnología seleccionada, así como su respectiva guía de recomendaciones, para una correcta ejecución de la planta de aprovechamiento.

Esta investigación aporta significativamente al medio ambiente creando una economía circular que relaciona directamente al Municipio de Puerto Gaitán, Meta, reduciendo costos y abriendo puertas de emprendimiento y empleo para personas interesadas en tecnologías que aportan a la preservación del suelo.

1. Planteamiento del problema

En los últimos años, el crecimiento exponencial de la población y el cambio en las costumbres alimenticias y de consumo, ha traído consigo el aumento de la producción de residuos, generando un acelerado deterioro de la calidad de aire, del agua, del suelo, y del paisaje. Esto en gran parte es ocasionado por los procesos de descomposición de la materia orgánica que, aun estando bajo un ambiente controlado (disposición final en rellenos sanitarios), genera la producción de olores ofensivos, gases tóxicos y de efecto invernadero, lixiviados con altas cargas contaminantes con composición físico-química y microbiológica compleja y la proliferación de vectores al crearse un ambiente propicio para su ciclo vital (J. F. Caldas Caicedo, 2016).

La disposición final en rellenos sanitarios es un mecanismo ampliamente utilizado en los países en vía de desarrollo para atender la gestión de los residuos sólidos en general. Los vertederos y/o rellenos sanitarios es la alternativa más aplicada, debido a que no implementan prácticas de recolección selectiva y de separación de los residuos en el lugar donde se originan. Sin embargo, esta tecnología cada vez es más obsoleta dada la pérdida del potencial energético y de aprovechamiento de los residuos, en especial de la fracción orgánica que representa por lo general de un 30 a 40 % de residuos generados en todo el mundo (AIDES, 2005). A esto se le agrega los altos costos de mantenimiento, la generación de lixiviados, formación de Gases de Efecto Invernadero (GEI), además de la dificultad creciente, en las grandes ciudades de América Latina y el Caribe, por lograr la ubicación adecuada, mediante la deducción de áreas y el rechazo de las comunidades aledañas a los rellenos sanitarios por la generación de malos olores y proliferación de vectores (Szanro. 2008; Calderón, 2017).

En Colombia el problema ambiental de los residuos sólidos ha aumentado considerablemente en los últimos años y se ha establecido normativamente su recolección, transporte, tratamiento y disposición final (D. M. Calderón, 2017). Según la superintendencia de servicios públicos domiciliarios (SSPD) en Colombia en el año 2008 se generaron 25.079 Ton/día de residuos, de los cuales el 90,99% (22.819,2 ton/día) fueron dispuestas en rellenos sanitarios y plantas integrales de tratamiento de residuos, permaneciendo la disposición inadecuada del 9,01% restante (2,26 ton/día) representados en 283 botaderos a cielo abierto, 19 enterramientos, 7 quemas y 8 cuerpos de agua. “La problemática de los residuos sólidos en América Latina y específicamente en

Colombia es notable, requiere de planes de emergencia y medidas profundas si se quiere llegar a dar una solución; por ello es importante crear operaciones y unidades de programas enfocados al uso, desecho y reutilización de mencionados residuos” (J. C. Rodríguez Contreras, 2015).

Según caracterizaciones de residuos sólidos urbanos en Colombia, retomados por el RAS- 1998, la proporción de residuos sólidos domiciliarios sobre los residuos sólidos urbanos adquiere el 55% de la producción per cápita (ppc). En el Municipio de Puerto Gaitán-Meta, no es ajeno a esta realidad. Los residuos sólidos en el municipio se han convertido en un problema creciente debido a la elevada tasa de producción de los mismos. Según el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) municipal, para el año 2015 la Producción Per Cápita (PPC) era de 1,5 Kg-hab/día, producción que supera lo establecido por el Reglamento Técnico RAS donde para municipios del mismo nivel de complejidad poblacional la PPC máxima que puede alcanzarse es de 0,95 kg-hab/día (PGIRS, 2015).

La elevada producción per cápita de residuos, es incluso mayor que grandes ciudades colombianas, el PGIRS de Puerto Gaitán (2015) y la empresa de servicio público Perlas del Manacacías E.S.P., informa que el municipio no cuenta con relleno sanitario, aprovechando mediante procesos de compostaje el 0.016% del 39% de residuos orgánicos producidos, es decir transportando el 99.98% de residuos sólidos de todo tipo en carros recolectores a más de 194 km de la ciudad, al relleno sanitario “Parque Ecológico Reciclante” del municipio de Villavicencio. Por tanto, disponer una tonelada de residuos tiene un costo aproximado de \$196.481 (incluye el total de gastos), lo que excede en un 80,7% al comparar por ejemplo el costo de una tonelada de residuos generados en la ciudad de Villavicencio que esta alrededor de los \$37.877 (PGIRS, 2015; Periódico del Meta, 2017).

1.1 Formulación del problema

¿Cuál es la tecnología de abonos orgánicos y dimensionamiento estructural adecuado para el aprovechamiento de los residuos orgánicos domiciliarios generados en el casco urbano del Municipio de Puerto Gaitán teniendo en cuenta sus características fisicoquímicas y cuantificación?

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar diferentes tecnologías (Compostaje, Lombricultura y Bokashi), para el aprovechamiento de residuos orgánicos domiciliarios generados en el casco urbano del Municipio de Puerto Gaitán, Meta.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar el contenido de macro y micronutrientes presentes en los residuos sólidos orgánicos domiciliarios aplicando metodologías analíticas y el kit de suelos La Motte.
- Analizar la aplicabilidad de las alternativas de aprovechamiento de residuos orgánicos dadas por Lombricultura, compostaje y bokashi, en función de las características de macro y micronutrientes determinadas y a las condiciones técnicas y ambientales requeridas. Mediante una matriz de comparación de criterios.
- Dimensionar una planta de aprovechamiento de residuos orgánicos de acuerdo a la tecnología de aprovechamiento más viable, utilizando el software de diseño AutoCAD.

3. Justificación

Según un informe nacional, de la disposición final de los residuos sólidos en el 2015, el 88,99% de los municipios en Colombia, disponen sus residuos en rellenos sanitarios y tan solo el 1,55% emplean plantas de tratamiento para este proceso, evidenciando el gran déficit que tiene el país en cuanto a la implementación de alternativas que aumenten el ciclo productivo de algunos desechos, que pueden dejar valores agregados a disposición y así mismo, contribuir con el medio ambiente (Superservicios, 2015).

En el municipio de Puerto Gaitán, Meta según (PGIRS, 2015) del total de residuos producidos el 39% corresponde a orgánicos y de estos solo el 0,016% se aprovechan. Aunque, según la política nacional para la gestión integral de los residuos sólidos CONPES 3874, en Colombia el 94% de los residuos entregados a servicio especializado de recolección son dispuestos de forma adecuada, y de los 1.122 municipios que posee, solo 124 altamente rurales, aún no poseen sitios de disposición final adecuados, Puerto Gaitán es uno de los municipios que no cuenta con sitios de disposición final de residuos sólidos y son llevados al relleno sanitario del municipio de Villavicencio. Esto, a pesar de ser una manera controlada de darles una disposición final, sigue teniendo efectos negativos.

De acuerdo a la Política Nacional para la Gestión de Residuos, el aprovechamiento se conoce como el conjunto de etapas sucesivas de un proceso, cuando la materia prima inicial es un residuo, su procesamiento con el fin de tener un producto o subproducto, va revalorizar el residuo con la nueva utilidad. En cuanto más se aproveche los residuos, va disminuir la demanda de disposición final trayendo grandes beneficios tanto en lo económico, como en lo ambiental (B. Ortega Vergara, C. Ruiz Corrales, 2014).

Existen diferentes tecnologías de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, las más usuales son el compost, lombricultivo y bokashi, empleadas en el acondicionamiento de suelos, existen otras tecnologías un poco más complejas, en las que resaltan el biocombustible que resulta de la materia orgánica de origen animal o vegetal, biofermentos, producción de biogás, entre otras (G. Jaramillo Henao y L. M. Zapata Márquez, 2008). Uno de los criterios de selección del tipo de tecnología para la obtención de abono orgánico es mediante la determinación de características fisicoquímicas de los residuos.

De acuerdo con el plan de gestión integral de residuos sólidos (2016), se invierte gran cantidad de presupuesto en la adquisición de abonos para el acondicionamiento de zonas verdes y en el plan de desarrollo previsto para la recuperación de zonas desforestadas.

Por tanto, en el estudio se realizó la determinación de las características físico-químicas (pH, nitrógeno, sulfato, fosforo, aluminio, magnesio, manganeso, relación c/n, materia orgánica y humedad) de los residuos sólidos orgánicos obtenidos a partir de ocho muestras recolectadas en el casco urbano del municipio, a partir de una matriz de comparación de criterios se seleccionó la tecnología de mayor viabilidad y posible eficacia a aplicar en el municipio, por último, se realizó el dimensionamiento estructura en AutoCAD de la tecnología de procesamiento de residuos orgánicos, aportando recomendaciones base que permitirán fortalecer las estrategias de mitigación de los impactos negativos ambientales del municipio.

4. Delimitación

4.1 Delimitación espacial

El Municipio de Puerto Gaitán se encuentra ubicado en el Departamento del Meta región de la Orinoquia de Colombia con una posición astronómica de $3^{\circ} - 05$ y $4^{\circ} - 08$ latitud Norte, $71^{\circ} - 05$ y $72^{\circ} - 30$ longitud Oeste, con un área de 17.424 km^2 , distante 110 kilómetros al oriente del centro geográfico de Colombia, situado a una altura de 149 metros sobre el nivel del mar, limita con las siguientes regiones, Norte: Departamento del Casanare Río Meta de por medio, Sur: Municipio de Mapiripán río Iteviare de por medio, Oriente: Departamento del Vichada, Occidente Municipio de Puerto López, río Yucao de por medio y San Martín; 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 (PGIRS, 2015).

Según las proyecciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), la población del municipio a 2015 la constituían 18.556 habitantes. Con un alto porcentaje de indígenas, de las etnias Sikuani, Achagua, Piapoco, Saliva, entre otras; agrupados en 64 comunidades y 10 Resguardos. El resto de la población se caracteriza por ser mestizos, en su mayoría pertenecientes a la cultura llanera, ubicados en los once centros poblados del municipio (PGIRS, 2015).

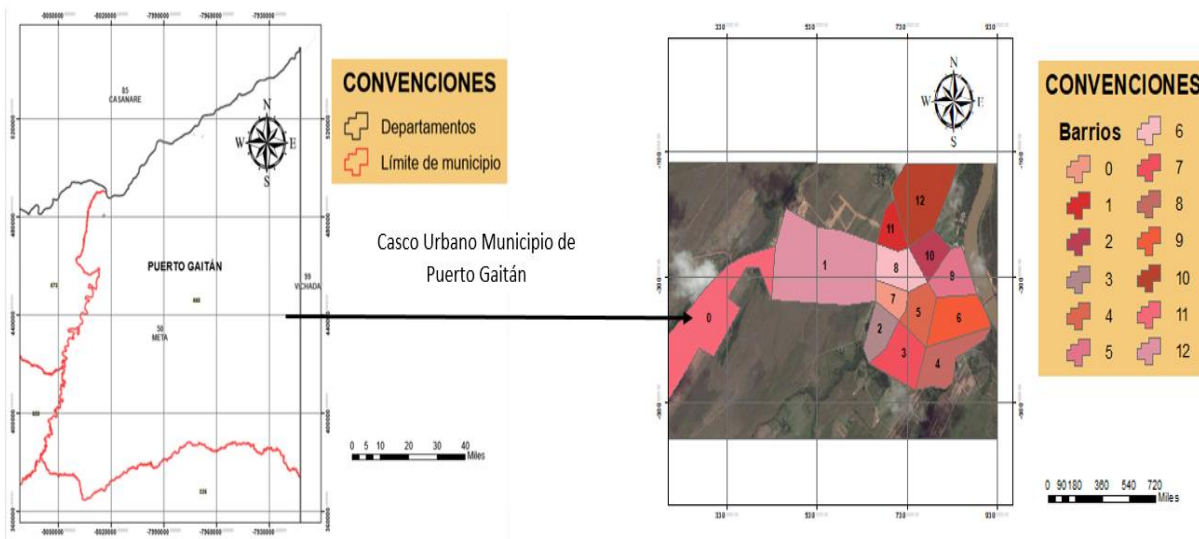


Figura 1. Localización geográfica objeto de estudio, por Leguízamo S., Rico C., 2018.

4.2. Delimitación Temporal

Para el desarrollo y ejecución del proyecto de investigación de tipo experimental, fue necesario llevar a cabo una serie de pasos o etapas que permitieron cumplir cada una de las actividades planteadas; la suma de estas actividades ejecutadas para el cumplimiento de los objetivos se desarrolló en el periodo del 4 de agosto del 2018 a 4 de febrero del 2019.

5. Marco de referencia

5.1 Antecedentes

Para determinar las tendencias de publicaciones acerca del aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, se realizó la vigilancia tecnológica, con el objeto de exponer los indicadores bibliométricos de actividad científica relacionados.

Con base en la búsqueda de indicadores cuantitativos acerca del aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, empleando las palabras clave -TITLE-ABS-KEY “Organic Waste, Physical-Chemical Characteristics.”-, se obtuvo 164 registros desde la base de datos Scopus, Scientist Direct (ELSEVIER, 2018).

En la figura 2, se presenta la dinámica científica de la producción de documentos publicados relacionados, durante un periodo de 1971 al 2017, incrementándose a partir del año 2001 y se ha mantenido una secuencia de al menos tres documentos por año, reportando la cantidad máxima alcanzada en el año 2010 con 14 artículos.

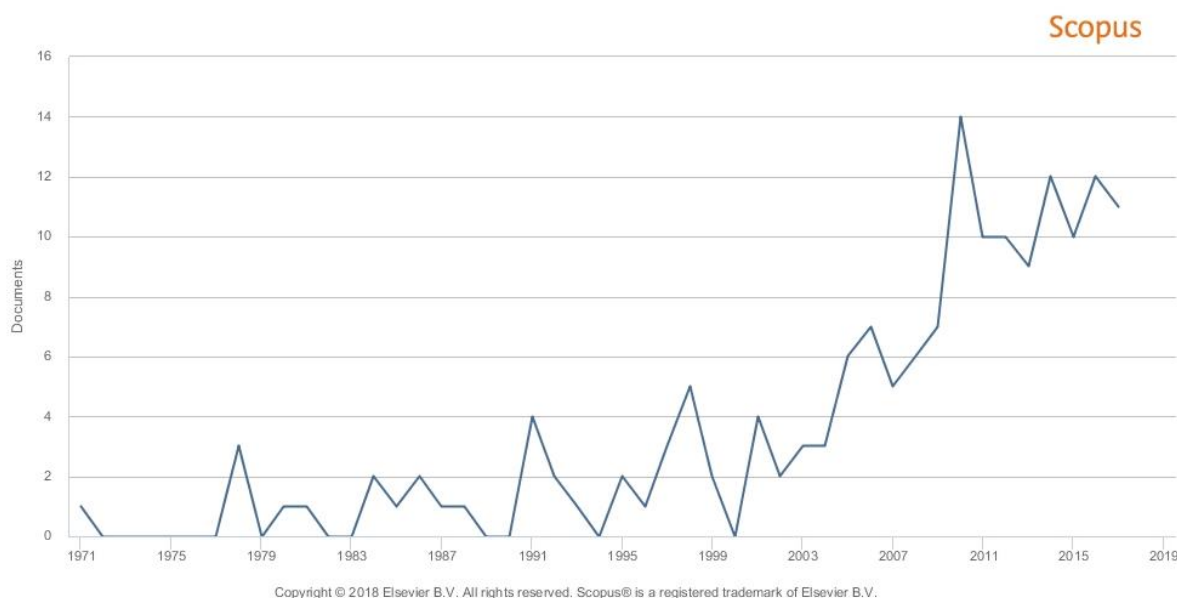


Figura 2. Número de documentos publicados por año relacionados con “Organic Waste, Physical-Chemical Characteristics”.

En la localidad de Engativá, en el barrio Álamos sector 4, se plateó un proyecto para la generación de bioabono, mediante el uso de la lombriz roja californiana. El objetivo fundamental del proyecto, era valorar los procesos del Bioabono, analizando los residuos orgánicos para obtener este material, con las respectivas características idóneas para su uso en la jardinería del sector y las posibilidades para su comercialización. Los resultados del proyecto fueron satisfactorios, ya que se aprovecharon alrededor de un 30% de la totalidad de los residuos generados en el sector y el rendimiento del Bioabono fue de 285% mensual (Rivera P, 2017).

En la Universidad de la Salle sede Candelaria, se hizo un experimento utilizando los residuos orgánicos generados allí, para ver que técnica era más eficiente en cuanto al costo beneficio, las alternativas eran la técnica bokashi y un equipo compostador Earth Green SAC 100.

El objetivo principal era preservar la relación C/N en (25:1) en ambas técnicas y mediante estudios de laboratorio, evaluar cuál de las dos alternativas era más eficiente en cuanto a los parámetros exigidos por la NTC 5167. Los resultados dieron que el compost obtenido por el equipo Earth Green SAC 100, es de mejor calidad que el compost obtenido por la técnica de Bokashi, según lo exigido por la NTC 5167, ya que esta última, no permite que se potencialicen parámetros como el carbón orgánico y la humedad para que haya una mejor distribución y retención de nutrientes (Pinto, O & Mayorga, D. 2015).

En el municipio de Puerto Gaitán en su zona urbana el aprovechamiento de los residuos orgánicos a través de la tecnología del compostaje es una actividad que solo es desarrollada por instituciones educativas mediante proyectos escolares ambientales PRAE, en la Institución Educativa Jorge Eliecer Gaitán realizan sus prácticas técnicas aplicando la lombricultura. En la zona rural es más aplicado el compostaje para la producción de abono orgánico para uso propio, a los finqueros para el año 2015 se les capacitó en este método de aprovechamiento de residuos orgánicos, dicha capacitación fue llevada a cabo por la cosmopolitana gestionada por la ANUC, Puerto Gaitán [Asociación Nacional de Usuarios Campesinos] (PGIRS, 2015).

Para el año 2015 La Secretaria Agropecuaria y Medio Ambiente SAMA en conjunto con la Corporación de desarrollo sostenible Cormacarena realizaron una capacitación a la comunidad denominada “Manejo Adecuado De los Residuos Sólidos” enfatizando en el compostaje como metodología para la disposición final de los residuos orgánicos (PGIRS, 2015).

En la vereda La Cristalina existe una Asociación de residuos sólidos y orgánicos las 3 R (Reducir, Reutilizar y Reciclar). ASO3R aplican procesos de compostaje para aprovechar los residuos orgánicos producidos en dicha vereda (PGIRS, 2015).

5.2 Marco teórico

Castañeda y Rodríguez (2017) en su proyecto “Modelo de aprovechamiento sustentable de residuos sólidos orgánicos en Cundinamarca, Colombia” buscan realizar una aproximación de un modelo de optimización conceptual, técnico y matemático para el apoyo en la toma de decisiones con el fin de minimizar impactos ambientales; el tipo de investigación de este trabajo se considera descriptiva, dado que se presentan algunas características fundamentales del fenómeno estudiado y se considera adicionalmente casi experimental.

Obteniendo un modelo de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos en las técnicas de tratamiento biológico de compostaje aeróbico y lombricultivo, optimizando el sistema con el ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero emitidos a la atmosfera, y en la reducción total del costo de disposición final de residuos sólidos orgánicos en el relleno sanitario.

Vargas Buitrago 2016 en su trabajo de grado para optar el título de Magister en Ciencias y Tecnologías Ambientales “Estudio técnico para la valorización de Residuos Sólidos Vegetales provenientes de la Plaza de Mercado San Francisco de Bucaramanga” desarrolló un estudio técnico para el aprovechamiento y valorización económica de desechos vegetales provenientes de la plaza de mercado San Francisco de Bucaramanga, identificando la composición de los residuos sólidos orgánicos generados, como factor determinante del potencial de aprovechamiento y valorización de dichos residuos.

Una vez realizado la anterior fase logrando determinar las alternativas y tecnologías acordes para el aprovechamiento de los residuos. Destacando, por ejemplo, el aprovechamiento de los residuos de piña para extraer bromelina, el cual posee gran valor comercial, medicinal y cosmetológico, y revisando otros residuos, finalmente proponen la conformación de una biorrefinería metropolitana con el propósito de extraer los compuestos empleando como materia prima los residuos orgánicos.

El compostaje es un proceso de descomposición predominantemente aeróbico, las prácticas de manejo deben crear condiciones óptimas para el establecimiento y desarrollo de los organismos.

Las condiciones que favorecen el crecimiento de los microorganismos aeróbicos son: presencia de oxígeno, temperatura, humedad y una nutrición balanceada. Otros factores que pueden afectar el desarrollo son: pH, fuentes energéticas de fácil solubilización como azúcares simples, y superficie de contacto o tamaño de partícula (G. Jaramillo Henao y L. M. Zapata Márquez, 2008). Las condiciones ideales para el compost se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1.

Condiciones ideales para el compostaje.

CONDICIÓN	RANGO ACEPTABLE	CONDICIÓN ÓPTIMA
Relación C:N	20:1 – 40:1	25:1 – 30:1
Humedad	40 % – 65 %	50% - 60%
Oxígeno	+5%	Aproximadamente 8%
pH	5.5 – 9.0	6.5 – 8.0
Temperatura (°C)	55 °C - 75°C	65 °C - 70°C
Tamaño de partícula	0,5 – 1,0	Variable

Nota: Estándares adecuados para la producción de abono por el método del compost, por G. Jaramillo Henao y L. M. Zapata Márquez, 2008.

En la lombricultura las lombrices requieren condiciones ambientales óptimas para su buen desarrollo, uno de estos factores es la humedad, dado que la lombriz requiere de un buen nivel para la alimentación y la respiración, las humedades superiores al 80% les generaría la muerte. En la misma medida se encuentra la temperatura, la cual presenta un rango muy limitado entre 20 y 33 grados centígrados. En la Tabla 2 se consolidan las condiciones ambientales óptimas para un buen proceso de compostaje (G. Jaramillo Henao y L. M. Zapata Márquez, 2008).

Tabla 2.

Condiciones para el establecimiento de la lombriz.

PARAMETRO	RANGO	OPTIMO
Temperatura	20 - 23	25 - 28
pH	5.5 – 9.0	6.8 - 7.2
Humedad	65 - 80	70 - 75

Nota: Estándares adecuados para el establecimiento de la lombriz roja californiana, por G. Jaramillo Henao y L. M. Zapata Márquez, 2008.

La receta japonesa Bokashi, mediante la cual aprovechan los residuos orgánicos de una forma similar al compostaje, el producto final se denomina también abono orgánico, la técnica es a través de volteos frecuentes y temperaturas por debajo de los 45-50 °C, hasta que la actividad microbiana disminuye al disminuir la humedad del material (G. Jaramillo Henao y L. M. Zapata Márquez, 2008). En la tabla 3 se ve el comparativo entre la tecnología de aprovechamiento Bokashi y compost.

Tabla 3.
Comparación entre el proceso de compostaje y Bokashi.

CARÁCTERÍSTICAS	COMPOST	BOCASHI
Producto final	Sustancias húmicas	Materia orgánica en descomposición
Temperaturas máximas	65 – 70 °C	45 – 50 °C
Humedad	60 % durante todo el proceso	Inicial 60% desciende rápidamente
Frecuencia de volteo	Regida por temperatura y CO ₂	Una o dos veces al día
Duración del proceso	De 1 a 2 meses	De 1 a 2 semanas

Nota: Comparación de las características entre el proceso de compostaje y Bokashi, por G. Jaramillo Henao y L. M. Zapata Márquez, 2008.

5.3 Marco conceptual

En el Municipio de Puerto Gaitán se presenta una problemática con el manejo y disposición final de residuos sólidos orgánicos desconociendo, el valor que tienen como materia prima para producción de compostaje; la gestión integral de residuos sólidos, “se define como sistema de las operaciones y prácticas encaminadas a suministrar a los residuos producidos el destino más apropiado desde el punto de vista ambiental, de acuerdo con sus características, volumen, origen, coste, tratamientos, medios de recuperación, aprovechamiento y disposición final” (A. J. Vargas Buitrago, 2016).

En el caso de los residuos sólidos orgánicos, son considerados como “todo tipo de residuo producido a partir de un ser compuesto de órganos naturales” (A. Chávez Porras y A. Rodríguez González, 2018), así mismo los residuos sólidos orgánicos domiciliarios son provenientes de hogares, contienen restos de verduras, frutas, residuos de alimentos preparados, podas de jardín y papeles (S.J.D de la Alcaldía Distrital Mayor de Bogotá, 1996) de los cuales se tendrán en cuenta para la elaboración de compostaje que define a la “práctica para el proceso de aprovechamiento de

componentes sólidos orgánicos basado en técnicas de mineralización y transformación de materia orgánica producida por microorganismos” (Comisión Nacional del Medio Ambiente, 1999) a través de una planta de aprovechamiento de mencionados residuos, que a su vez contribuye en beneficios, considerado así como “bien que se hace o se recibe” (RAE, 2018), en aspectos económicos y socio ambientales.

Para esta propuesta de investigación se tendrá en cuenta tres tipos de tecnologías objeto de estudio, como lo es el compostaje que se considera una tecnología de aprovechamiento que proporciona la posibilidad de transformar de una manera segura los residuos orgánicos en insumos para la producción agrícola (P. Román, M. M. Martínez y A. Pantoja, 2013). Esto se hace mediante proceso natural de putrefacción o descomposición de la materia orgánica, como residuos, desechos animales y restos de alimentos por los microorganismos, en condiciones controladas. El compost es importante porque mejora la salud del suelo en general y su resiliencia ante las crisis, como la sequía, incluyendo la adaptación al cambio climático (FAO, 2013).

La segunda tecnología es la lombricultura que hace referencia a la aplicación de normas y técnicas de producción utilizando las lombrices rojas californianas para reciclar residuos orgánicos biodegradables y, como fruto de su ingestión, los anélidos efectúan sus deyecciones convertidas en el fertilizante orgánico más importantes hoy disponible (E. Díaz, 2002).

Por último, la técnica Bokashi se entiende como un proceso de semi descomposición aeróbica (con presencia de oxígeno) de residuos orgánicos, por medio de poblaciones de microorganismos que existen en los propios residuos en condiciones controladas y que producen un material parcialmente estable, de lenta descomposición y que son capaces de fertilizar a las plantas y al mismo tiempo nutrir al suelo (M. P. Bertolí Herrera, 2015).

5.4 Marco legal

En Colombia existe variabilidad en legislación respecto a los residuos sólidos orgánicos generalizado, en cuando a domiciliarios en específico es poca. Se pueden apreciar distintas normas relacionadas con el tema de investigación objeto de estudio (Apéndice A).

6. Marco metodológico

6.1 Diseño de la investigación

El desarrollo de la investigación estuvo enmarcado en una perspectiva de caracterización. Según Sánchez (2010), esta es de tipo descriptiva con fines de identificación, entre otros aspectos, de los componentes, procesos que puede recurrir a datos o a lo cuantitativo con el fin de profundizar el conocimiento sobre un fenómeno, en este caso la tecnología más apropiada para aprovechar los residuos orgánicos en el municipio de Puerto Gaitán, Meta. El diseño de la investigación se desarrolló en 4 fases establecidas así; una primera fase denominada: selección de la muestra, una segunda fase de recolección y muestreo, una tercera fase de caracterización fisicoquímica y por último la cuarta fase correspondiente a la selección de la tecnología más apropiada, su respectivo dimensionamiento y diseño de una guía de operación. Tal y como se muestra en el diagrama de flujo de la figura 3.



Figura 3. Fases de metodología, por Leguizamo S., Rico C., 2018.

6.2 Fase 1. Selección de la muestra

Esta fase consistió en determinar el tamaño de la muestra para la aplicación de un proceso de recolección de residuos orgánicos para su posterior caracterización. Para ello se requirió de recolección de información poblacional a través de documentos bases como el Plan de Gestión

Integral de Residuos Sólidos (PGIRS, 2015) y la estratificación y demografía del municipio solicitada a la Alcaldía municipal. Seguido a ello se realizó el cálculo de un modelo probabilístico con los datos recolectados y por último se aplicó una recolección selectiva para los barrios seleccionados, con ayuda de la Empresa De Servicios Públicos del municipio de Puerto Gaitán, Meta, PERLAS DEL MANACACIAS.

6.1.1 Recolección de información poblacional y demográfica

Se requirió de información demográfica, poblacional y de gestión de residuos sólidos del casco urbano del municipio de Puerto Gaitán, se establecieron como indicadores de consulta: población y proyección poblacional, estratificación y demografía, producción per cápita de residuos sólidos, caracterización de los residuos sólidos y fracción orgánica de los residuos sólidos domiciliarios. De acuerdo a Rodríguez (2014, p.7), estos datos estadísticos sobre población, se extrae y depura de documentos de planificación. Para dicho fin se solicitaron las siguientes fuentes: ver tabla 4.

Tabla 4.
Resumen de fuentes consultadas.

Nombre de la fuente	Procedimiento de consulta	Apéndice
Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGRIS)	Solicitado a la Secretaría de Agropecuaria y Medio Ambiente (SAMA) de la Alcaldía Municipal de Puerto Gaitán	(Apéndice B)
Documento con cantidad de barrios y habitantes del Municipio	Solicitado a la Secretaría de Planeación de la alcaldía Municipal	(Apéndice C)
Acompañamiento en el proceso de recolección de los residuos orgánicos domiciliarios	Solicitud a la Empresa de Servicio Público de aseo Perla del Manacacías	(Apéndice D)

Nota: De las fuentes citadas en la tabla 4 se extrajeron los indicadores de consulta los cuales constituyeron el insumo de datos para el modelo probabilístico y la fase 3 y la posterior fase 4. Por Leguízamo S., Rico C., 2018.

6.1.2 Aplicación del modelo probabilístico por conglomerados bietápico

Para la aplicación de este modelo se utilizó el software EPIDAT 4.0 y se tuvo en cuenta la información de cantidad de habitantes del casco urbano del Municipio, cantidad y nombre de barrios (Apéndice C) obtenidas de la fase 1, y el promedio de habitantes por vivienda según el DANE, siendo este de 4 personas. Según Ochoa (2015), el muestreo por conglomerados es una técnica que aprovecha la existencia de grupos o conglomerados en la población que representan correctamente el total de la población en relación a la característica que queremos medir. Estos grupos contienen toda la variabilidad de la población, seleccionado únicamente algunos de estos conglomerados para realizar el estudio. En la tabla 5 se observa los datos poblacionales suministrados por la alcaldía municipal que sirvieron de insumo para el modelo probabilístico.

Tabla 5.
Datos de barrios del casco urbano del Municipio.

Total de habitantes en el		17.912 habitantes
casco urbano		
Barrios	Total de habitantes por barrio	Total de casas por barrio
Trampolín	664	166
Villa Ortiz	586	147
Esperanza	465	116
Popular	3523	880
Villa Amalia	1331	332
Vencedores	893	223
Paraíso Natural	940	235
Alto Manacacías	529	132
Carimagua	166	41
José A. Galán	1463	365
Triunfo	966	241
Manacacías	1184	296
Centro	425	106

Tabla 5. (Continuación).

Villa los Alpes	292	73
Urbanización Canaán	162	40
Perla del Manacacías	2836	709
Bello Horizonte	709	177
Invasión Mi Ranchito	709	177
Flor Amarillo	12	3
Villa Flor	6	1
Villa Valentina	18	4
Primera de Mayo	32	8
Nueva Jerusalén	1	1

Nota: Cantidad, nombre de barrios y número de casas por barrio objeto de estudio del casco urbano del Municipio de Puerto Gaitán, Meta. Por Lesmes J., Jefe oficina asesora de planeación del municipio de Puerto Gaitán Meta. Fecha: 08 de agosto del 2018.

Siguiente a esto se procedió a la implementación del software EPIDAT 4.0 el cual arrojó la muestra de la población objeto de estudio, mediante el muestreo por conglomerados bietápico; el cual fue el siguiente:

Tabla 6.

Muestra de la población objeto de estudio.

Reparto de la muestra:		Definir tamaño muestral de cada conglomerado
Seleccionar conglomerados usando:	Población	Muestra
Tamaño (Casas)	4456	36
Número de conglomerados (Barrios)	23	10

Nota: Especificaciones de la muestra objeto de estudio del Municipio de Puerto Gaitán, Meta. Por: Leguízamo S., Rico C., 2018.

Según la muestra obtenida, el software arroja los conglomerados (que en éste caso serían los barrios del casco urbano del Municipio objeto de estudio) como se muestra a continuación:

Tabla 7.

Conglomerados seleccionados.

Conglomerado	Muestra	
1. Urbanización Canaán	1	21
2. Villa los Alpes	2	16-59
3. Centro	3	41-51-68
4. Esperanza	3	13-44-48
5. Alto Manacacías	3	13-37-38
6. Villa Ortiz	3	7-19-113
7. Bello Horizonte	4	2-78-84-135
8. Triunfo	5	30-61-75-173-200
9. Villa Amalia	6	22-25-58-198-215-253
10. José A. Galán	6	3-122-192-206-263-334
Total	36	

Nota: Casas seleccionadas por conglomerado del casco urbano del Municipio de Puerto Gaitán. Por: Leguizamo S., Rico C., 2018.

Teniendo en cuenta los conglomerados seleccionados (barrios del casco urbano en el Municipio) se procedió a la ubicación de cada uno de ellos en Arc Map de la siguiente manera:

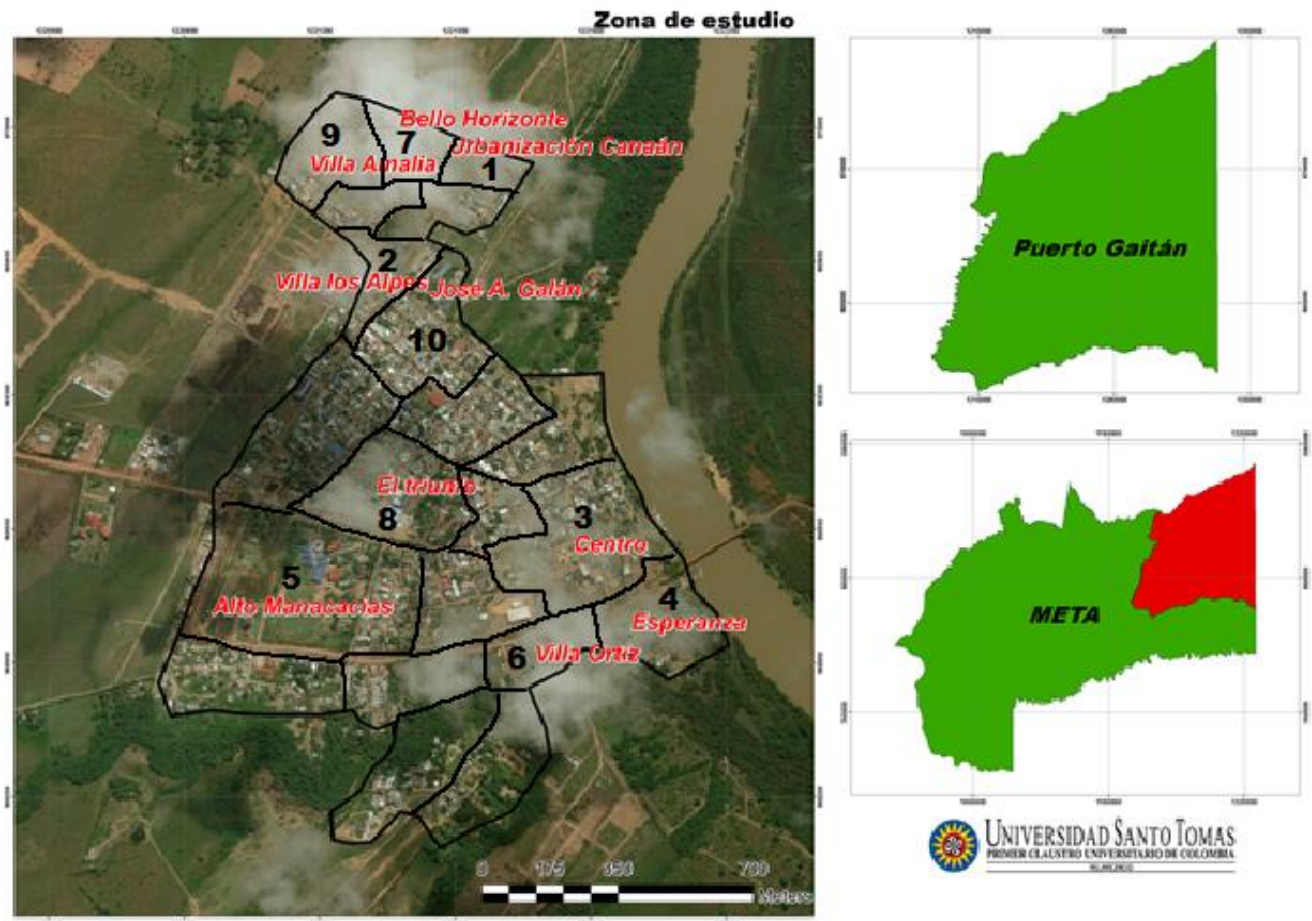


Figura 4. Ubicación de los conglomerados seleccionados, por Leguizamó S., Rico C., 2018.

6.3 Fase 2: Recolección y muestreo

Esta fase consistió en realizar muestreos aleatorios de acuerdo a los resultados de la fase 2 en su modelo probabilístico, se requirió sensibilizar a la comunidad objeto de estudio en cuanto al alcance del proyecto y el protocolo de separación en la fuente necesario para obtener la producción de residuos orgánicos de los hogares muestreados. Las muestras fueron recogidas en coordinación con la E.S.P Perlas del MANACACIAS, se recogieron los residuos orgánicos domiciliarios de 36 hogares en los barrios seleccionados, en un periodo de 4 meses, obteniendo un total de 8 muestras para el desarrollo de la investigación. Cada recolección era sometida al método de cuarteo para obtener una muestra homogénea y significativa del total de residuos orgánicos recolectados.

6.3.1 Sensibilización

Para el proceso de sensibilización en separación de residuos orgánicos en la fuente se tuvo en cuenta los lineamientos establecidos por Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2012) en su cartilla Educación, Formación y Sensibilización a comunidades. De acuerdo a ello se partió de la muestra poblacional dadas por las casas por barrio seleccionadas por el software EPIDAT 4.0 (ver tabla 3), se realizó la sensibilización a los habitantes presentes en el hogar, donde se les explicó el objetivo del proyecto, enfatizando en la relevancia de la comunidad en los procesos de recolección selectiva a través de la separación y segregación en la fuente.

En cada una de las viviendas se les otorgó como apoyo un Brochure (Apéndice E), donde se les brindó la información general del proyecto y se especificaba individualmente los residuos sólidos orgánicos domiciliarios más frecuentes en el hogar, con el fin de que los recolectaran en el periodo de duración del proyecto y la recolección selectiva coordinadas con la E.S.P. Perlas del MANACACIAS. Los residuos orgánicos fueron recolectados en bolsas de color verde biodegradables, así mismo se hizo un diligenciamiento de un formato de participación (Apéndice D).

Tabla 8.

Evidencia fotográfica sensibilización.

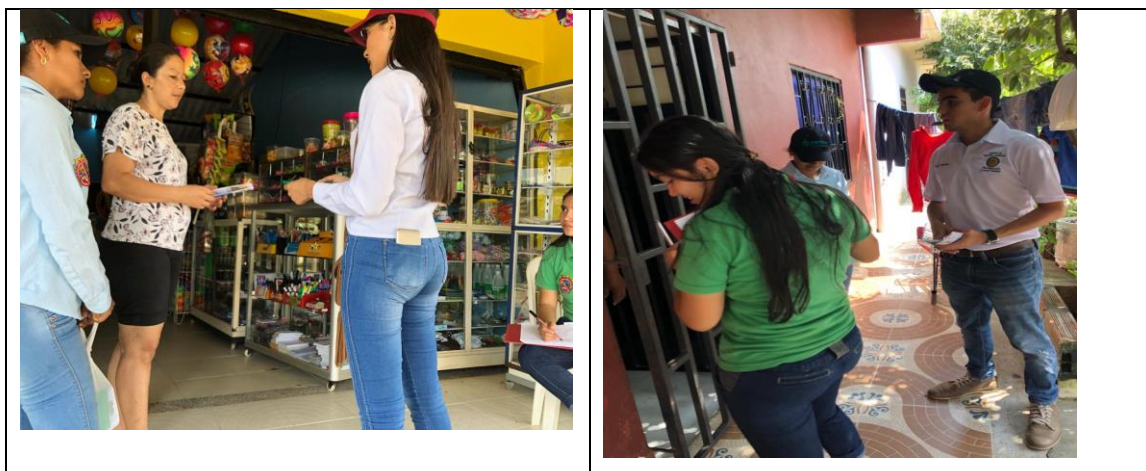


Tabla 8. (Continuación).



Nota: Evidencia fotográfica de sensibilización realizada en los conglomerados seleccionados. Leguizamó S., Rico C., 2018.

6.3.2 Recolección de residuos sólidos orgánicos domiciliarios

Terminada la etapa de sensibilización con la comunidad y pasadas las 24 horas, se procedió a recoger los residuos susceptibles de aprovechamiento, recolectados por la comunidad, con apoyo de la Empresa de Servicios Públicos Perla del Manacacías. Los residuos fueron recogidos 8 veces durante 4 meses. Estos eran transportados a una sede destinada por PERLAS DEL MANACACIAS para el proceso de cuarteo (Ver tabla 10).

Tabla 9.

Evidencia fotográfica de recolección.



Tabla 9. (Continuación).



Nota: Recolección de residuos sólidos orgánicos domiciliarios generados según los conglomerados seleccionados del casco urbano del Municipio de Puerto Gaitán, Meta. Por Leguizamón S., Rico C., 2018.

6.3.3 Implementación del método de cuarteo

Para la obtención de la muestra a llevar a laboratorio se aplicó el método de cuarteo de acuerdo a los estándares establecidos por el Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), título F. En concordancia a ello, se realizó la recolección de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios y el método de cuarteo (Tabla 10), realizado en una superficie de cemento, de la siguiente manera:

Tabla 10.

Método de cuarteo.

- | | | | |
|---|--|---|--|
| a. Se esparcieron los residuos recolectados en la superficie de cemento y se homogenizaron con la ayuda de una pala | b. Se formó una circunferencia y se dividió en cuatro partes iguales | c. Se tomaron dos de las cuatro partes y se realizó nuevamente una circunferencia | d. Se realizó este procedimiento reiteradamente hasta obtener la muestra requerida para el análisis de laboratorio |
|---|--|---|--|

Tabla 10. (Continuación).



Nota: Evidencia fotográfica del método de cuarteo realizado con los residuos sólidos orgánicos domiciliarios recolectados en el casco urbano del Municipio. Por Leguizamón S., Rico C., 2018.

6.4 Fase 3: Caracterización fisicoquímica

Esta fase consistió en realizar la caracterización fisicoquímica de las muestras obtenidas de la FASE 2, esta fase se desarrolló en sinergia con dicha fase. Los muestreos y conservación de las muestras se llevaron a cabo de acuerdo al protocolo establecido por la guía de muestreo del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC 2012) y en concordancia con los procedimientos de laboratorios para muestras de suelo, se siguió la metodología del kit de suelos LaMotte, desarrollándose tal y como se especifican en la tabla 11.

Tabla 11.
Preparación de la muestra y análisis de laboratorio.

Inicialmente se trituro la muestra obtenida con la ayuda de una trituradora Infiniety Force de 12 velocidades, posterior a esto, se almacenó en bolsas ziploc para luego llevarlo a laboratorio.	
---	--

Tabla 11. (Continuación).

Para iniciar la caracterización físicoquímica por medio del kit de suelos LaMotte, fue necesario dejar la muestra durante 24 horas en el horno Alfa Testing Equipment a una temperatura de 70 grados Celsius.		
Para este procedimiento se dispuso la muestra en dos bandejas para horno de aluminio, en una de ellas, se saca una cantidad específica de residuos previamente pesados para calcular la humedad pasada las 24 horas volviéndolo a pesar, la diferencia en peso es el valor de humedad que tiene el residuo orgánico.		
		
Con la muestra de residuos orgánicos ya seca, se procedió a tritularlo nuevamente por medio de un mortero, para luego pasarlo por el tamiz obteniendo una partícula más fina y así proceder a obtener las características químicas siguiendo la metodología del kit de suelos LaMotte.		

Tabla 11. (Continuación).

Los parámetros determinados fueron: Humedad, pH, Nitrato de Nitrógeno, Nitrito de Nitrógeno, Aluminio, Calcio, Magnesio, Carbono, Sulfato, Hierro, Manganeso, Fosforo, Potasio y Materia Orgánica.

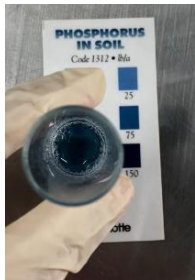
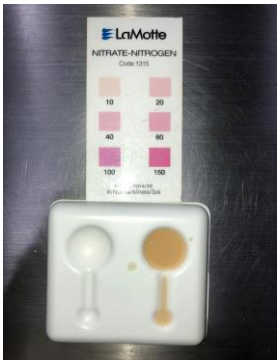
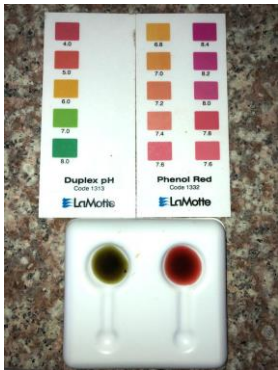
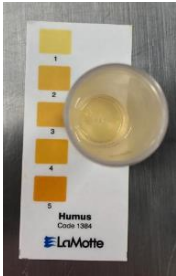


Tabla 11. (Continuación).

	
--	--

Nota: Preparación de la muestra y análisis de laboratorio con evidencia fotográfica. Por Leguizamo S., Rico C., 2018.

6.5 Fase 4: Selección de tecnología y dimensionamiento

En esta fase se construyó la matriz de comparación de criterios de acuerdo a; caracterización fisicoquímica (resultados fase 3), condiciones técnicas, condiciones ambientales, frecuencia, costos y rentabilidad, como resultado de dicha matriz se obtuvo la tecnología más viable para su posterior dimensionamiento con la herramienta de diseño AutoCAD. Teniendo ya clara la tecnología más viable se diseñó una guía de implementación y operaciones.

6.5.1 Matriz de comparación de criterios

Se elaboró una matriz de criterios de las tres tecnologías objeto de estudio (Compostaje, Lombricultura y Bokashi) fijando los siguientes criterios y ponderados basado en el método establecido por Pérez (2016).

Tabla 12.

Matriz de ponderado de criterios.

TECNOLOGÍA	C1	C2	C3	C4	C5	C6	TOTAL PONDERADO
COMPOSTAJE							
LOMBRICULTURA							
BOKASHI							

Nota: Matriz de ponderado de criterios basado en el método establecido por Pérez, 2016.

Para la construcción de la matriz de ponderación de criterio se partió de la caracterización físico-química que representa el criterio de mayor significancia. Metodológicamente se establecieron 5 criterios complementarios dados por; (condiciones técnicas, condiciones ambientales, frecuencia, costos y rentabilidad), que se definieron a partir de una revisión documental de las 3 tecnologías en el orden nacional e internacional y la información determinante de los documentos públicos de la gestión de residuos del municipio.

Viabilidad: para definir la viabilidad se pasó del orden cualitativo a lo cuantitativo de acuerdo a la ponderación obtenida de los criterios estudiados para cada tecnología definiéndolos de la siguiente manera:

Tabla 13.
Viabilidad de las tecnologías según su puntaje.

Viable	Viable con requerimientos considerables	Inviable
Sumatoria de criterios entre 14-21	Sumatoria de criterios entre 11-14	Sumatoria de criterios menor a <11

6.5.2 Dimensionamiento de la tecnología seleccionada

Una vez seleccionada la tecnología a aplicar se definieron los criterios de diseño, en primera instancia se definió la proyección de la población estableciendo el método estadístico geométrico. Los datos poblacionales fueron solicitados a la oficina municipal del Departamento Nacional de Estadísticas DANE, en un periodo de tiempo entre los años 2005-2020 (Ver tabla 14).

Tabla 14.

Datos de población.

AÑO	POBLACIÓN CABECERA MUNICIPAL
2005	6232
2006	6412
2007	6585
2008	6751
2009	6909
2010	7060
2011	7204
2012	7340
2013	7469
2014	7591
2015	7705
2016	7812
2017	7911
2018	8004
2019	8088

Nota: Número de población del casco urbano del Municipio de Puerto Gaitán con sus respectivos años, desde 2009-2019. Por DANE, 2018.

El Horizonte de diseño fue establecido para 12 años partiendo del año 2019, se utilizaron las siguientes ecuaciones para hallar la proyección de la población para el año 2033 en el Municipio:

$$R = \frac{Puc}{Pci}^{\frac{1}{Tuc-Tci}} - 1 \quad (1)$$

Donde:

R=Tasa de crecimiento

Puc= Población al final del periodo

Pci=Población al inicio del periodo

Tuc= Tiempo final en años

Tci= Tiempo inicial en años

$$Pf = Puc (1 + R)^{Tf - Tuc} \quad (2)$$

Donde:

Pf=Población final

Teniendo en cuenta los datos proporcionados por el DANE y reemplazando en las ecuaciones obtenemos la siguiente proyección de población del casco urbano del Municipio:

$$R = \frac{8088}{6232}^{\frac{1}{2019-2005}} - 1 = 0,0187 \quad (3)$$

$$Pf = 8088 (1 + 0,0187)^{2030-2005} = 12852 \quad (4)$$

Al reemplazar obtuvimos que la proyección de la población en el casco urbano del Municipio de Puerto Gaitán para el año 2030 es de 12852 habitantes.

Según el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) para el año 2015 la Producción Per Cápita (PPC) era de 1,5 Kg-hab/día, del total de residuos producidos, el 39% corresponde a orgánicos y de estos solo el 0,016% son aprovechados; así mismo a esta producción per cápita se le reduce un 10% que es considerado como residuos que no son aceptados para el proceso de lombricultura como carnes, huesos entre otros. Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado tenemos finalmente una producción de **0,4347 kg-hab/día**.

Según el resultado en la Ecuación 4, la proyección de población del casco urbano del municipio será de aproximadamente 12852 habitantes, relacionado con la producción per cápita mencionada en el anterior párrafo, se tendría:

$$12852 \text{ habitantes} * 0,4347 \frac{kg}{habitante * día} = 5586,7644 \text{ kg} * día \quad (5)$$

Según lo afirma Díaz, 2002 en la Guía de Lombricultura en Colombia la cantidad de lombriz roja californiana por metro cuadrado es de 10 kg y según lo establecido las dimensiones de cada cama serán de la siguiente forma:

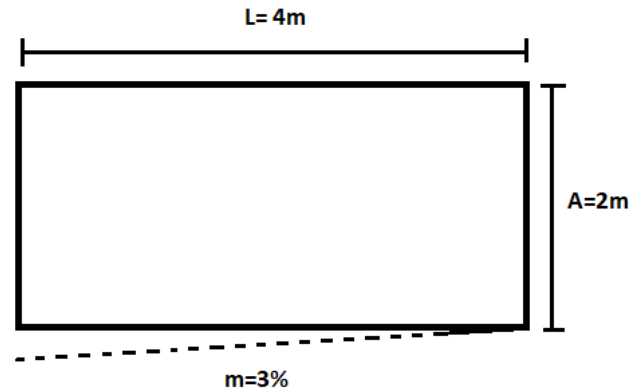


Figura 5. Dimensiones de una cama para lombricultivo. Por: Rico, 2019.

Teniendo en cuenta la cantidad de lombriz por metro cuadrado y las dimensiones de cada cama para lombricultivo, se relacionan de la siguiente manera:

$$A = 4m * 2m = 8m^2 \quad (6)$$

$$8m^2 * 10 \frac{kg \text{ lombriz}}{m^2} = 80kg \text{ de lombriz por cama}$$

Díaz, 2002 menciona que el consumo de residuos sólidos orgánicos domiciliarios de una lombriz es equivalente a la mitad del peso de la misma, por lo tanto:

$$\frac{80 \text{ kg de lombriz por cama}}{2} = 40 \text{ kg de residuos al día por cama} \quad (7)$$

Sucesivo a esto; conociendo la cantidad de residuos sólidos orgánicos que se generan al día según lo muestra la Ecuación 5 y la cantidad de residuos que se necesitan por cama según lo muestra la Ecuación 7, realizamos una regla de tres para distinguir la cantidad de camas que se deben implementar para suplir la necesidad de producción de residuos en el Municipio de la siguiente manera:

$$40kg - - - \rightarrow 1$$

$$5586,7644 \frac{kg}{día} - - - \rightarrow X \quad (8)$$

$$X = 140 \text{ camas}$$

Cabe resaltar que, aunque el número de camas para abastecer la producción de residuos sólidos orgánicos domiciliarios del casco urbano sean 140, no es pertinente iniciar con esta cantidad; pues según lo menciona (Somarriba y Guzmán, 2004) la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) se duplica cada 90 días aproximadamente por ser uno de las especies de lombriz más prolíferas. Es decir, que, es recomendable iniciar con 20 camas al inicio del lombricultivo y a medida que la especie se va reproduciendo así mismo se van ampliando el espacio y las demás camas como lo muestra el siguiente cronograma de actividades (Tabla 15):

Tabla 15.
Cronograma camas de lombricultivo.

MES/ACTIVIDAD	20 CAMAS DE LOMBRICULTIVO	REPRODUCCIÓN DE LOMBRIZ
MES 1		
MES 2		
MES 3		
MES 4		
MES 5		
MES 6		
MES 7		
MES 8		
MES 9		
MES 10		
MES 11		
MES 12		
MES 13		
MES 14		
MES 15		
MES 16		

Nota: Cronograma para la implementación de camas de lombricultivo con relación a la capacidad de reproducción de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). Por: Leguízamo S., Rico C., 2019.

Finalmente teniendo la cantidad de camas a implementar procedimos a realizar las dimensiones estructurales de la planta de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos domiciliarios en el software AUTOCAD como se muestra en los resultados.

6.6 Diseño de la guía de operaciones

Se realizó una guía de recomendaciones para la pertinente implementación de la tecnología seleccionada de aprovechamiento de los residuos orgánicos domiciliarios generados en el Municipio de Puerto Gaitán, la cual incluye actividades a tener en cuenta en cada una de las fases y las especificaciones necesarias para su puesta en marcha teniendo en cuenta condiciones técnicas y ambientales del municipio, basados en investigaciones de diferentes autores a nivel internacional, nacional y local.

7. Resultados y análisis

7.1 Resultados caracterización Físicoquímica

En total se realizaron ocho laboratorios, el promedio de los resultados se relaciona en la tabla 16, los parámetros de humedad, pH y relación de C/N condicionan el tipo de tecnología apropiada a aplicar a la materia orgánica objeto de estudio. Dichos parámetros pueden ser variados y controlados en los diferentes procesos de aprovechamiento. Los macro y micronutrientes son esenciales para la calidad del producto final, en la tabla 17 se puede observar una comparación de los resultados obtenidos de acuerdo a rangos establecidos por un Laboratorio de suelos externo.

Tabla 16.

Resultado de análisis físicoquímico.

PARÁMETRO	UNIDAD	LAB. 1	LAB. 2	LAB. 3	LAB. 4	LAB. 5	LAB. 6	LAB. 7	LAB. 8	PROMEDIO
Humedad	%	81,6	78,25	79,33	80,13	75,27	76,24	79,04	74,21	77,705
pH	Unidades de pH	6,4	6,2	6,4	7,8	7,8	7,1	7,4	8	7,1375
%Carbono	%	2	3	3	4	4	3	2	4	3,125
Relación C/N	%	20/1	20/1	30/1	26,6/1	40/1	30/1	20/1	26,6/1	26,4/1
%Nitrógeno	%	0,1	0,15	0,1	0,15	0,1	0,1	0,1	0,15	0,118
Fósforo	ppm	25	25	50	25	75	25	50	25	37,5
Aluminio	ppm		5	5	5	5	5	5	5	5
Calcio	ppm	50	50	100	50	100	75	50	50	65.62
Magnesio	ppm	10	10	5	10	25	10	25	5	12,5
Manganeso	ppm	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Sulfato	ppm	10	10	50	50	25	10	50	50	31,87
Hierro férrico	lb/acre	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Nota: Resultados del análisis físicoquímico de las ocho muestras de residuos sólidos orgánicos domiciliarios recolectadas en el casco urbano del Municipio de Puerto Gaitán, Meta. Por Leguizamo S., Rico C., 2018.

Tabla 17.

Matriz calificativa.

PARÁMETROS	RESULTADO DE ANÁLISIS	RANGO ADECUADO	CALIFICACIÓN
PH	7.14	6.6 – 7.3	NORMAL
NITRÓGENO - %	0.118	0.10 – 0.20	NORMAL
FÓSFORO – ppm	37,5	15.0 – 40.0	NORMAL
ALUMINIO – ppm	5	1.00 – 10.0	NORMAL
CALCIO – ppm	65.6	30.0 - 100	NORMAL
MAGNESIO – ppm	12.5	15.0 – 30.0	NORMAL
MANGANESO – ppm	5	10.0 – 20.0	BAJO
SULFATO – ppm	31.9	10.0 – 20.0	ALTO
HIERRO FÉRRICO – ppm	25	20.0 -100	NORMAL

Nota: Matriz calificativa según los rangos otorgados por el Laboratorio de suelos externo, con el promedio de los resultados obtenidos del análisis químico de las ocho muestras de residuos sólidos orgánicos domiciliarios recolectadas en el casco urbano del Municipio de Puerto Gaitán, Meta. Por Leguizamo S., Rico C., 2018.

De acuerdo a los resultados obtenidos en laboratorio y a los rangos de la tabla 18, se identificó que dos de los parámetros evaluados se encuentran fuera de los valores recomendados; uno de ellos es el Manganeseo (Mn), encontrándose por debajo del rango. Según Chen (2018), el Mn es un importante micronutriente para las plantas, que contribuye al funcionamiento de varios procesos biológicos incluyendo la fotosíntesis, la respiración y la asimilación de nitrógeno. En contraste el Sulfato (SO_{4-2}) excede su rango apropiado, aunque es un importante nutriente, su abundancia puede ocasionar daño a las plantas Quiminet (2013).

Las muestras analizadas no presentan mayores inconvenientes para su aprovechamiento, la mayoría de sus características químicas, como el pH, Nitrógeno, Fósforo, Aluminio, Calcio, Hierro Férrico y Magnesio, se encuentran entre los valores aconsejados para la producción de abonos. En cuanto al Manganeseo y el Sulfato, sus valores no están muy sesgado de los rangos recomendados, por lo tanto, con balances de masas se puede llevar a lo permisible. Para parámetros como el Manganeseo de acuerdo a Chen (2018), en procesos de aprovechamiento controlados, para aumentar su concentración se añaden residuos orgánicos con altos contenidos de este nutriente;

como lo es el aguacate, yema de huevo o bananas, y en el caso contrario del Sulfato, se disminuye materia orgánica con altos contenidos de sal.

La discusión sobre las características físico-químicas de la materia orgánica previo aprovechamiento se centra en los parámetros de control. Dichos parámetros están dados por el pH, la relación C/N, el porcentaje de humedad y la temperatura, estos dos últimos en relación a las condiciones ambientales y del proceso específico a aplicar. Con base en la Guía Técnica Para El Aprovechamiento De Residuos Orgánicos A Través De Metodologías De Compostaje Y Lombricultura de la Alcaldía Mayor de Bogotá (2014), para el aprovechamiento por compostaje se requiere de un pH no menor a 6 y cercanos a 7, la relación C/N con la que se han encontrado mejores resultados en el proceso de degradación es de 30/1, la humedad óptima para una máxima eficiencia está entre el 45-60%, y en cuanto a la temperatura se considera un parámetro dinámico durante el proceso de compostaje dependiente de los parámetros ya relacionados.

Para la tecnología de aprovechamiento por lombricultura Román et al (2013), determinaron que la temperatura debe estar en un rango de 10 a 35°C, Con precaución en los descensos, inferiores a 7°C y superiores a 35°C, para la humedad está debe estar entre 70 y 80%, el pH por su parte debe encontrarse en el rango de 6.5 - 7.5, y en lo concerniente a la relación carbono nitrógeno inicialmente debe ser de 30:1. Estos mismo rangos son considerados por autores como García & Solano (2005) y Lotzof (2012).

El bokashi es una tecnología de fermentación que requiere de un balance de masas de los residuos a aprovechar. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO (2011), en su guía para la elaboración y uso del Bokashi, establece que la humedad óptima, para lograr la mayor eficiencia del proceso de fermentación, oscila entre un 50 y 60 % del peso, el parámetro pH debe ser de 6 a 7.5, los valores extremos perjudican la actividad microbiológica en la descomposición de los materiales. Por su parte Bucheli (2015), afirma que la relación ideal para la fabricación de un abono de rápida fermentación es de 25:35, una relación menor trae pérdidas considerables de nitrógeno por volatilización, en cambio una relación mayor alarga el proceso de fermentación. La temperatura se define en función del incremento de la actividad microbiológica, que comienza con la mezcla de los componentes.

7.2 Selección de la tecnología de aprovechamiento: Matriz de decisión

▪ Criterio 1: Características físico-químicas

De acuerdo a los resultados y análisis de la caracterización físico-química efectuada, las tres tecnologías evaluadas presentan rangos similares en los parámetros de control, no obstante, la tecnología de lombricultura se adapta mayormente a los valores relacionados en el apartado anterior. La tecnología de aprovechamiento Bokashi, es una de las más limitadas en cuanto a variedad de residuos que puede aprovechar, aunque su abono es de muy buena calidad, requiere de residuos específicos para su buen funcionamiento, algunos de estos son la hojarasca, estiércol fresco, cascarilla de arroz, raspadura de dulce o melaza, cal agrícola, semolina de arroz, cenizas, levadura, entre otros pocos elementos, que condicionan la aireación dentro del aprovechamiento y la liberación de nutrientes para los cultivos donde se desee aplicar (Agriculturers, 2014). Esto le significa para el criterio 1 la menor calificación.

El compost es una de las tecnologías que más variedad de residuos orgánicos aprovecha, incluye residuos como las cascaras de frutas y verduras, que se generan en gran cantidad, estiércol de animales herbívoros, restos de cítricos, hojas secas, restos de poda, entre otros que la hacen muy completa en cuanto a la asimilación de los residuos a descomponer. Sin embargo, hay que ser muy cuidadoso a la hora de la selección de los residuos para el debido proceso, Vivero Chacacayo (2012), plantea que esta tecnología se podría ver afectada si se incluyen residuos como carnes, huesos, restos de pescado, aceites o grasas, algún tipo de productos lácteos, excrementos de animales carnívoros, entre otros, afectando el proceso, dejándolo infructuoso.

La lombricultura, al igual que el compost, descompone los mismos tipos de residuos orgánicos, con respecto a ello Cony (2013) expresa que se deben tener similares precauciones en cuanto a la discriminación de algunos residuos, sin embargo, esta tecnología, Para Lotzof (2012) es mucho más resistente a la presencia de residuos indeseados que puedan pasar de alguna u otra manera a la pila de descomposición, afectando mínimamente el abono. Para la calificación del criterio 1 (ver tabla 18), a pesar de que el compostaje y la lombricultura pueden aprovechar más del 60% de los residuos orgánicos que se generan en Puerto Gaitán, la tecnología de lombricultura, en virtud de las características físico-químicas de los resultados es la de mayor ponderación y relevancia,

gracias a la capacidad de asimilar mejor posibles residuos orgánicos indeseados que puedan pasar a las diferentes pilas de descomposición, manteniendo la calidad del producto.

Tabla 18.

Criterio 1. Características físico-químicas

Más del 60% de los residuos caracterizados se pueden aprovechar por esta tecnología	Entre el 40 – 60% de los residuos caracterizados se pueden aprovechar por esta tecnología	< al 40% de los residuos caracterizados se pueden aprovechar por esta tecnología
6	4	1
LOMBRICULTURA	COMPOSTAJE	BOKASHI

Nota: Calificación del criterio 1 correspondiente a las características físico-químicas. Por Leguizamó S., Rico C., 2018.

▪ Criterio 2: Condiciones técnicas

Las condiciones técnicas serán analizadas de acuerdo a la complejidad de operaciones de cada tecnología, el compostaje permite aprovechar grandes cantidad de materia orgánica sin demandar una estructura compleja para su procesamiento, las condiciones mínimas para el diseño de una planta por compostaje según la guía práctica para el diseño y explotación de plantas de compostaje de la Agencia de Residuos de Catalunya (2016), son; Impermeabilización de la superficie de contacto (suelo), protección contra aguas lluvias manejo de lixiviados, y estructuración de acuerdo a manejo manual o mecánico. López y Martínez (2013) consideran que la complejidad técnica de un proceso de compostaje tiene una relación inversa en cuanto a la cantidad de residuos a tratar, a mayor cantidad de residuos a tratar menor es la complejidad, autores como el Departamento de Territorio y Sostenibilidad, Dirección General de Calidad Ambiental (2011), en contraste afirman que es necesario la implementación de maquinaria semipesado cuando el compostaje busca aprovechar residuos domiciliarios con poblaciones de más de 10.000 habitantes.

La tecnología Bokashi es una tecnología aplicada principalmente a pequeñas cantidades de residuos al ser un proceso controlado bajo fermentación, según Ramos et al (2014) la necesidad

de hermetismo de los recipientes utilizados y la especificidad de los residuos a tratar, la posicionan como el medio de aprovechamiento recomendado para agricultores y no tanto para procesos macro que impliquen una construcción de una planta de aprovechamiento con la complejidad de residuos domiciliarios municipales. Para Hachicha et al (2009) el bokashi busca obtener enmiendas orgánicas y mejoradores de suelos de alta calidad, en procesos de fermentación controlado que acarreen consigo un ambiente controlado que a gran escala requieren gran complejidad, criterio compartido por Leblanc, Cerrato & Vélex (2005).

La lombricultura de acuerdo a Vergara & Saavedra (2012), es una tecnología ampliamente utilizada dada la calidad de su producto final denominado humus, los residuos de comida provenientes de los residuos domiciliarios constituyen un insumo salvo algunas excepciones ideal para el desarrollo del vermicompuesto. La complejidad de una planta de aprovechamiento para Bollo (2003), radica en la construcción de las camas de producción, para municipios de poblaciones de más de 10.000 habitantes demandan una gran cantidad de terreno y mano de obra, puesto que el manejo es netamente manual. En relación a lo planteado Humus de Chile (2011), afirma que la lombricultura se posiciona como una alternativa de complejidad media y altamente viable como gestión de residuos sólidos orgánicos para ciudades en desarrollo. En la tabla 19 se relacionan las ponderaciones asignadas al criterio 2, teniendo en cuenta los planteamientos de los diferentes autores.

Tabla 19.

Criterio 2. Condiciones técnicas.

Baja complejidad	Mediana complejidad	Alta complejidad
3	2	1
COMPOSTAJE	LOMBRICULTURA	BOKASHI

Nota: Calificación del criterio 2 correspondiente a las condiciones técnicas. Por Leguizamó S., Rico C., 2018.

▪ Criterio 3: Condiciones ambientales

Según el PGIRS (2015) el municipio de Puerto Gaitán, Meta tiene una gran extensión que incluye mayoritariamente llanura aluvial de desborde activa, altillanura eólica de características climáticas similares. La precipitación pluviométrica está en 2000 mm total anual y la temperatura atmosférica

promedio anual esta sobre 28° centígrados. Lo anterior hace que la zona se encuentre dentro del bosque húmedo tropical (bh –t) de acuerdo con el sistema de zonas de Holdridge. Los valores de temperatura o tipos de clima son variables en la zona municipal, toda vez que afectado por vientos locales que se manifiestan por corrientes de aire ascendentes provocados por fuertes calentamientos en épocas de sequía.

De acuerdo al Plan de Desarrollo de Puerto Gaitán Meta, “Voluntad Para el Progreso 2016-2019” en su apartado características generales (climatología), el régimen de precipitaciones es de tipo monomodal, con presencia de periodos de lluvias máximas en los meses de mayo y junio, seguido de una época de menor pluviosidad entre diciembre y marzo. El promedio de precipitación anual es de 2170 mm. La temperatura promedio en el territorio es de 28° y los meses más secos y a la vez más calientes corresponden al primer trimestre y último bimestre del año, los meses restantes son más húmedos y menos calientes determinando a la vez dos periodos Enero a marzo y noviembre a diciembre de mayor evaporización.

El promedio de humedad relativa anual es del 79% (método de las medidas aritméticas de registros puntuales). Esta variable está relacionada con los valores de temperatura, donde a mayor temperatura los valores de humedad relativa descienden. Así, el comportamiento de la humedad relativa a lo largo del año presenta pocas variaciones y estas se ostentan simultáneamente con el periodo de mayores precipitaciones (mayo y junio) y los valores más bajos en los meses de menos lluvias (diciembre, enero, febrero).

En relación a las condiciones ambientales y climáticas del municipio, se contrasta los requerimientos técnicos y parámetros de control, se deduce que todas las tecnologías en caso de ser aplicadas requerirán de estructuras de protección, las constantes precipitaciones, las temperaturas y radiaciones variantes y relativamente altas pueden afectar los procesos de aprovechamiento, siendo relevante la previsión de medidas en el diseño para evitar que el proceso se desarrolle a la intemperie. Según López y Martínez (2013) el compostaje es ampliamente utilizado en zonas tropicales, sea cual sea las condiciones ambientales se requiere una complejidad estructural tipo hangar para su protección.

En el caso de la lombricultura se recomienda climas cuyas temperaturas oscilen entre los 10 – 25 °C Román et al (2013), es necesario que las camas cuenten con una cubierta y de ser necesario con una estructura para su protección. El bokashi por su parte según Ramos & Terry (2014) en procesos de agricultura orgánica se puede elaborar en la mayoría de los ambientes y climas donde

se realicen actividades agropecuarias y no exige inversiones económicas muy altas en obras de infraestructura rural. En la tabla 20 se resumen las calificaciones para el criterio 3.

Tabla 20.

Criterio 3. Condiciones ambientales.

Las condiciones ambientales del municipios son óptimas para su aplicación y requiere adecuaciones estructurales mínimas y bajo costo	No se aplica para condiciones ambientales de la zona a menos que se realice adecuaciones estructurales de mediana complejidad y de bajo costo	No se aplica para condiciones ambientales de la zona a menos que se realice adecuaciones estructurales complejas y de alto costo
3	2	1
BOKASHI	COMPOSTAJE	LOMBRICULTURA

Nota: Calificación del criterio 3 correspondiente a las condiciones ambientales. Por Leguizamó S., Rico C., 2018.

▪ Criterio 4: Frecuencia

Según Avendaño (2015), en la actualidad, existe una tendencia mundial que propende por el fortalecimiento de la conciencia ambiental de la sociedad; así pues, se plantea una búsqueda permanente de mecanismos, estrategias y tecnologías capaces de mitigar la pérdida acelerada de los recursos naturales del planeta como alternativa de solución al agotamiento de los recursos naturales, la pérdida de ecosistemas y diversidad ecológica. Los residuos orgánicos cada vez más son mayormente aprovechados, la tendencia global es la reincorporación a los ciclos biogeoquímicos mediante la generación de abono orgánico que busca suplir la carencia de nutrientes en los suelos agrícolas.

De las tecnologías analizadas la de mayor utilización a nivel internacional es el compostaje, de acuerdo a la Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal (2017), el compostaje se sitúa como una alternativa de aprovechamiento propicia para el tratamiento de grandes volúmenes de residuos orgánicos de procedencia domiciliaria, seguido a ello se encuentra la lombricultura. Chaves & Rodríguez (2016) afirman que en Iberoamérica es tendencia la aplicación del compostaje por su facilidad en el tratamiento utilizando maquinaria semipesada y el manejo de

volúmenes de residuos mediante configuración de pilas de gran extensión, la lombricultura figura como una tecnología alternativa al compostaje siendo de mayor utilización en poblaciones pequeñas. Avendaño (2015) en su documento titulado “Panorama Actual De La Situación Mundial, Nacional Y Distrital De Los Residuos Sólidos”, afirma que el compostaje es ampliamente utilizado a nivel mundial debido a su versatilidad en el aprovechamiento aerobio de grandes cantidades de materia orgánica excluyendo muy pocos tipos de la misma, en cuanto a la lombricultura se sitúa como una solución mixta y viable.

El Bokashi a nivel mundial en relación a los autores consultados, es una tecnología utilizada en procesos de agricultura orgánica, para la FAO (2011), el Bokashi es un abono fermentado que se obtiene procesando materiales que son producto de actividades agrícolas, esto lo convierte en una actividad práctica y de gran beneficio para el agricultor que quiere aprovechar todos los recursos con los que cuenta en el campo. Es una práctica que fortalece los procesos de producción de los agricultores.

Para tener un panorama de la implementación de estas tecnologías a nivel internacional, se hizo una revisión tecnológica en la base de datos Scopus, empleando como palabras clave, “Composting”, “Vermiculture” y “Bokashi”,

La tecnología de aprovechamiento compots, utilizando la palabra clave “Composting” arrojó un total de 230 documentos publicados. En la figura 5 se presenta la dinámica científica de la producción de documentos publicados relacionados, durante el periodo del año 2001 al 2019, siendo el año 2017 con mayores publicaciones con 24 documentos.

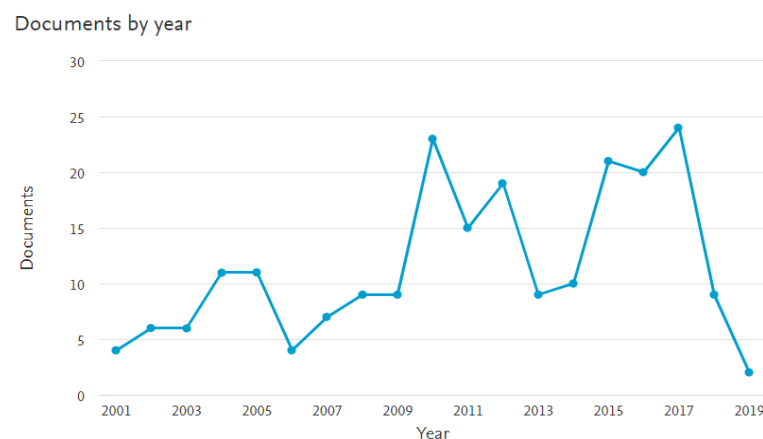


Figura 5. Número de documentos publicados por año relacionados con “Composting” por Base de datos Scopus (Elsevier, 2018), Scientist Direct.

La tecnología de aprovechamiento lombricultura, utilizando la palabra clave “Vermiculture” arrojó un total de 395 documentos publicados. En la figura 6 se presenta la dinámica científica de la producción de documentos publicados relacionados, durante el periodo del año 2000 al 2019, siendo el año 2010 con mayores publicaciones con 42 documentos.

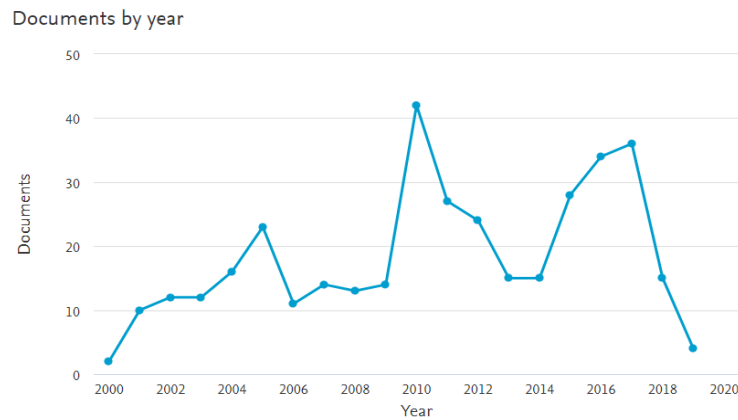


Figura 6. Número de documentos publicados por año relacionados con “Vermiculture” por Base de datos Scopus (Elsevier, 2018), Scientist Direct.

La tecnología de aprovechamiento Bokashi, utilizando la palabra clave “Bokashi” arrojó un total de 2 documentos publicados. En la figura 7 se presenta la dinámica científica de la producción de documentos publicados relacionados, los cuales fueron en el año 2008 y en el 2017.

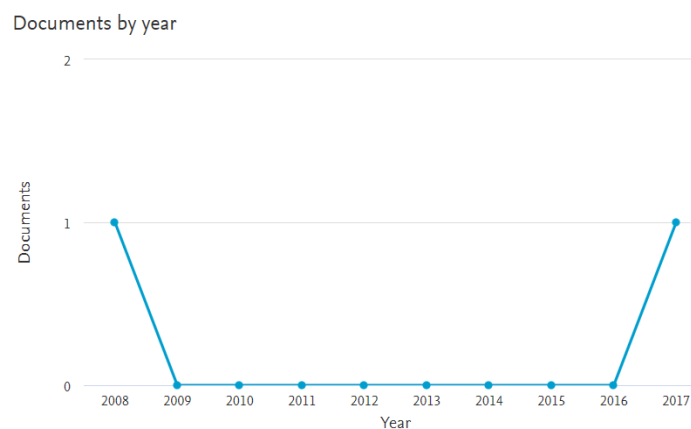


Figura 7. Número de documentos publicados por año relacionados con “Bokashi” por Base de datos Scopus (Elsevier, 2018), Scientist Direct.

En lo que concierne a un panorama nacional de la utilización y aplicación de las tecnologías evaluadas, el bokashi es la de menor utilización, según Rodríguez (2015), el bokashi es ampliamente utilizado por el agricultor, pero no es viable para procesos de aprovechamiento de residuos orgánicos domiciliarios, mismo criterio compartido por la FAO (2011).

Las tecnologías de aprovechamiento de residuos orgánicos mayormente utilizadas en Colombia están dadas por el Compostaje y la Lombricultura respectivamente. En relación a ello Bernal (2015) afirma que el compostaje es mayormente utilizado en las plantas de aprovechamiento integral de residuos del país, seguido a esto la lombricultura se sitúa con mejores fines comerciales y en algunos casos se aplica un aprovechamiento mixto que termina por suponer mejoras en el procesamiento y la calidad del producto final. De acuerdo al informe nacional de aprovechamiento de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios SSPD (2016) y autores como Logreira et al (2008) y Jaramillo & Zapata (2008), en Colombia se distribuye el aprovechamiento de residuos orgánicos de acuerdo a la tendencia relacionada en la figura 8.

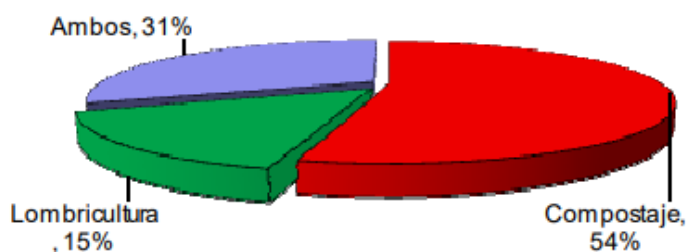


Figura 8. Distribución de aprovechamiento en Colombia de los residuos orgánicos. Fuente: SSPD (2016).

Teniendo en cuenta lo ya especificado en la tabla 21 se muestra la calificación para cada tecnología evaluada.

Tabla 21.

Criterio 4. Frecuencia.

Ampliamente utilizada en territorio Colombiano a nivel internación	Frecuentemente utilizada en territorio Colombiano a nivel internación	Poco utilizada en el territorio Colombiano a nivel internación
3	2	1
COMPOSTAJE	LOMBRICULTURA	BOKASHI

Nota: Calificación del criterio 4 correspondiente a la frecuencia de las tecnologías de aprovechamiento a nivel nacional e internacional. Por Leguízamo S., Rico C., 2018.

- Criterio 5: Costos

El criterio costo es dependiente de la complejidad técnica del mismo y la aplicabilidad de la tecnología para el tipo de residuos a tratar, teniendo en cuenta los criterios 1 y 3, la tecnología de menor costo funcional con grandes volúmenes de residuos orgánicos domiciliarios que se pueden procesar es el compostaje, seguido por la lombricultura que se sitúa como una gran alternativa, que de acuerdo a los autores ya citados requiere una gran inversión inicial en la construcción de las camas, en cuanto al Bokashi, está tecnología en concordancia con la bibliografía consultada es de mayor aplicabilidad en procesos agrícolas y no domiciliarios. En la tabla 22 se muestra la calificación para el criterio 5.

Tabla 22.

Criterio 5. Costos.

Demanda costos bajos de construcción y operación	Demanda costos medio de construcción y operación	Demanda altos costos de construcción y operación
3	2	1
BOKASHI	COMPOSTAJE	LOMBRICULTURA

Nota: Calificación del criterio 5 correspondiente a los costos que demanda cada tecnología de aprovechamiento. Por Leguízamo S., Rico C., 2018.

▪ Criterio 6: Rentabilidad

La calidad del producto final depende del tipo de residuo orgánico a tratar, en experiencias con residuos orgánicos domiciliarios la lombricultura se sitúa con el producto final de mayor calidad denominado humus, según Bollo (2003) el humus posee características mineralógicas que una vez aplicada al suelo permite la liberación progresiva de nutrientes y una mayor retención de humedad que la obtenida por procesos como el compostaje, mismo criterio sostenido por Román et al (2013) y Chaves & Rodríguez (2016).

El bokashi en mucho de los casos se aplica como mejorador de suelos Hachicha et al (2009), para la FAO (2011) el bokashi es una enmienda fermentada de alto contenido nutricional y de gran aplicabilidad en procesos de cultivos, la calidad del producto de abono orgánico de acuerdo a Ramos & Terry (2014) es alta, sin embargo, es necesario un balance de masas y una especificidad de los residuos a tratar que las hace inviable para plantas de aprovechamiento a escalas municipales. En cuanto al compostajes Lotzof (2012) es contundente al afirmar que el producto final puede variar en calidad de acuerdo a la mezcla inicial, siendo más frecuente abonos de calidad media, sin embargo esta tiene valor comercial al tratarse grandes volúmenes de residuos, para López y Martínez (2013) y Bernal (2015) el compostaje resulta eficiente en tratamiento de grandes volúmenes y su producto final es mayormente utilizado como mejorador de suelo. En la tabla 23 se muestra la calificación para el criterio 5.

Tabla 23.

Criterio 6. Rentabilidad.

El producto obtenido es de alta calidad y su demanda en el mercado es alta	El producto obtenido es de alta calidad y su demanda en el mercado es variable	El producto obtenido es de calidad estándar y su demanda en el mercado es baja
3	2	1
LOMBRICULTURA	COMPOSTAJE	BOKASHI

Nota: Calificación del criterio 6 correspondiente a la rentabilidad de las tecnologías de aprovechamiento. Por Leguizamó S., Rico C., 2018.

En la tabla 24 se resume las calificaciones en la matriz de ponderación de criterios, la lombricultura se sitúa como la tecnología con mayor puntuación seguida del compostaje y finalmente el bokashi. De acuerdo a la tabla 25 la lombricultura es viable al igual que el compostaje, mientras que el bokashi es inviable al tener un resultado menor a 11.

Tabla 24.
Matriz de ponderado de criterio.

Tecnología	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Total
	Características físico-químicas	Condiciones técnicas	Condiciones ambientales	Frecuencia	Costo	Rentabilidad	Ponderado
Compostaje	4	3	1	3	2	2	15
Lombricultura	6	2	2	2	1	3	16
Bokashi	1	1	3	1	3	1	10

Nota: Total ponderado según los 6 diferentes criterios para cada tecnología. Por Leguizamó S., Rico C., 2018.

Tabla 25.
Viabilidad de las tecnologías.

Viable	Viable con requerimientos considerables	Inviable
Sumatoria de criterios entre 14-21	Sumatoria de criterios entre 11-14	Sumatoria de criterios menor a <11

Nota: Rango de viabilidad de las tecnologías según su puntaje. Por Ramos & Terry (2014).

7.3 Dimensionamiento estructural de la tecnología seleccionada

Las dimensiones estructurales de la tecnología lombricultura fueron diseñadas en el software Autocad con escala 1:1 en unidades de metros, donde inicialmente se muestra una vista general con las 20 camas de lombricultura iniciales organizadas en 5 filas y 4 columnas, la cámara de

secado, cuarto de almacenamiento, sistema de tubería de $\frac{3}{4}$ pulgadas para humus líquido y el recipiente del mismo con capacidad de 1000 litros como se muestra a en la Figura 9.

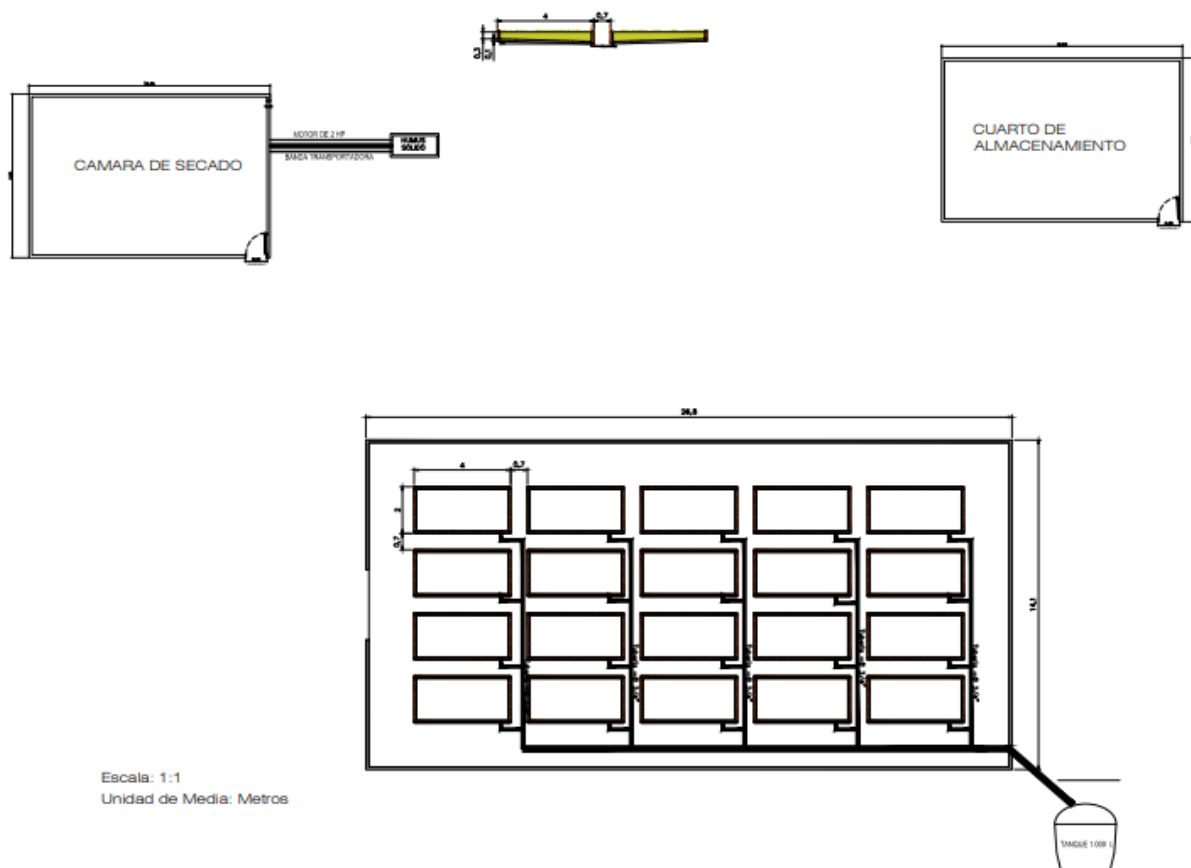


Figura 9. Vista general de las camas de lombricultura con sus respectivas dimensiones. Por: Leguízamo S., Rico C., 2019.

En la anterior vista general cuenta con una cámara de secado en donde el humus sólido pierde la humedad con la que viene de las camas de lombricultivo, así mismo el motor es usado para mover la banda transportadora hasta el lugar donde será empacado en bolsas de 5 kilogramos como se muestra en la figura 10.

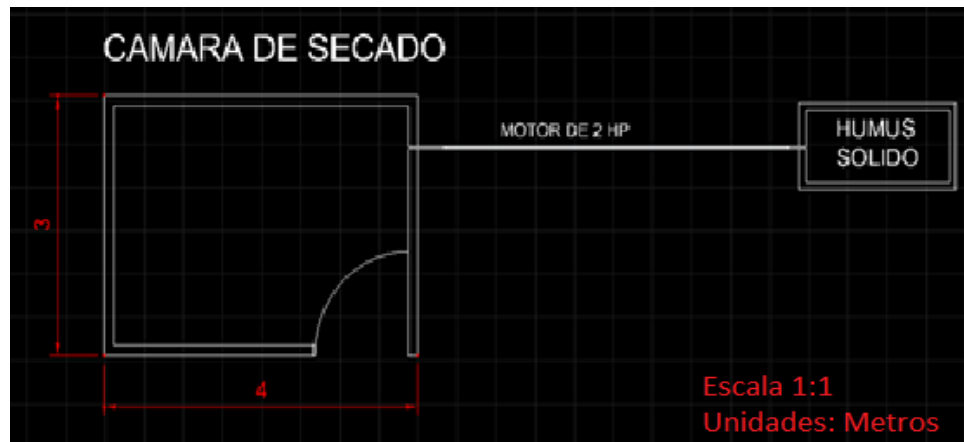


Figura 10. Dimensiones estructurales de la cámara de secado y su respectivo molino con motor de dos caballos de fuerza. Por: Leguízamo S., Rico C., 2019.

Así mismo una vista más cercana donde se evidencia la estructura de la cama de lombricultura con sus respectivas dimensiones en unidades de metro, la cama cuenta con una malla de 2mm de diámetro en la parte interna para retener lo sólido y drenar el humus líquido en un recipiente de 1000 litros.

El humus líquido, al igual que el sólido contiene igual o mayor nutrientes, pues, consta de microorganismos que aporta beneficios microbianos, este lixiviado al igual que el humus sólido será usado con el mismo fin de abono orgánico en estado líquido.

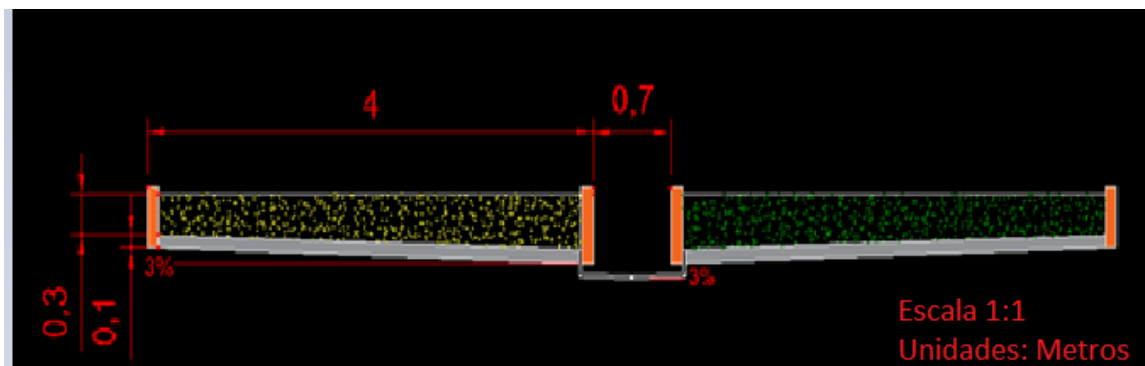


Figura 10. Dimensiones de las camas de lombricultura y espaciado entre cada una. Por: Leguízamo S., Rico C., 2019.

Igualmente en una vista en formato 3D se muestra en la Figura 11 la cama de lombricultivo en vista superior y en vista lateral.

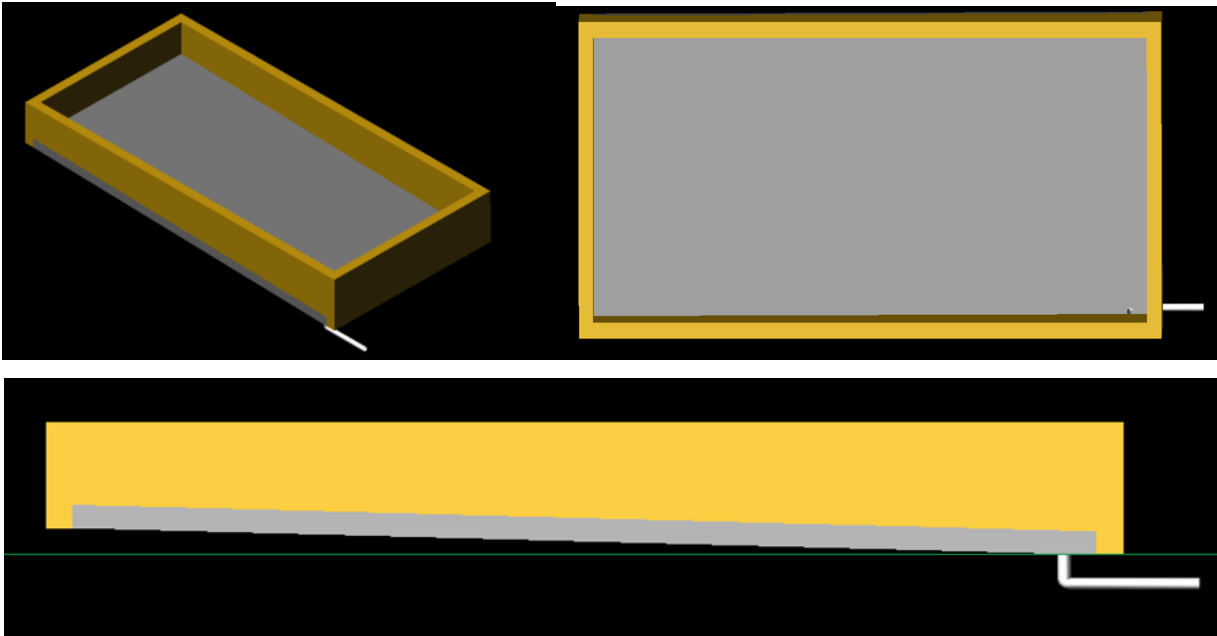


Figura 11. Camas de lombricultivo en tercera dimensión. Por: Leguízamo S., Rico C., 2019.

El archivo de Autocad con las dimensiones estructurales se encuentra en los siguientes hipervínculos para mejor visualización de los mismos [C:\Users\Caroline\Downloads\camas de compostaje.dwg](#) y [camas lombricultura.pdf](#) en el caso que no se cuente con el software, existe un visualizador de Autocad en línea.

7.4 Guía para lombricultura en el municipio de Puerto Gaitán-Meta.

La guía (Apéndice G) está diseñada teniendo en cuenta condiciones técnicas y ambientales para el municipio de Puerto Gaitán-Meta, basada en investigaciones de diferentes autores a nivel internacional, nacional y local. A continuación, se especifican las diferentes etapas para la ejecución de una planta de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos por la tecnología seleccionada Lombricultivo.

7.4.1 Montaje del Lombricultivo

El sistema de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos domiciliarios debe ubicarse en un espacio con piso sólido para facilitar la recolección de lixiviados, así mismo estar protegido de la luz del sol, lluvia, temperaturas extremas y animales domésticos.

Para el establecimiento del lombricultivo deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- Contenedor o cama

Se caracterizan por ser recipientes abiertos para facilitar la alimentación de las lombrices y el monitoreo de las condiciones del lombricultivo. Los tamaños y materiales de estas estructuras son variables, empleándose para su construcción generalmente madera, ladrillos o concreto, para este caso se recomienda emplear el concreto, ya que es un proyecto a largo plazo y es fundamental su durabilidad (Schuldt et al 2007).

El contenedor del lombricompost no debe tener una profundidad mayor a 40 cm, debido a que las lombrices no se desplazan más de esa profundidad y así mismo, se recomienda que el contenedor tenga un pequeño porcentaje de inclinación (3%) para la recuperación de lixiviados, para esto se hace necesario colocar un plástico en el inferior de la cama facilitando su extracción (Schuldt et al 2007).

- Preparación del lecho (Primera cama)

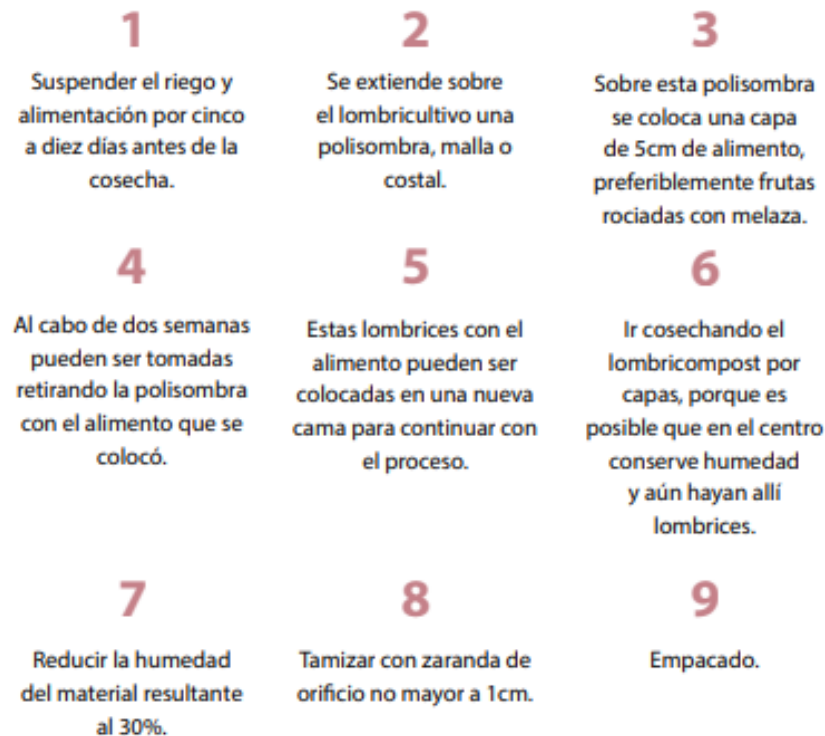
El lecho es la estructura o sustrato inicial donde se van a ubicar las lombrices, para su preparación es necesario situar una capa de residuos carbonatados, como hojas secas, aserrín, paja, entre otros, mezclado con una capa de estiércol de animales herbívoros. Dicha composición, se recomienda que no sobrepase los 30 cm de grosor (Díaz E, 2002).

- Disposición de residuos orgánicos

Los residuos orgánicos domiciliarios deben pasar por un proceso de inspección para verificar con no haya residuos que puedan alterar el proceso de compostaje, como lo son las carnes, huesos,

residuos inorgánicos, entre otros; seguido a esto, se recomienda hacer una trituración a los residuos, para facilitar a la lombriz su descomposición. Luego se dispone una capa de estos residuos, preferiblemente menor a 20 cm, para posteriormente, ubicar las lombrices (Díaz E, 2002).

- Cosecha de lombrices



- Extracción de lombricompost

Después de que el lombricompost haya culminado con todas las etapas, es necesario pasarlo por un tamiz donde sus orificios no sean superiores a 1 cm para lograr una partícula más fina y así obtener un abono de mejor calidad, retornando el material grueso al lombricultivo para que complete su descomposición (SIPAF, 2014).

Es necesario mantener la humedad del lombricompost en un rango del 30% a 40%, ya que, si es inferior a estos porcentajes, se podría minorar la supervivencia de microorganismos esenciales para la calidad del producto (SIPAF, 2014).

- Almacenaje

El empaque debe garantizar el intercambio gaseoso del lombricompost, para que este se mantenga con la humedad pertinente. Es necesario que el sitio de acopio sea ventilado, protegido de factores como el sol, la lluvia y vectores, e igualmente se recomienda dejarlo separados de muros o paredes, para favorecer su ventilación. El lombricompost en estas condiciones óptimas puede mantener su calidad durante aproximadamente 3 meses (SIPAF, 2014 & Dominguez D, 2018).

7.4.2 Condiciones a tener en cuenta del Lombricultivo.

- Humedad

Para mantener una humedad por encima del 60%, se deben hacer riegos constantes. Para esto existen diferentes métodos que se pueden aplicar:

- Por aspersión: 2 horas cada 3 días variable de acuerdo al caudal.
- Por goteo: 3 horas cada 2 días.
- Con mangueras: 1 riego por semana hasta el final.

Para mantener la humedad en el rango deseado, se debe tener en cuenta la variabilidad que presente el ambiente respecto a temperatura, precipitaciones, grado de humedad en el ambiente, según los periodos en el año (Díaz E, 2002).

- pH

El pH debe estar en un rango de 4,5 – 8,5 ya que este define la supervivencia de los microorganismos y cada grupo tiene pH óptimos de crecimiento y multiplicación.

Para estabilizar el pH en dado caso que se encuentre por debajo de 4,5 por altos contenidos de restos vegetales que liberan mucho ácido como cascara de limos, naranja, entre otros; se adicionan materiales ricos e nitrógeno como lechuga, broccoli, coliflor, etc. Si se encuentra sobre los 8,5, directamente está relacionado a una temperatura y humedad alta, que hace que se produzca amoniaco alcalinizado. Para estabilizarlo se agrega material con mayor contenido de carbono o ácidos, como restos de poda, hojas secas, aserrín, entre otros (P. Román, 2013).

- Temperatura

La temperatura es variable dependiendo el proceso en que se encuentra la descomposición. Esta puede iniciar con la temperatura ambiente y por la interacción del microorganismo puede subir hasta unos 65°C, sin ninguna actividad antrópica, pero cuando la descomposición llega un punto de maduración, vuelve a la temperatura ambiente. Sin embargo, se debe estar midiendo la temperatura constantemente para que esta no descienda abruptamente o no suba más de los 65°C, para esto se hace necesario los volteos frecuentes y adicionar material fresco con alta humedad (P. Román, 2013).

- Relación C/N

La relación C/N varía según los materiales que se empleen al inicial el compostaje, por eso es necesario conocer los valores de carbono y nitrógeno que contienen algunos residuos orgánicos y así hacer un balance proporcional que al dividir el contenido de Carbono sobre el contenido de Nitrógeno total, con un intervalo entre 15:1 y 35:1. A continuación en las tablas 25, 26 y 27 encontraremos relaciones de C/N de diferentes residuos orgánicos y algunos ejemplos de mezclas de 30:1 (SIPAF, 2014).

Tabla 26.

Relaciones Carbono/Nitrógeno de diversos materiales orgánicos.

Materiales con alta relación C/N > 40		Materiales con baja C/N relación C/N < 25		Materiales con relación C/N óptima entre 25-40	
Hojarasca	80-250:1	Restos vegetales	15-20:1	Hojas de frijol	27:1
Hierba recién cortada	43:1	Cereza de café	20:1	Estiércol ovino y caprino	32:1
Paja	40-100:1	Hierba	15-25:1	Hojas de plátano	5-25:1
Aserrín	100-500:1	Estiércoles	5-25:1	Hojas de café	15:1
Corteza	100-130:1	Residuos cocina crudos	15:1	Restos de poda	19:1
Papel mezclado	150-200:1	Estiércol de vaca	19:1	Restos de hortalizas	37:1
Cartón	560:1	Gallinaza	7:1	Acículas de pino	32:1
Cascarilla de arroz	66:1	Camas de gallinaza	18:1	Cuncho de Café	30/1
Bagazo de caña	104:1	Porquinaza	10:1		
Mazorca de maíz	117:1	Equinaza	11/1		
Hierbas secas	80:1	Lavaza	16/1		

Nota: Relaciones C/N de diferentes materiales orgánicos utilizados para producción de abonos orgánicos. Por SIPAF, 2014.

Tabla 27.

Ejemplo de mezclas con relación C/N de 30:1 para zona Urbana.

Ingredientes	% Humedad	Peso (kg)	%C	%N	Resultado Mezcla relación C/N
Residuos Crudos	59,70	20	14,36	0,93	30/1
Pasto	19,43	2	30,94	1,69	
Hojarasca	16,00	20	61,12	0,24	

Nota: Ejemplo de mezcla para relación 30:1 de Carbono/Nitrógeno en el área Urbana. Por SIPAF, 2014.

Tabla 28.

Ejemplo de mezclas con relación C/N de 30:1 para zona Rural.

Ingredientes	% Humedad	Peso (kg)	%C	%N	Resultado Mezcla Relación C/N
Residuos Crudos	59,7	15	14,36	0,93	30/1
Hojarasca y residuos secos	16,0	20	61,12	1,61	
Estiércol de vaca	81,4	2,5	47,50	2,50	

Nota: Ejemplo de mezcla para relación 30:1 de Carbono/Nitrógeno en el área Rural. Por SIPAF, 2014.

8. Conclusiones

En la investigación se logró evidenciar que la identificación y análisis de las características fisicoquímicas de los residuos sólidos orgánicos domiciliarios del casco urbano del municipio de Puerto Gaitán-Meta son similares y no iguales a otras investigaciones por razones como los hábitos de consumo y costumbres que lo hace diferente a cualquier otro lugar; obteniendo resultados favorables como lo muestra la matriz calificativa (ver tabla 17) a la hora de mantener las condiciones óptimas para la lombricultura.

La lombricultura y el compostaje resultan ser dos tecnologías de aprovechamiento bastante viables para el municipio de Puerto Gaitán, sin embargo, debido a la demanda de abono que necesita el municipio para sus zonas verdes y los proyectos que tiene en su plan de desarrollo que busca la restauración de suelos, hace que factores como la calidad del compost y los tiempos de descomposición, la lombricultura tome un valor adicional, ya que esta, por la implementación de la lombriz, hace que los tiempos de descomposición sean mucho más cortos y se obtenga un abono de mayor calidad a comparación del compostaje.

En el dimensionamiento estructural de la tecnología lombricultura se obtuvo una proyección de población para el año 2030 de 12852 habitantes según lo muestra la Ecuación 4, así mismo se identificó la demanda de residuos sólidos orgánicos domiciliarios que fue de $5586,7644kg * día$ como lo muestra la Ecuación 5, por lo que se logró identificar la cantidad de camas de lombricultura necesarias para cubrir la demanda de residuos, las cuales fueron 140; cabe resaltar que, aunque este fue el número de camas, no es pertinente iniciar con esta cantidad; pues la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) se duplica cada 90 días aproximadamente por ser uno de las especies de lombriz más prolíferas; es decir, que, es recomendable iniciar con 20 camas al inicio del lombricultivo y a medida que la especie se va reproduciendo así mismo se van ampliando el espacio; por lo que la solución a la problemática ambiental no se solucionaría de forma inmediata si no a largo plazo.

Se estableció una guía de recomendaciones para lombri-compost, ajustada a las condiciones técnicas y ambientales que presenta el municipio de Puerto Gaitán, resaltando factores relevantes que se deben tener en cuenta a la hora de hacer lombricompost, con el fin de que los operadores, tengan a la mano información confiable, ya que los datos fueron obtenidos de diferentes

investigaciones con condiciones similares a las del municipio y así ejecutar esta tecnología de manera segura.

9. Referencias bibliográficas

- Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental-AIDES. (2005). “Directrices para la gestión integrada y sostenible de residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe,” Trabajo de investigación. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo-IDRC, Canadá. [En línea], Disponible: http://www.aidis.org.br/PDF/libro_residuos_solidos.pdf
- Alcaldía de Puerto Gaitán. (2015). *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos*, vol. 1, 1ra ed. Puerto Gaitán, Meta, Colombia: cofesco, cap 1, pp. 16-21.
- ALCALDIA DE PUERTO GAITAN META, «Alcaldía municipal de Puerto Gaitán,» (2016). [En línea]. Available: http://www.puertogaitan-meta.gov.co/index.shtml?apc=gbxx--2368853&sh_itm=4cfdcdd60ba2c60494219960c19a0a92&sel_ids=1. [Último acceso: 20 Abril 2018].
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2014). Guía De Técnica Para El Aprovechamiento De Residuos Orgánicos A Través De Metodologías De Compostaje Y Lombricultura. Bogotá: Universidad Nacional. [En línea], Disponible: http://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf
- Agencia de Residuos de Catalunya. (2016). Guía práctica para el diseño y explotación de plantas de compostaje. Catalunya: Contrast Comunicación. [En línea], Disponible: http://residus.gencat.cat/web/.content/home/lagencia/publicacions/form/GuiaPC_web_ES.pdf
- Agriculturers. (2014). “Bokashi” abono orgánico para mejorar la calidad de cultivos. [En línea]. Disponible: <http://agriculturers.com/bokashi-abono-organico-para-mejorar-calidad-en-cultivos/>. [Último acceso: 12 de febrero 2019].
- Behar, D. vol. 2, 1ra ed. Shalom. (2008). Metodología de la investigación, Cap. 1, pp. 78-81. [En línea]. Disponible: <http://rdigital.unicv.edu.cv/bitstream/123456789/106/3/Libro%20metodologia%20investigacion%20este.pdf>.
- Bertolí, M. (2015). “Producción y uso de abono orgánico tipo Bokashi. Una alternativa para la nutrición de los cultivos y la calidad de los suelos,” Ins. Nal. Ciencias orgánicas,

- Mayabeque. [En línea]. Disponible: <http://ediciones.inca.edu.cu/files/folletos/abonoorganico.pdf>
- Bollo, E. (2003). Lombricultura una alternativa de reciclaje. Primera ed. digital 142 p. [En línea]. Disponible: <https://disenaelcambio.fundacionterpel.org/proyecto/lombriculturaun>
- Bucheli, S. (2015). Asesoría En La Elaboración De Abono Bokashi Para La Recuperación De Suelos Destinados A La Explotación Agrícola. Bogotá: Universidad Nacional Abierta Y A Distancia UNAD. [En línea]. Disponible: <https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/3398/1/seneida%20lorena-%20Buchelly-1125182226.pdf>
- Caldas, J. (2016). “Reciclaje y aprovechamiento de residuos urbanos orgánicos en edificio Los Naranjos Municipio de Santa Rosa de Cabal, Colombia,” Trabajo de investigación. Fac. Admón. medio amb. Univ. Tecnológica de Pereira. [En línea]. Disponible: <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/6477/62844586132C145.pdf?sequence=1>
- Calderón, D. (2017). “Plan de manejo ambiental para disposición final de residuos sólidos domiciliarios área rural (comunidad corregimiento El centro, vereda El Progreso) del Municipio de Barrancabermeja, Santander,” Trabajo de investigación, Esc. De Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente, fac. ing. Ambiental; Universidad Nacional Abierta y a Distancia; Barrancabermeja, Santander, Colombia. [En línea]. Disponible: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/10596/11872/1/37751133.pdf>
- Castañeda, S. Torres, J. Rodríguez, M. (2017). “Model of sustainable utilization of organic solids waste in Cundinamarca, Colombia,” *Scielo*, p. 116. Doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rus.171901.75> [En línea]. Disponible: <http://www.scielo.org.co/pdf/reus/v19n1/0124-7107-reus-19-01-00116.pdf>
- Chávez, A. Rodríguez, A. (2004). “Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica,” *“DIALNET”*, vol. 9, no. 2, pp. 5-6. Consultado en: Abril, 23, 2018. Doi: <https://doi.org/10.18359/ravi.2004>, [En línea]. Disponible: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/ravi/article/view/2004>.
- Chen, J. 2018. La función del manganeso en el cultivo de plantas. [En línea]. Disponible: <https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/la-funcion-del-manganeso-en-el-cultivo-de-plantas/>. [Último acceso: 20 de enero 2019].

- Comisión Nacional del Medio Ambiente, dpto. (1999). Descontaminación, planes y normas, “Norma de calidad de Compost,” [En línea]. Disponible: <http://www.lombricultura.cl/lombricultura.cl/userfiles/file/biblioteca/normas/Norma%20calidad%20COMPOST.pdf>
- Comisión para la Cooperación Ambiental CCA. (2017). Caracterización y gestión de los residuos orgánicos en América del Norte. Montreal. [En línea]. Disponible: <http://www3.cec.org/islandora/en/item/11770-characterization-and-management-organic-waste-in-north-america-white-paper-es.pdf>
- Cony, M. (2003). Compostaje tradicional vs Lombricultura. [En línea]. Disponible: <https://estrucplan.com.ar/articulos/compostaje-tradicional-vs-lombricultura/>. [Último acceso: 20 de febrero 2019].
- Díaz E. (2002). Guía de Lombricultura, Agencia de desarrollo económico y comercio exterior. Municipio Capital De La Roja. Recuperado el 27 de febrero de 2019 de: <http://www.biblioteca.org.ar/libros/88761.pdf>.
- Dominguez D. (2018). Compost abono orgánico, Guía definitiva. Recuperado el 3 de abril de 2019 de: <https://estoesagricultura.com/compost-abono-organico/>.
- ELSEVIER. (2018). Analyze search results, [En línea]. Disponible: www.scopus.com
- FAO. (2013). Suelos sanos para una vida sana, [En línea]. Disponible: <http://www.fao.org/soils-2015/news/news-detail/es/c/281085/>
- FAO. (2011). Abono tipo Bokashi. Guatemala: Seguridad Alimentaria y Nutricional (Food Facility). [En línea]. Disponible: http://coin.fao.org/coin-static/cms/media/10/13195641328090/aboneras_final_alta_resolucion.pdf
- García, M. Solano, V. (2005). Manual de cría de la lombriz de tierra. Una alternativa ecológica y rentable. Editorial San Pablo. Bogotá [En línea]. Disponible: <http://libreriasiglo.com/ecologia/30540-manual-cria-de-la-lombriz-de-tierra-una-alternativa-ecologica-rentable.html>
- Guía sectorial de gestión de los olores a plantas de compostaje de residuos de alta fermentabilidad y plantas de tratamiento de la fracción restante de los residuos municipales. Departamento de Territorio y Sostenibilidad, Dirección General de Calidad Ambiental, diciembre del 2011. [En línea]. Disponible: <http://www.xarxamunicipissostenibles.com/wp->

- content/uploads/Gu%C3%ADa-para-la-implantaci%C3%B3n-de-la-R-Selectiva-de-Biorresiduos.pdf
- Hachicha, S. /et al./. Biological activity during-composting of sludge issued from the OMW evaporation ponds with poultry manure-physico-chemical characterization of the processed organic. *Journal of Hazardous Material*, (2009), vol. 162, no. 1, p. 402-409. [En línea]. Disponible: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18597932>
- HUMUS DE CHILE [en línea] <http://www.humusdechile.com/>; [consulta: 30 noviembre 2018]
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. (2012). Educación, Formación y Sensibilización. Recuperado el 15 de noviembre de 2018, [En línea]. Disponible: documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/.../ACCIONES_EDUCACION_CC.pdf
- Jaramillo, G. Zapata, L. (2008). “Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia” Tesis de especialización, fac. ing. Ambiental esp. Gestión ambiental; Universidad de Antioquia, Colombia. [En línea]. Disponible: <http://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/45/1/AprovechamientoRSOUenColombia.pdf>
- Leblanc, H. Cerrato, A. Miranda, A. Valle, G. (2007). Determinación de la calidad de abonos orgánicos a través de bioensayos. *Tierra Tropical*, vol. 3, p. 97-107. [En línea]. Disponible: https://www.researchgate.net/publication/237474376_DETERMINACION_DE_LA_CALIDAD_DE_ABONOS_ORGANICOS_A_TRAVES_DE_BIOENSAYOS
- Logreira, N. Molinares, N. Sisa, A. Manga, J. (2008). Aprovechamiento De Residuos Sólidos Domiciliarios. *REDISA*, 23-34. [En línea]. Disponible: <http://www.redisa.net/doc/artSim2008/gestion/A18.pdf>
- López, M. Martínez, F. Diciembre del (2013). Metodologies emprades per a la caracterització de compost. Departamento de Ingeniería Agroalimentaria y Biotecnología, Escuela Superior de Agricultura de Barcelona, Universidad Politécnica de Cataluña. [En línea]. Disponible: https://esab.upc.edu/ca/escola/Sistema%20de%20qualitat/memories-academiques/memories-fins-el-curs-2010-11/copy_of_memoria-academica-2008-09/recerca
- Lotzof, M. (2012). Very large scale vermiculture in sludge stabilisation. Vermitech Pty Limited. Australia. [En línea]. Disponible: <https://core.ac.uk/download/pdf/143875382.pdf>

- Ochoa, C. (2015). Muestreo probabilístico: muestreo por conglomerados. Recuperado el 12 de noviembre de 2018, [En línea]. Disponible: <https://www.netquest.com/blog/es/blog/es/muestreo-probabilistico-muestreo-conglomerados>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura FAO. (2011). Elaboración Y Uso Del Bokashi. San Salvador. Recuperado el 25 de noviembre de 2018, de [En línea]. Disponible: <http://www.fao.org/3/a-at788s.pdf>.
- Ortega, B. Ruiz, C. (2014). Aplicación de tecnologías para el aprovechamiento de residuos sólidos. [En línea], Disponible: https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/11404/4683/1/residuos_solidos_porvenir.pdf. [Último acceso: 17 febrero 2019].
- Periódico del Meta, diciembre de (2017). Pura basura. [En línea]. Disponible: <https://periodicodelmeta.com/pura-basura/>. [Último acceso: 28 de enero 2019].
- Pérez, N. (2016). “Evaluación y Selección de Alternativas de Solución de la Matriz de Decisión”, Colombia. [En línea]. Disponible: <http://revistavirtual.ucn.edu.co/index.php/RevistaUCN/article/download/777/1303>
- Pinto, O. Mayorga, D. (2015). Comparación entre la técnica Bokashi y el equipo Earth Green SAC 100 para la obtención de compost a partir de los residuos sólidos orgánicos generados en la Universidad de la Salle sede Candelaria. Recuperado de: http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/18271/41101065_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y, [Último acceso: 28 de Marzo 2019].
- Quiminet. (2013). Beneficios del sulfato de amonio compactado. [En línea]. Disponible: <https://www.quiminet.com/articulos/10-beneficios-por-los-que-debe-usar-sulfato-de-amonio-compactado-3510609.htm>. [Último acceso: 28 de enero 2019].
- Ramos, D. Terry, E. (2014). Generalidades de los abonos orgánicos: Importancia del Bokashi como alternativa nutricional para suelos y plantas. Cultivos Tropicales, 35(4).
- Ramos, D. Elein, A. Soto, F. Cabrera, J. (2014). Bokashi: Abono Orgánico Elaborado A Partir De Residuos De La Producción De Plátanos En Bocas Del Toro, Panamá. Cultivos Tropicales, 35(2), 90-97.
- Real Academia Española-RAE “conceptos,” 11, marzo, (2018), [En línea]. Disponible: <http://www.rae.es/>

- República de Colombia. Ministerio de Desarrollo Económico, noviembre de (2000). P 224. Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico. Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000. Sistemas de Aseo Urbano. Bogotá D.C.
- Rivera, P. (2017). UNAD. Producción de Bioabono, mediante el uso de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). Recuperado de:
<https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/13443/3/53008693.pdf>. [Último acceso: 28 de marzo 2019].
- Rodríguez, J. (2015). “Manejo Integral de Residuos Sólidos Urbanos Domiciliarios en Colombia: Mitos y Realidades,” Trabajo de investigación, fac. Ciencias económicas; Univ. Militar Nueva Granada; Bogotá, Cundinamarca, Colombia.
- Rodríguez, J. (2014). Las fuentes para el estudio de la población. Recuperado el 12 de Noviembre de 2018, de <http://titulaciongeografia-sevilla.es/contenidos/profesores/materiales/archivos/2014-10-07Fuentes.pdf>
- Román, P. Martínez, M. Pantoja, A. (2013). “Manual de Compostaje del agricultor, experiencias en América Latina,” Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura, Santiago de Chile. [En línea]. Disponible:
https://issuu.com/ovatsugaipat/docs/manual_de_compostaje_del_agricultor
- Sánchez, A. (2010). Introducción: ¿qué es caracterizar? Medellín, Fundación Universitaria Católica del Norte. [En línea]. Disponible: https://www.ucn.edu.co/institucion/sala-prensa/Documents/Libro_Educacion_Virtual-_Julio_01_de_2010-_Version_Final.pdf
- SIPAF. (2014). Grupo de Investigación Sistemas Integrados de Producción Agrícola y Forestal. Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias. Recuperado el 27 de febrero de 2019 de: http://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf.
- Superservicios. (2015). Disposición final de residuos sólidos, informe nacional. [En línea], Disponible:<https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/SSPD%20Publicaciones/Publicaciones/2018/Oct/informedisposicionfinalano2015-sspd1.pdf>. [Último acceso: 17 febrero 2019].

- Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Distrital Mayor de Bogotá D.C; 41146. (1996). Diciembre, 22, “Régimen Legal de Bogotá D.C,” [En línea]. Disponible: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=297>
- Somarriba, R. Guzmán, F. (2004). “Guía de lombricultura”, Universidad Nacional Agraria.
- SSPD. (2016). Informe Nacional de Aprovechamiento. Bogotá: Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. [En línea], Disponible: <http://repositorio.una.edu.ni/2409/1/nf04s693.pdf>
- Szanro, M. (2008). “La problemática de los residuos sólidos urbanos en América Latina y el Caribe” presentado en el I simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos. [En línea], Disponible: <http://www.redisa.net/doc/artSim2008/gestion/A35.pdf>
- Vargas, A. (2016). “Estudio técnico para la Valorización de Residuos Sólidos Vegetales provenientes de la Plaza de Mercado San Francisco de Bucaramanga, Colombia,” Maestría, Div. De ing. Y arquitectura, fac.Química Amb. Univ. Santo Tomás; Bucaramanga, Santander, Colombia. [En línea], Disponible: <http://facultadquimicaambiental.ustabuca.edu.co/>
- Vergara, C. Saavedra, O. (2012). Estudio De Prefactibilidad Técnico-Económica Del Diseño De Una Planta De Lombricultura En Base A Residuos Orgánicos. Santiago De Chile: Universidad de Chile. [En línea], Disponible: http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/111261/cf-astudillo_rc.pdf?sequence=1
- Vivero, C. SF. Materiales para hacer compost. [En línea]. Disponible: <http://www.viverochaclacayo.com.pe/materiales-para-hacer-compost-687-general.html>. [Último acceso: 12 de febrero 2019].

10. Apéndices

Apéndice A. Marco legal.

NORMA	DESCRIPCIÓN
Ley 99 de diciembre 22 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.
Ley 142 de 1994	Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios donde se incluye el servicio público de aseo y se dictan otras disposiciones.
Decreto 2202 de 1968	Por el cual se reglamenta la industria y comercio de los abonos o fertilizantes químicos simples, químicos compuestos, orgánicos naturales, orgánicos reforzados, enmiendas y acondicionadores del suelo, y se derogan unas disposiciones.
Decreto 605 de 1996	Por medio del cual se establecen los lineamientos para la adecuada prestación de un servicio de aseo desde su generación, almacenamiento, recolección y transporte, transferencia hasta su disposición final y las prohibiciones y sanciones en relación con la prestación del servicio público domiciliario de aseo (Capítulo I del título IV derogado por el decreto 2981 de 2013).
Decreto 1505 del 4 de junio de 2003	Por el cual se modifica parcialmente Decreto 1713 de 2002 (derogado por el decreto 2981 de 2013) en relación con los planes de gestión integral de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.

Apéndice A. (Continuación).

Decreto 1077 de mayo de 2015 “Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio”	SUBSECCION 8. Recolección Y Transporte Selectivo De Residuos Para Aprovechamiento: Artículo 2.3.2.2.8.85. Sistemas de aprovechamiento y valorización regionales. SECCIÓN 3. Gestión Integral De Los Residuos Sólidos: Artículo 2.3.2.2.3.87. Plan para la gestión integral de residuos sólidos, PGIRS. Artículo 2.3.2.2.3.89. Aprovechamiento en el marco de los PGIRS. Artículo 2.3.2.2.3.90. Programa de aprovechamiento. Artículo 2.3.2.2.3.91. Viabilidad de los proyectos de aprovechamiento. Artículo 2.3.2.2.3.95. Obligaciones de los municipios y distritos, numeral 5. CAPÍTULO 2. Mecanismo Departamental De Evaluación Y Viabilización De Proyectos Del Sector De Agua Potable Y Saneamiento Básico. Sección 1, Parte General: Artículo 2.3.3.2.1.6. Proyectos A Presentar Al Comité Técnico Para Su Viabilización, numeral 6.2.
Política Nacional para la gestión Integral de Residuos, 1997	Plantea como principio la reducción en el origen, aprovechamiento y valorización, el tratamiento y transformación y la disposición final controlada, cuyo objetivo fundamental es "impedir o minimizar" de la manera más eficiente, los riesgos para los seres humanos y el medio ambiente que ocasionan los residuos sólidos y peligrosos.
Resolución 201 de 2001	Por la cual se establecen las condiciones para la elaboración, actualización y evaluación de los planes de gestión y Resultados.

Apéndice A. (Continuación)

Resolución 754 del 25 de noviembre de 2014	Por la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos.
Resolución 0754 de 25 de noviembre de 2014	Por la cual se adopta la metodología para el proceso de revisión y actualización de los PGIRS municipales.
NTC 2581. 89-06-21	Abonos o fertilizantes. Determinación de carbonatos totales y proporciones aproximadas de carbonatos de calcio y magnesio en calizas y calizas dolomíticas. Establece ensayos.
NTC 234. 96-11-27	Abonos o fertilizantes. Método de ensayo para la determinación cuantitativa del fósforo. Contiene definiciones, requisitos, métodos de ensayo e informe.
NTC 4175. 97-06-25	Fertilizantes sólidos. Preparación de muestras para análisis químicos y físicos. Especifica los métodos para la preparación de las muestras o porciones de muestras requeridas para los ensayos químicos o físicos de fertilizantes sólidos. Contiene definiciones, aparatos, rotulado y reporte de preparación de muestra.
NTC 370. 97-08-27.	Establece el método para determinar el contenido de nitrógeno total en abonos o fertilizantes. Contiene definiciones y ensayos.
NTC 35. 98-03-18.	Abonos y fertilizantes. Determinación de la humedad. Del agua libre y del agua total. Contiene definiciones y ensayos.
NTC 202. 01-08-01.	Métodos cuantitativos para la determinación de potasio soluble en agua, en abonos o fertilizantes y fuentes de materias para su fabricación. Establece los métodos cuantitativos para la determinación del Contenido de potasio soluble en agua, en abonos o fertilizantes y fuentes. De materias primas, para su Fabricación.

Apéndice A. (Continuación).

NTC 5176	Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. En el APÉNDICE H, se encuentran los parámetros a caracterizar y a garantizar para materiales orgánicos sólidos y orgánico-minerales sólidos.
El Comité Técnico 000019 Gestión Ambiental sobre residuos sólidos - Guías para manejo de los residuos.	
GTC 24: 98-12-16	Guía para la separación en la fuente.
GTC 35: 97-04-16	Guía para la recolección selectiva de residuos sólidos.
RAS – 2000, versión 2012. Reglamento Técnico Del Sector Agua Potable Y Saneamiento Básico.	Según el documento la maximización del aprovechamiento de los residuos generados y por ende la minimización de los volúmenes a generar, contribuye a conservar y reducir presión sobre los recursos naturales, disminuir el consumo de energía, incrementa la vida útil de los sitios de disposición final y reducir sus costos en la prestación del servicio público de aseo, así como a reducir la contaminación ambiental.

Apéndice B. Respuesta a solicitud de Plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS) en la Secretaría de Agropecuaria y Medio Ambiente (SAMA) de la alcaldía Municipal.

	PROCESO GESTION DE LA INFORMACION Y LAS COMUNICACIONES	
	FORMATO COMUNICACIONES EXTERNAS	
Código: FR-02-28 Versión: 01	Fecha Versión: 25/01/2016	Página 1 de 1

Puerto Gaitán, 26 de julio de 2018

SAMA- 1720-73.12.326

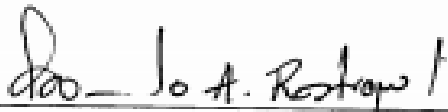
Señora
Carolina Rico Urrutia
Estudiante Ing Ambiental
Puerto Gaitán

Asunto: Respuesta a radicado 5950 del 16 de julio de 2018, solicitud copia de PGIRS

Cordial saludo,

De acuerdo a la solicitud de copia del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS del municipio de Puerto Gaitán, me permito de hacer entrega del mismo en medio magnético.

Atentamente,


LEONARDO ANDRES RESTREPO TERRANOVA
 Secretario Agropecuario y Medio Ambiente

Elabó: Alejandra Cajas Cargo: Ingeniera Ambiental	Revisó: Leonardo Andres Restrepo Terranova Cargo: Secretario Agropecuario y Medio Ambiente	Aprobó: Leonardo Andres Restrepo Terranova Cargo: Secretario Agropecuario y Medio Ambiente
--	---	---

"VOLUNTAD PARA EL PROGRESO"
 Calle 18 N° 16-66 Barrio Centro, Palacio Municipal Antonio Roldano Rivera
 Teléfonos: +57(805)4450000, +57(805)4450425, Fax: +57(805)4450773
 Agropecuariaymedioambiente@puertogaitan-mesa.gov.co
 www.puertogaitan-mesa.gov.co
 Código Postal 522641

Apéndice C. Respuesta a solicitud con cantidad de barrios y habitantes del Municipio en la Secretaría de Planeación de la alcaldía Municipal.

 Código: FR-IC-23 Versión: 01	PROCESO GESTIÓN DE LA INFORMACIÓN Y LAS COMUNICACIONES FORMATO COMUNICACIONES EXTERNAS	 Fecha Versión: 29/01/2016

Puerto Gaitán, Meta, 08 de agosto de 2018

OAP - 1010-73.43 - 077

Señora:

CAROLINA RICO URRUTIA

Vilavicencio

Ciudad

Asunto: Entrega de información.

De manera atenta doy respuesta a su oficio con radicado interno **005951** del 26 Julio de 2018, el cual solicita; cantidad de habitantes en el casco urbano del municipio, cantidad y nombre de los barrios del casco urbano del municipio y número de habitantes por barrio que reposa en nuestra base de datos del municipio, esto con el fin de poder elaborar proyecto de grado.

Revisada la base de datos del **SISBEN**, se obtuvo la siguiente información:

TOTAL DE HABITANTES EN EL CASCO URBANO	17537 HABITANTES
BARRIOS CASCO URBANO DEL MUNICIPIO	TOTAL DE HABITANTES POR BARRIO
TRAMPOLIN	664
VILLA ORTIZ	586
ESPERANZA	465
POPULAR	3523
VILLA AMALIA	1331
VENCEDORES	893
PARAISO NATURAL	940
ALTO MANACACIAS	529
CARIMACUA	166
JOSE A. GALAN	1463
TRIUNFO	966
MANACACIAS	1184
CENTRO	425
VILLA LOS ALPES	292
URBANIZACION CANAAN	162
PERLA DEL MANACACIAS	2835

"VOLUNTAD PARA EL PROGRESO"
 Calle 10 N° 10-60 Barrio Centro, Palacio Municipal Arnaldo Riosmena Riveras Teléfonos +57(598)6460051, +57(598)6450425 Fax
 +57(598)6460772 e-mail: comunicacion@puerto-gaitan-met.gov.co www.puerto-gaitan-met.gov.co
 Código Postal 502041



Apéndice C. (Continuación).

Código: FR-IC-23 Versión: C		Fecha Versión: 29/01/2015
BELLO HORIZONTE	709	
INVASION MI RANCHITO	298	
FLOR AMARILLO	12	
VILLA FLOR	6	
VILLA VALENTINA	18	
PRIMERA DE MAYO	32	
NUOVA IERUSALÉN	1	

Lo anterior para efectos legales y fines pertinentes.

JOSE LEONARDO LESMES SANCHEZ
Jefe Oficina Asesora de Planeación

Elaboró: Camila Triguero	Revisó: Jose Leonardo Lesmes Sanchez	Aprobó: Jose Leonardo Lesmes Sanchez
Acepa Técnica: Oficina Asesora de Planeación	Jefe Oficina Asesora de Planeación	Jefe Oficina Asesora de Planeación

Apéndice D. Respuesta de acompañamiento y apoyo por parte de la Empresa de Servicios Públicos de aseo Perla del Manacacias.



Puerto Gaitán - Meta, 14 de septiembre de 2018

E.S.P.D.M-S.T. O - N.° 57

Señores
CAROLINA RICO URRUTIA
SEBASTIAN LEGUIZAMO OLARTE
 Estudiantes de Ingeniería Ambiental
 Universidad Santo Tomás
 Villavicencio

ASUNTO: Respuesta solicitud RAD. 0302 (solicitud apoyo para proyecto de grado para optar al título de Ingenieros Ambientales).

Cordial saludo,

En atención a la solicitud radicada en la Entidad el día 16 de julio de 2018, la cual tiene por asunto solicitud apoyo para proyecto de grado para optar al título de Ingenieros Ambientales, me permito indicar:

Que, Perla del Manacacias E.S.P. cuenta con la disposición de apoyarlos en su Proyecto de Grado denominado "EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS (COMPOSTAJE, LUMBRICULTURA Y BOCASHI) PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS DOMICILIARIOS GENERADOS EN EL CASCO URBANO DEL MUNICIPIO DE PUERTO GAITÁN - META" especialmente brindándoles apoyo y acompañamiento en la fase de recolección de residuos y sensibilización a la comunidad.

Quedamos atentos al cronograma de ejecución, para induirlo en nuestra programación y poder realizar el acompañamiento mencionado anteriormente.

Atentamente,

EDILBERTO ESTÉVEZ TRONCOSO
 Subgerente Técnico y Operativo Perla del Manacacias E.S.P.

Elaboró: Carolina Rico Urrutia	Aprobó: Edilberto Estévez Troncoso	Revisó: Edilberto Estévez Troncoso
Cargo: Promotor(a) de Asesoría CPS	Cargo: Subgerente Técnico y Operativo	Cargo: Subgerente Técnico y Operativo

Apéndice E. Brochure.

- Restos de infusiones y de café.
- Bolsas de té.
- Aceite y vinagre de las ensaladas.
- Cáscaras de huevo trituradas.
- Cáscaras de plátano.
- Papel de cocina.
- El borde del pan que los niños no se comen.
- Restos de tostadas.
- Leche de soya.
- Cáscaras de maní y otros frutos secos.
- Palomitas de maíz.
- Semillas de calabaza y otras verduras.
- Hojas y otras partes que no usas del puerro y otras verduras.
- Restos de arroz cocido.
- Bolsas de papel.







UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
PRIMUM RECUSANTIBUS NISI PRIMUM VEREDICAT OCUSSIBUS

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

INTEGRANTES:

CAROLINA RICO URRUTIA
COD. 2166313
CEL. 3204912999
carolinarico@usantotomas.edu.co

SEBASTIÁN LEGUIZAMO OLARTE
COD. 2168963
CEL. 3102343065
joanleguizamo@usantotomas.edu.co

PROYECTO DE GRADO:
Evaluación de tecnologías (Compostaje, Lombricultura y Bocachi) para el aprovechamiento de residuos orgánicos domiciliarios generados en el casco urbano del Municipio de Puerto Gaitán-Meta.



RESIDUO ORGÁNICO DOMICILIARIO



Son aquellos que son **biodegradables**, por lo que tienen la característica de poder desintegrarse o degradarse rápidamente, transformándose en otro tipo de materia **orgánica**. Incluyen restos de comida, cáscaras de frutas y verduras, telas naturales y **residuos** procedentes de la poda de plantas.

¿POR QUÉ LO HACEMOS?



En el municipio de Puerto Gaitán, Meta según su (PGIRS, 2015) del total de residuos producidos el 39% corresponde a orgánicos y de estos solo el 0,016% se aprovechan.

BENEFICIOS

- Recuperar valores económicos y energéticos que hayan sido empleados en los diferentes procesos productivos
- Racionalizar el uso y consumo de materias primas procedentes de los recursos naturales
- Aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios

- Reducir el caudal y la carga contaminante de lixiviados en el relleno sanitario
- Reducir los impactos ambientales

¿CÓMO CONTRIBUYES?



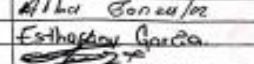
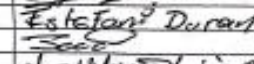
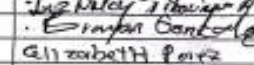
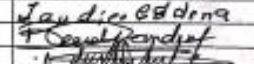
- Restos vegetales de frutas y verduras.
- Las cortezas y centros de frutas como manzanas y sandías.
- Yogures y jugos de frutas vencidos.

Apéndice F. Formatos diligenciados por la comunidad participativa.

 **UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS**
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
VILLAVICENCIO

Evaluación de tecnologías (Compostaje, Lombricultura y Bokashi) para el aprovechamiento de residuos orgánicos domiciliarios generados en el casco urbano del Municipio de Puerto Gaitán-Meta.

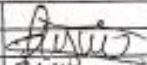
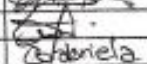
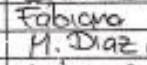
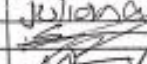
PLANILLA DE PARTICIPACIÓN Y ASISTENCIA PROYECTO

	BARRIO	NOMBRES Y APELLIDOS	FIRMA
1	La Esperanza	Jhon Duque	
2	La Esperanza C/15 C/134	Ernesto Molina	
3	La Esperanza Calle 7 C/14 #41	Alba Gonzales	Alba Gonzales
4	Centro	Estefany Garcia	Estefany Garcia
5	Centro	Juan Carlos Zuniga	
6	Centro	Estefany Duran	Estefany Duran
7	Villa los alpes	Jairo Osorio	
8	Villa los alpes	Luz Nelly Tibabipa	Luz Nelly Tibabipa
9	Galan C/3 17A31	Andres Gonzalez	Andres Gonzalez
10	Galan C/3 17A25	Isabel Perez	Isabel Perez
11	Galan C/3 17A11	Laudice Cadena	Laudice Cadena
12	Galan C/3 17A11	Brendy Carden	Brendy Carden
13	Galan C/3 17A09	Sergio Daza	
14	Galan C/3 17-55	Luz Lopez	Luz Lopez
15	Villa Amalia C/2 F23-29	Katherine Landaeza	Katherine Landaeza
16	Villa Amalia C/2 F23-29	Berenice Tamayo	Berenice Tamayo
17	Villa Amalia C/2 F23-29	Angelica Gonzalez	Angelica Gonzalez
18	Villa Amalia C/2 F23-29	Patricia Martinez	Patricia Martinez
19	Villa Amalia C/2 F23-29	Merly Herrera	Merly Herrera
20	Villa Amalia C/2 F23-29	Elba Enciso	Elba Enciso

 **UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS**
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA
VILLAVICENCIO

Evaluación de tecnologías (Compostaje, Lombricultura y Bokashi) para el aprovechamiento de residuos orgánicos domiciliarios generados en el casco urbano del Municipio de Puerto Gaitán-Meta.

PLANILLA DE PARTICIPACIÓN Y ASISTENCIA PROYECTO

	BARRIO	NOMBRES Y APELLIDOS	FIRMA
1	Bello Horizonte C/24 1-11	Miriam Guzman	
2	Bello Horizonte C/24 1-11	Edith Encinosa Moreno	Edith Encinosa Moreno
3	Bello Horizonte C/24 1-12	William Moreno	
4	Bello Horizonte C/25 #1-25	Socor Caro	Socor Caro
5	Lib. Canzán C/2 #20-20	Albanio Lotada	
6	Triunfo Trasu. 9 8-11	Gabriela Garcia	Gabriela G.
7	Triunfo Trasu. 9 8-19	Fabiana Torres	Fabiana Torres
8	Triunfo Trasu. 9 8-23	Monica Diaz	M. Diaz H.
9	Triunfo Trasu. 9 8-21	Juliana Torres	Juliana
10	Triunfo Trasu. 9 8-24	Osor Bejarano	
11	Alto Manacacias C/18 #18-26	Nelson Gonzalez	
12	Alto Manacacias C/18 #18-26	Nicolas Velez	Nicolas V.
13	Alto Manacacias C/18 #9A-14	Tatiana Castillo	Tatiana C.
14	Villa Ortiz	Luz Torres	Luz Torres
15	Villa Ortiz	Adelina Medina	Adelina Medina
16	Villa Ortiz	Carlos Mendez	Carlos Mendez
17			
18			
19			
20			

Apéndice G. Guía de recomendaciones.

Guía de recomendaciones para la planta de Lombricompost en el municipio de Puerto Gaitán - Meta	
Recepción y selección de la materia prima	<u>Origen Agrícola:</u> Verduras, cáscaras de huevo, plátano y frutas. <u>Origen Pecuario:</u> Cáscaras de camarón, estiércol de animales herbívoros. Verificar que no haya residuos inorgánicos como vidrio, plásticos, metales, etc, y prevenir residuos como carnes, huesos, restos de pescado, aceites o grasas, algún tipo de productos lácteos, excrementos de animales carnívoros, entre otros, que pueden afectar el proceso de descomposición.
Humedad	70% – 80%
Ph	6.5 – 7.5
Temperatura	18 – 25 °C
Trituración de la Materia Prima	Partículas de tamaño entre 1 a 5 mm
Relación Carbono/Nitrógeno	15:1 – 35:1
Compostaje o descomposición de la materia orgánica	20% - 30% Origen Agrícola 70% - 80% Origen Pecuario Cada dos días hacer volteos al compost durante las 6 primeras semanas.
Llenado de contenedores	Primera capa de materia orgánica: 10 a 15 cm de espesor.

Apéndice G. (Continuación).

Siembra de Lombrices	Densidad de 1.5 kg de lombriz sustrato por m^2 de sección de 1.5 m x 8 m y 0.60 m de alto.
Cosecha del Lombricompuesto	Llenado el contenedor con el sustrato y pasado aproximadamente 2 meses y medio, el lombricompost estará listo.
Extracción de lombrices del abono	No se alimentan durante 8 días, luego se coloca una lona a lo largo del contenedor con orificios pequeños en ella y se sitúa alimento fresco para estimular el traslado de la lombriz hacia la superficie y así mismo poder retirarlas.
Tamizado (Opcional)	Pasar el lombricompost por una zaranda mecánica con el fin de tener un material más fino, sin agregado grueso, que sea homogéneo y brinde una mejor presentación.
NTC 5167	Se hará un análisis en laboratorio de los diferentes parámetros, para ver si cumple con la calidad exigida por la norma.
Empaque y pesaje	Se empacarán en sacos porosos de fibra previamente etiquetada con el peso a convenir.

Apéndice H. NTC 5176.

**INFORME DE RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS A CARACTERIZAR Y A
GARANTIZAR PARA MATERIALES ORGÁNICOS SÓLIDOS Y ORGÁNICO-MINERALES
SÓLIDOS**

Parámetro	Parámetro a caracterizar		Parámetro a Garantizar		Método analítico (NTC o método aplicado)
	Resultado obtenido	Unidades	Material orgánico sólido	Material orgánico Mineral sólido	
Humedad		%	Máximo 20 (origen animal) Máximo 30 (origen vegetal)	Máx. 15	
Cenizas		%	Máximo 60	N.A.	
Pérdidas por volatilización		%	N.A.	N.A.	
Carbono orgánico oxidable		%	Mínimo 15	> 5	
pH (pasta de saturación)			> 4 < 9	N.A.	
Densidad real (en base seca)		g/cm ³	Máximo 0,6	N.A.	
Conductividad eléctrica		dS/m	N.A.	N.A.	
Retención de humedad		%	Mínimo 100	N.A.	
Capacidad de intercambio catiónico		(meq/100g)	Mínimo 30	N.A.	
C/N orgánico			N.A.	N.A.	Activar Wi
Nitrógeno total (N _{org} +N _{NH4} +N _{NH2} + N _{NO3})		%	Si >1	Mínimo 2 ⁽²⁾	
Fósforo total (P ₂ O ₅)		%	Si >1	Mínimo 2 ⁽²⁾	
Fósforo asimilable (P ₂ O ₅)		%	N.A.	Si lo tiene ⁽²⁾	
Potasio total (K ₂ O)		%	Si >1	Mínimo 2 ⁽²⁾	
Potasio Soluble en agua (K ₂ O)		%	N.A.	Si lo tiene ⁽²⁾	
Calcio total (CaO)		%	N.A.	Si >1 ⁽²⁾	
Magnesio total (MgO)		%	N.A.	Si >1 ⁽²⁾	
Azufre total (S)		%	N.A.	Si >1 ⁽²⁾	
Hierro total (Fe)		%	(3)	(1) (2)	
Manganeso total (Mn)		%	(3)	(1) (2)	
Cobre total (Cu)		%	(3)	(1) (2)	
Zinc total (Zn)		%	(3)	(1) (2)	
Boro total (B)		%	(3)	(1) (2)	Activar Wi

Parámetro	Parámetro a caracterizar		Parámetro a Garantizar		Método analítico (NTC o método aplicado)
	Resultado obtenido	Unidades	Material orgánico sólido	Material orgánico mineral sólido	
Sodio total (Na)		%	N.A.	N.A.	
Silicio total (SiO ₂)		%	Máximo 50 de cenizas	Máximo 50 de cenizas	
Metales pesados		mg/kg	Según Tabla 1	Según Tabla 2	
N.A.: No se aplica (esta expresión implica que el parámetro se debe conocer para efectos de clasificación del producto pero no está considerado dentro de los parámetros a garantizar). ⁽¹⁾ Los valores límite mínimos están definidos en la legislación nacional vigente para fertilizantes. ⁽²⁾ La sumatoria del contenido de los elementos a garantizar debe ser mínimo 10 % y los valores considerados en la sumatoria deben ser mínimo 1 %. ⁽³⁾ Este requisito no se exige en los materiales orgánicos sólidos. RESULTADOS EXPRESADOS EN BASE HÚMEDA					

Tabla 1. Abonos o fertilizantes orgánicos sólidos

Indicaciones relacionadas con la obtención y los componentes principales	Parámetros a caracterizar (Criterios de clasificación del producto)	Parámetros a garantizar (en base húmeda)												
Producto sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos de animales, vegetales o residuos sólidos urbanos separados en la fuente o mezcla de los anteriores, que contienen porcentajes mínimos de materia orgánica expresada como carbono orgánico oxidable total y los parámetros que se indican.	- Pérdidas por volatilización %* - Contenido de cenizas máximo 60 %* - Contenido de humedad: * - Para materiales de origen animal Máximo 20 % - Para materiales de origen vegetal, máximo 30 % - Para mezclas el contenido de humedad deberá ponderarse en proporción a la mezcla - Contenido de carbono orgánico oxidable total, mínimo 15 % - N, P₂O₅, K₂O, totales (reportarlos si cada uno es mayor de 1 %) - Contenido de silicio total expresado como SiO₂, máximo: 50 % del contenido de cenizas - Relación C/N - Capacidad de Intercambio Catiónico, mínimo 30 cmol(+)/kg⁻¹ (meq/100g) - Capacidad de retención de humedad, mínimo su propio peso - pH mayor de 4 y menor de 9 - Densidad real máxima (en base seca) 0,6 g/cm³ - Límites máximos en mg/kg (ppm) de los metales pesados expresados a continuación:<table><tr><td>Arsénico (As)</td><td>41</td></tr><tr><td>Cadmio (Cd)</td><td>39</td></tr><tr><td>Cromo (Cr)</td><td>1 200</td></tr><tr><td>Mercurio (Hg)</td><td>17</td></tr><tr><td>Níquel (Ni)</td><td>420</td></tr><tr><td>Plomo (Pb)</td><td>300</td></tr></table> - Se debe indicar la materia prima de la cual procede el producto * La suma de estos parámetros debe ser 100.	Arsénico (As)	41	Cadmio (Cd)	39	Cromo (Cr)	1 200	Mercurio (Hg)	17	Níquel (Ni)	420	Plomo (Pb)	300	- Contenido de carbono orgánico oxidable total (%C) - Contenido de humedad (%) - Contenido de cenizas (%) - Capacidad de Intercambio Cationico, cmol(+)/kg⁻¹ (meq/100g) - Capacidad de retención de humedad (%) - pH - Contenido de nitrógeno total (%N) (si el contenido es mayor de 1 %) - Densidad (g/cm³) - Contenido de metales pesados (mg/kg) - Contenido de silicio total como SiO₂ - Contenido de fósforo total (%P₂O₅) (si el contenido es mayor de 1 %) - Contenido de potasio total (K₂O) (si el contenido es mayor de 1 %)
Arsénico (As)	41													
Cadmio (Cd)	39													
Cromo (Cr)	1 200													
Mercurio (Hg)	17													
Níquel (Ni)	420													
Plomo (Pb)	300													

Tabla 2. Abonos o fertilizantes orgánico-minerales sólidos

Indicaciones relacionadas con la obtención y los componentes principales	Parámetros a caracterizar (Criterios de clasificación del producto)	Parámetros a garantizar (en base húmeda)												
Producto sólido de origen animal, vegetal o proveniente de lodos de tratamiento de aguas residuales domésticas o agroindustriales estabilizados o de origen pedogenético; con o sin mezcla de abonos minerales, que contienen porcentajes mínimos de materia orgánica expresada como carbono orgánico oxidable total y los parámetros que se indican.	- Pérdidas por volatilización %* - Contenido de cenizas %* - Contenido de humedad: máximo 15 % * - Contenido de carbono orgánico oxidable total, mayor de 5 % - N, P₂O₅, K₂O, el contenido total de cada elemento mínimo es 2 %, - CaO, MgO, S reportar si la riqueza total de cada elemento mínimo es 1 %, - Elementos menores de acuerdo con lo establecido en la legislación vigente para fertilizantes. - La suma de los elementos a reportar debe ser mínimo 10 % si la riqueza total de cada elemento mínimo es 1 % - Contenido de silicio total expresado como SiO₂, máximo: 50 % del contenido de cenizas - Densidad (g/cm³), reportar - pH, reportar - Contenido de sodio (%Na), reportar - Conductividad eléctrica (dS/m), reportar - Límites máximos en mg/kg (ppm) de los metales pesados expresados a continuación : <table><tr><td>Arsénico (As)</td><td>41</td></tr><tr><td>Cadmio (Cd)</td><td>39</td></tr><tr><td>Cromo (Cr)</td><td>1 200</td></tr><tr><td>Mercurio (Hg)</td><td>17</td></tr><tr><td>Níquel (Ni)</td><td>420</td></tr><tr><td>Plomo (Pb)</td><td>300</td></tr></table> - Se debe indicar la materia prima de la cual procede el producto	Arsénico (As)	41	Cadmio (Cd)	39	Cromo (Cr)	1 200	Mercurio (Hg)	17	Níquel (Ni)	420	Plomo (Pb)	300	- Contenido de carbono orgánico oxidable total (%C) - Contenido de humedad (%) - Contenido de nitrógeno total (%Nt) - Contenido de fósforo total (%P₂O₅) - Contenido de fósforo asimilable (si lo tiene) (%P₂O₅) - Contenido de potasio total (%K₂O) - Contenido de calcio total (%CaO) - Contenido de magnesio total (%MgO) - Contenido de azufre total (%S) - Si el producto final contiene fuentes solubles en agua, el contenido de sus elementos se debe garantizar. - Contenido de elementos menores (%) - Contenido de metales pesados (mg/kg) (ppm) - Contenido de silicio total (%SiO₂)
Arsénico (As)	41													
Cadmio (Cd)	39													
Cromo (Cr)	1 200													
Mercurio (Hg)	17													
Níquel (Ni)	420													
Plomo (Pb)	300													
	* La suma de estos parámetros debe ser 100													