

**SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS VIABLE PARA EL TRATAMIENTO
DE BIORRESIDUOS EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES DEL BARRIO LA
SELVA DE LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI**

**LONDOÑO RESTREPO KEVIN ANDRÉS
NOGUERA URBANO ANDERSON NICOLÁS**



**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
SANTIAGO DE CALI
2024**

**SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA MÁS VIABLE PARA EL TRATAMIENTO
DE BIORRESIDUOS EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES DEL BARRIO LA
SELVA DE LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI**

**LONDOÑO RESTREPO KEVIN ANDRES 1432512
NOGUERA URBANO ANDERSON NICOLAS 1670016**

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Sanitario y Ambiental

**Director:
Ing. ALDEMAR REYES TRUJILLO, MSc. PhD.**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
SANTIAGO DE CALI
2024**

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. ANTECEDENTES	12
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
4. JUSTIFICACIÓN	16
5. OBJETIVOS	18
5.1 OBJETIVO GENERAL	18
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	18
6. MARCO REFERENCIAL	19
6.1 RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES.....	19
6.2 GESTIÓN DE RESIDUOS	19
6.3 COMPONENTES DE GESTIÓN DE BIORRESIDUOS.	20
6.4 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE BIORRESIDUOS	21
7. DISEÑO METODOLÓGICO	23
7.1 IDENTIFICAR LAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS CON MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE BIORRESIDUOS EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES DEL BARRIO LA SELVA DE LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI.....	23
7.1.1 Revisión bibliométrica.....	23
7.1.2 Identificación de alternativas más utilizadas y sus requerimientos.	24
7.2 DETERMINAR LAS CONDICIONES TÉCNICAS PARA LA INSTALACIÓN, PUESTA EN MARCHA, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE ESTAS ALTERNATIVAS EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES CON ACCESO A PATIO DE LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI.....	25
7.2.1 Selección de las condiciones técnicas para la instalación, puesta en marcha, operación y mantenimiento de estas tecnologías en el contexto indicado.....	25
7.3 PROPONER LA ALTERNATIVA DE APROVECHAMIENTO DE BIORRESIDUOS CON MAYOR VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES DEL BARRIO LA SELVA DE LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI MEDIANTE EL USO DEL MÉTODO AHP.....	27
7.3.1 Escogencia de expertos a consultar.....	27
7.3.2 Aplicación del método AHP.....	28
8. RESULTADOS	30
8.1 IDENTIFICAR LAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS CON MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE BIORRESIDUOS EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES DEL BARRIO LA SELVA DE LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI.....	30
8.1.1 Revisión bibliométrica.....	30
8.1.2 Identificación de alternativas más utilizadas y sus requerimientos.....	31
8.2 DETERMINAR LAS CONDICIONES TÉCNICAS PARA LA INSTALACIÓN, PUESTA EN MARCHA, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE ESTAS ALTERNATIVAS EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES CON ACCESO A PATIO DE LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI.....	36
8.2.1 Selección de las condiciones técnicas para la instalación, puesta en marcha, operación y mantenimiento de estas tecnologías en el contexto	

indicado.....	36
8.3 PROPONER LA ALTERNATIVA DE APROVECHAMIENTO DE BIORRESIDUOS CON MAYOR VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES DEL BARRIO LA SELVA DE LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI MEDIANTE EL USO DEL MÉTODO AHP.....	58
8.3.1 Escogencia de expertos a consultar.....	58
8.3.2 Aplicación del método AHP.	60
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	69
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71
11. ANEXOS	77

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Jerarquía de residuos aplicada a biorresiduos.	20
Figura 2. Etapas del diseño metodológico a emplear.	23
Figura 3. Diagrama de flujo para viabilidad de aplicación de alternativa.	26
Figura 4. Localización del barrio La Selva de la ciudad de Santiago de Cali.	26
Figura 5. Ocurrencia de palabras clave de los documentos obtenidos.....	30
Figura 6. Número de documentos publicados por año.....	31
Figura 7. Clasificación de países de acuerdo con su nivel de ingresos.....	32
Figura 8. Países de nivel de ingreso medio alto	33
Figura 9. Países de nivel de ingreso medio bajo.....	33
Figura 10. Compostera doméstica vertical	49
Figura 11. Compostera doméstica horizontal.....	50
Figura 12. Tamizado del compost.....	52
Figura 13. Proceso de reproducción de la lombriz.....	53
Figura 14. Lombricompostera domiciliaria.....	54
Figura 15. Secado del lombricompostaje.....	55
Figura 16. Pacas biodigestoras durante la fase práctica en la Universidad Autónoma Chapingo.....	56
Figura 17. Proceso de prensado de biorresiduos en la paca digestora	57
Figura 18. Biorresiduos desmoldados	58
Figura 19. Listado de criterios	60
Figura 20. Jerarquización de criterios.....	61
Figura 21. Alternativas de tratamiento	62
Figura 22. Matriz de criterios resultante.....	62
Figura 23. Matriz de criterios con autovector y coeficiente de consistencia	63
Figura 24. Matriz de alternativas con autovector por cada criterio	63
Figura 25. Porcentaje de preferencia resultante por alternativa	65
Figura 26. Resultados de la encuesta realizada a la comunidad.....	66
Figura 27. Conformación de lombricompostera vertical con 4 recipientes.....	67
Figura 28. Lombricompostera vertical comercial de 48 L.....	68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Escala de Saaty.	29
Tabla 2. Documentos relacionados al tratamiento de biorresiduos domiciliarios para viviendas unifamiliares con acceso a patio y condiciones similares a las de Santiago de Cali.....	34
Tabla 3. Resumen de los casos de estudio respecto al compostaje.	36
Tabla 4. Especificaciones del compostador.	39
Tabla 5. Información del proceso de compostaje y costos en cada caso de estudio.....	40
Tabla 6. Residuos orgánicos utilizados en compostaje.	41
Tabla 7. Resumen de lombricomposteras adoptadas en los casos de estudio. ..	42
Tabla 8. Especificaciones de las lombricomposteras.....	43
Tabla 9. Residuos orgánicos utilizados en el lombricompostaje.....	44
Tabla 10. Resumen de los estudios de aplicación de tratamiento de biorresiduos en Pacas Digestoras.....	46
Tabla 11. Especificaciones de las Pacas Digestoras.	47
Tabla 12. Residuos orgánicos utilizados en las Pacas Digestoras.....	47
Tabla 13. Relación C/N ideal para el compostaje.	51
Tabla 14. Valoración experta acerca de un criterio respecto de otro.....	78
Tabla 15. Valoración experta acerca de una alternativa respecto de otra, para cada criterio.	79

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Preguntas referentes a criterios de selección.....	77
Anexo 2. Preguntas referentes a alternativas tecnológicas de tratamiento.	78
Anexo 3. Ecuación de búsqueda 1.	79
Anexo 4. Ecuación de búsqueda 2.	80
Anexo 5. Figuras de composteras y lombricomposteras utilizadas en los casos de estudio seleccionados.	80
Anexo 6. Valoraciones de parte de los expertos mediante la escala de Saaty.....	86
Anexo 7. Encuesta sobre la disposición y aceptación para la implementación de tecnologías de tratamiento de biorresiduos en el barrio La Selva.	87

RESUMEN

En el 2021, se llevaron a disposición final 11.9 millones de toneladas de residuos sólidos en Colombia, de estos residuos el 40% podrían aprovecharse, pero solamente se recicla alrededor del 17%. En algunos municipios de Colombia entre 62% y 65% de los Residuos Sólidos Municipales (RSM) corresponde a biorresiduos, lo que indica un potencial significativo de tratamiento que actualmente no se está aprovechando. Esta situación genera impactos negativos en la salud de la población y el medio ambiente, afectando recursos naturales como el aire, el suelo y el agua. Por lo tanto, es fundamental implementar una gestión integral de los residuos sólidos (RS), que incluya la reducción en la generación, la recuperación, el aprovechamiento y el tratamiento diferenciado de los RS, según su tipo y potencial de aprovechamiento, culminando en una disposición final controlada. El aprovechamiento de los biorresiduos se presenta como una alternativa prometedora, ya que no solo reduce el impacto ambiental asociado a su manejo, sino que también puede generar productos de valor agregado con aplicaciones agrícolas.

El presente trabajo se enfocó en la selección de la alternativa más viable para el tratamiento de biorresiduos en viviendas unifamiliares del barrio La Selva de Santiago de Cali. Para ello se realizó una revisión crítica de literatura y experiencias sobre el tratamiento de biorresiduos a nivel domiciliario, utilizando herramientas como VOSviewer y el software Bibliometrix para filtrar y analizar la información. Se identificaron tres alternativas tecnológicas principales: compostaje, lombricompostaje y pacas digestoras. Posteriormente se determinaron las condiciones técnicas necesarias para la instalación, puesta en marcha, operación y mantenimiento de estas alternativas en viviendas unifamiliares con acceso a patio.

El estudio empleó una metodología basada en el proceso de Análisis jerárquico (AHP) para seleccionar la alternativa con mayor viabilidad de implementación. Se consideraron criterios como ocupación de espacio, dificultad operacional, tiempo de tratamiento, costos y generación de olores, entre otros. La opinión de expertos y la comunidad fue fundamental en este proceso. Los resultados mostraron que el lombricompostaje (A2) obtuvo un 59% de preferencia, seguido del compostaje (A1) con un 48%, y las pacas digestoras (A3) con un 22%. El lombricompostaje se destacó por su menor tiempo de tratamiento, facilidad operacional y control de olores, lo que lo convierte en la opción más viable para el contexto del barrio La Selva.

En conclusión, este trabajo demuestra que el lombricompostaje es una alternativa efectiva para el tratamiento de biorresiduos en viviendas unifamiliares, contribuyendo a la reducción de residuos enviados a rellenos sanitarios y promoviendo prácticas sostenibles en la gestión de residuos. Además, se resalta la importancia de continuar con investigaciones prácticas y campañas de sensibilización para fomentar la adopción de estas tecnologías en la comunidad.

Palabras clave: Aprovechamiento, Biorresiduos, Compostaje, Lombricompostaje, Pacas Digestoras, Digestión Anaerobia, Residuos Sólidos, Tratamiento, Huertas Urbanas.

1. INTRODUCCIÓN

El aumento acelerado de la población mundial está ocasionando impactos negativos en el planeta, ya que los recursos naturales no pueden regenerarse al mismo ritmo que son consumidos. Este problema se agrava por el modelo de consumo actual, que tiende hacia lo excesivo y, de mantenerse, generará cada vez más residuos sin considerar los límites de los recursos ni el impacto ambiental negativo asociado a la gran cantidad de desechos resultantes (Salazar, 2018). A nivel mundial, se estimó una producción de más de 2.000 millones de toneladas de desechos para el año 2016, con una tasa de reciclaje de sólo el 16% (Kaza *et al.*, 2018; Smith, 2019). El Banco Mundial en su último informe sobre desperdicios, indica que los próximos 30 años, es probable que estos elementos aumenten hasta en un 70% (Kaza *et al.*, 2018). Según Hoornweg y Bhada (2012), los residuos orgánicos biodegradables o biorresiduos representan entre el 28 y 40% de los residuos sólidos municipales (RSM) en países desarrollados, mientras que en países en desarrollo, esta cifra oscila entre el 50% y 64% del total de RSM.

En Colombia, el Informe Nacional de Disposición Final de Residuos Sólidos 2021 (SSPD, 2021), revela que se llevaron a disposición final 11.952.441 toneladas de RS, de los cuales cerca del 40% podrían aprovecharse, pero solamente se recicla alrededor del 17%. De estos residuos, la mayor fracción corresponde a biorresiduos, lo que indica un potencial significativo de tratamiento que actualmente no se está aprovechando. Esta situación genera consecuencias negativas no solo para la salud de la población, sino también para el medio ambiente, afectando recursos naturales como el aire, el suelo y el agua. Por lo tanto, es fundamental implementar una gestión integral de los residuos sólidos (RS), que incluya la reducción en la generación, la recuperación, el aprovechamiento y el tratamiento diferenciado de los RS, según su tipo y potencial de aprovechamiento, culminando en una disposición final controlada.

En los últimos años se han realizado diversas investigaciones dirigidas hacia el aprovechamiento de los biorresiduos. Entre las tecnologías identificadas se destacan el compostaje, lombricompostaje y la digestión anaerobia (Rendón, 2017; Villegas & Laines, 2017). El CONPES 3874 (DNP, 2016a), fundamentado en un estudio con una capacidad de procesamiento de 30.000 toneladas mensuales, señala que el relleno sanitario, en conjunto con el compostaje, representa la alternativa de menor costo por tonelada para el manejo de residuos sólidos (RS). Según Arenas-Guayazan (2019), la digestión anaerobia es una alternativa tecnológica apropiada para obtener un beneficio a partir de los RS domiciliarios, reintegrándolos al ciclo productivo y apoyando la iniciativa de la economía circular y economía regenerativa. Esto permite reducir el volumen de residuos enviados a los rellenos sanitarios para su disposición final, además de generar biogás, del cual es posible aprovechar el metano (CH₄) como fuente de energía. Por su parte, Lleó *et al.* (2013) evaluaron las emisiones gaseosas resultantes del compostaje y el vermicompostaje como técnicas de tratamiento biológico, con el fin de determinar la calidad del compost.

Con el fin de buscar estrategias para reducir los RS domiciliarios, surge la importancia de aprovechar una fracción significativa de los biorresiduos. Este trabajo se enfoca en determinar las condiciones técnicas para instalar, poner en marcha, operar y mantener una alternativa tecnológica para el aprovechamiento de biorresiduos en viviendas unifamiliares del barrio La Selva de la ciudad de Santiago de Cali. A través de una revisión bibliográfica y el empleo de una matriz de análisis multicriterio (método AHP), considerando la opinión de expertos y de la comunidad, se propone seleccionar la alternativa cuya implementación resulte más viable para el contexto indicado.

Este enfoque permitirá no solo reducir el impacto ambiental asociado al manejo de residuos, sino también a generar productos de valor agregado con aplicaciones agrícolas, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental y social

2. ANTECEDENTES

En los últimos años, se han realizado diversas investigaciones y trabajos orientados hacia el aprovechamiento de los biorresiduos, explorando varias alternativas como el compostaje, vermicompostaje y digestión anaerobia. Estas tecnologías se han estudiado tanto a nivel global como local, con el objetivo de reducir la cantidad de residuos enviados a los rellenos sanitarios y promover su valorización (Oviedo *et al.*, 2012). A continuación, se presenta una revisión estructurada de avances relevantes en este campo, abordando desde una perspectiva general hasta estudios específicos en contextos urbanos y residenciales.

En Europa, los residuos alimentarios (RA) representan la fracción principal de los RSM, constituyendo el 45% del total. Este dato resalta la importancia de implementar estrategias efectivas para su manejo y aprovechamiento, con el fin de reducir su impacto ambiental (Barrena & Sanchez, 2022).

En el contexto latinoamericano, un estudio realizado en el distrito de Pano, ubicado en la provincia de Pachitea, departamento de Huánuco (Perú), analizó el manejo de RS con el objetivo de minimizar la contaminación ambiental. La investigación, trabajó con una muestra de 260 domicilios distribuidos en cuatro barrios del distrito. Los resultados mostraron una generación per cápita de 0,644 kg/hab-día y un volumen de 0,22 m³ por persona. Se identificó que la mayor proporción de los residuos estaba compuesta por materia orgánica (53,20%), lo que sugiere que un manejo integral de estos residuos podría reducir la contaminación en un 34,93% (Cotrino *et al.*, 2020).

En un caso más específico, en la ciudad de Chiquimula, Guatemala, Rivera (2018) evaluó dos modelos de composteras domiciliarias (cilíndrica y rectangular) y dos métodos de compostaje (fermentación “Takakura” y lombricompost). Durante un período de tres meses, se analizaron variables como el contenido de nutrientes, el análisis económico y la aceptabilidad en los hogares. Los resultados mostraron que el modelo rectangular y el método “Takakura” generaron una mayor concentración de nutrientes, lo que llevó a la implementación de esta configuración en 14 viviendas unifamiliares de la zona de estudio. Este caso destaca la importancia de adaptar las tecnologías de compostaje a las necesidades y condiciones específicas de cada comunidad, maximizando así su eficacia y aceptación.

Con relación al contexto nacional, Oviedo *et al.* (2012) presentan las perspectivas de aplicación del compostaje para el aprovechamiento de biorresiduos provenientes de los RSM, con un enfoque que va desde lo global hasta lo local, particularmente en zonas urbanas de Colombia. En su estudio, proponen estrategias como la separación en la fuente y la recolección selectiva, destacando la importancia de estas prácticas para mejorar la eficiencia en el manejo de residuos. Por su parte, Lleó *et al.* (2013) evaluaron la capacidad y las emisiones gaseosas resultantes del compostaje y el vermicompostaje como

técnicas de tratamiento biológico de residuos durante un período de ocho meses. Concluyeron que, aunque ambas alternativas son adecuadas para desviar una parte de los residuos biológicos del sistema tradicional de manejo de RSM, el vermicompostaje presenta ventajas significativas, como una mayor capacidad de tratamiento y menores emisiones gaseosas. Soto *et al.* (2017) y Oviedo *et al.* (2017) han destacado las posibilidades de un manejo adecuado del compostaje como tratamiento de biorresiduos. Estos estudios resaltan la importancia de continuar investigando y aplicando estas tecnologías, especialmente en países en desarrollo, donde la fracción orgánica de los residuos representa un porcentaje significativo del total de RSM.

Con respecto a la implementación de alternativas de tratamiento y aprovechamiento de biorresiduos de forma descentralizada, es decir, a nivel domiciliario, se han llevado a cabo varios estudios que demuestran la viabilidad de estas tecnologías en entornos residenciales.

En Colombia, Álvarez *et al.* (2013) rediseñaron y optimizaron un prototipo de compostera para viviendas unifamiliares, originalmente desarrollado por el Jardín Botánico de Bogotá (JBB). Este rediseño consideró factores clave del proceso aeróbico del compostaje, como el oxígeno, el pH, la humedad y la temperatura. Las mejoras incluyeron un aumento en la capacidad, un mejor sistema de aireación, un aislamiento térmico más eficiente y una mayor facilidad de volteo, lo que resultó en una mayor eficiencia en el tratamiento de biorresiduos y la obtención de compostaje a pequeña escala.

Así mismo, Baquero (2019) realizó un estudio teórico-práctico sobre el manejo de residuos orgánicos en una vivienda, lo que derivó en la instalación y puesta en marcha de una compostera multifamiliar en el conjunto residencial Alcalá de Bogotá. De manera similar, Torres y Calderón (2021) diseñaron y ejecutaron una prueba piloto de compostaje en viviendas multifamiliares, aplicable tanto a casas como a apartamentos. El compost se utilizó para alimentar huertas urbanas, generando un impacto positivo en la comunidad al promover la agricultura urbana y el tratamiento de biorresiduos.

En la ciudad de Cali, Rincón (2022) realizó un diagnóstico de la gestión de residuos sólidos domiciliarios en una Unidad Residencial del barrio Departamental, Comuna 10. A través de encuestas a los residentes, personal de aseo y administración, se identificó que la producción per cápita (PPC) era de 0,41 kg/hab-día, y la producción por vivienda (PPV) de 1,15 kg/vivienda-día. Los residuos de cocina representaron el 69% del total, seguidos de los residuos higiénicos (7%). Los materiales con mayor potencial de aprovechamiento fueron el cartón (5,9%), el plástico (5,8%) y el papel (5,1%).

Otro estudio relevante en Cali fue realizado por Ospina (2019) en el conjunto residencial El Samán, ubicado en el norte de la ciudad. Este conjunto, de estrato socioeconómico 3, cuenta con 360 apartamentos distribuidos en 18 torres. Los resultados mostraron una PPV promedio de 1,38 kg/vivienda-día y una PPC de 0,37 kg/hab-día. Los biorresiduos fueron los más generados (59%), seguidos de

los residuos higiénicos (8,7%) y el papel y prensa (5,3%). Además, se encontró que el 85% de los apartamentos encuestados realizaba separación de residuos, principalmente por conciencia ambiental (60%), capacitación recibida (28%) o para facilitar el trabajo de los recicladores de oficio (12%).

Finalmente, en la unidad residencial Los Fundadores, ubicada al sur de Cali, se realizó un diagnóstico en 2020 que reveló una PPC de 0,45 kg/hab-día y una producción mensual de residuos de 11.254,054 kg. Los residuos ordinarios representaron el 57% del total, seguidos de los orgánicos (21,96%) y el papel y cartón (9,59%). En esta unidad, se instaló una compostera que recibe aproximadamente 370,7 kg de residuos orgánicos por semana, aportados por 50 familias, lo que corresponde al 21% de la población del conjunto residencial (Espitia *et al.*, 2020).

Los antecedentes muestran un creciente interés en el aprovechamiento de biorresiduos a través de tecnologías como el compostaje y el vermicompostaje, tanto a nivel global como en contextos locales y residenciales. Los estudios revisados demuestran la viabilidad de estas alternativas en diferentes entornos, destacando su potencial para reducir la cantidad de residuos enviados a los rellenos sanitarios y promover prácticas sostenibles en la gestión de residuos. Estos hallazgos sientan las bases para el presente trabajo, que busca seleccionar la alternativa más viable para el tratamiento de biorresiduos en viviendas unifamiliares del barrio La Selva de Santiago de Cali.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El crecimiento acelerado de la población mundial, sumado a un modelo de producción y consumo insostenible, ha generado un aumento significativo en la generación de residuos sólidos (RS). Según el Banco Mundial, al menos el 33% de los RSM no reciben un tratamiento adecuado, y se prevé que la cantidad de residuos en países de bajos ingresos se triplique para 2050 (Kaza *et al.*, 2018). Este escenario representa un desafío ambiental, social y económico, ya que la mala gestión de los residuos contribuye a problemas como enfermedades, cambio climático, contaminación de fuentes hídricas, suelos y aire, así como impactos visuales negativos y riesgos asociados a la acumulación de residuos en rellenos sanitarios inadecuados.

En Colombia, la situación no es diferente. El Informe Nacional de Disposición Final de Residuos Sólidos 2021 revela que en ese año se llevaron a disposición final 11.952.441 toneladas de RS, de las cuales cerca del 40% podrían aprovecharse, pero solo se recicla alrededor del 17% (DNP, 2016). Además, se estima que la generación de residuos aumentará un 20% en los próximos 10 años si se mantiene el ritmo actual de consumo (DNP, 2016b). En el Valle del Cauca, específicamente en Cali, la producción per cápita (PPC) de residuos en viviendas unifamiliares urbanas es de 0,41 kg/hab-día (UAESP, 2019).

La mayor fracción de los RSM corresponde a los residuos domiciliarios, y dentro de estos, los biorresiduos representan entre el 51% y 65% en ciudades como Bogotá, Medellín y Cali (Manzi, 2023). Estos residuos, si no son tratados adecuadamente, generan gases de efecto invernadero, precursores de oxidantes químicos y lixiviados que contaminan el medio ambiente, comprometiendo la salud de la población y la integridad de los ecosistemas. Por lo tanto, es fundamental implementar estrategias que permitan el tratamiento y aprovechamiento de estos residuos, reduciendo así su impacto ambiental y contribuyendo a un futuro más sostenible.

En este contexto, el presente trabajo se enfoca en identificar las opciones tecnológicas más adecuadas para el aprovechamiento y valorización de los biorresiduos a nivel domiciliario, específicamente en el barrio La Selva de la ciudad de Cali. Este enfoque permitirá no solo reducir la cantidad de residuos enviados a los rellenos sanitarios, sino también generar productos de valor agregado, como abonos orgánicos, que pueden ser utilizados en huertas urbanas, contribuyendo así a la sostenibilidad ambiental y económica de la comunidad.

4. JUSTIFICACIÓN

Para abordar el problema de los RS, es crucial implementar una gestión integral de RS domiciliarios, que incluya la reducción de la generación, recuperación, aprovechamiento y tratamiento (DAPM, 2015). Además, los rellenos sanitarios pueden afectar la salud debido a los olores de la descomposición de residuos (Correa *et al.*, 2021). Por lo tanto, es esencial identificar alternativas que faciliten desviar los residuos de la disposición final para mitigar este problema.

Se han identificado diversas tecnologías para tratar los biorresiduos, la mayor fracción de los RSM, con el objetivo de evitar su disposición final. Este estudio se enfoca en el tratamiento de biorresiduos en residencias urbanas unifamiliares de Cali, donde alrededor del 98% de la población vive en áreas urbanas (DAPM, 2023). Además, los biorresiduos representan aproximadamente el 50%, en contraste con el 22% en áreas rurales.

La degradación biológica de residuos es una opción prometedora debido a que los biorresiduos representan la mayor fracción y tienen alto potencial contaminante. Oviedo *et al.* (2012) señalan que el compostaje reduce el impacto ambiental y contribuye a la sostenibilidad agrícola. Lleó *et al.* (2013) destacan que el vermicompostaje ofrece mayores ventajas en el tratamiento biológico de residuos. Arenas-Guayazan (2019) concluye que la digestión anaerobia es una excelente alternativa para tratar RS orgánicos.

El tratamiento de residuos se definió para realizarse in situ en viviendas unifamiliares con patio, con el objetivo de reducir los residuos enviados a rellenos sanitarios y producir un mejorador de suelo. Se eligieron estas viviendas por la disponibilidad de espacio, facilitando la implementación de alternativas de aprovechamiento. En viviendas multifamiliares, el manejo sería más complejo y costoso, justificando así la elección de viviendas unifamiliares para asegurar la pertinencia y viabilidad del proyecto en el tiempo asignado.

La búsqueda e implementación de alternativas de tratamiento domiciliario para la fracción biodegradable de los RSM ofrece beneficios en diversos aspectos, como:

Económicamente, promover la separación de residuos en la fuente reduce la contaminación de materiales reciclables como papel, cartón, metal y plástico, ya que los biorresiduos se tratan in situ. Esto incrementa los ingresos de quienes recuperan estos materiales y disminuye la cantidad de RS gestionados por el servicio público de aseo.

Socialmente, se fomenta una cultura ambiental al involucrar a las personas en el tratamiento y aprovechamiento de sus propios biorresiduos. Esto les permite comprender los efectos de la separación diferenciada de residuos y la cantidad que generan, desarrollando así una mayor sensibilidad y conciencia ambiental.

Ambientalmente, la incorporación de compost en el suelo mejora su estructura, reduce la erosión, aporta nutrientes que favorecen el crecimiento de vegetación y cultivos, disminuye el uso de fertilizantes inorgánicos, y ahorra agua de riego gracias a la capacidad de retención de agua del compost, entre otros beneficios.

Para evaluar la aplicación de las alternativas de tratamiento en viviendas unifamiliares con patio en Cali, se utilizó el Proceso de Análisis Jerárquico (AHP). Este sistema de toma de decisiones considera múltiples criterios, como área, tiempo de tratamiento, condiciones de operación, costos, generación de olores, aparición de vectores y capacidad de tratamiento. Es relevante mencionar que, en Cali, la producción per cápita de residuos en viviendas unifamiliares urbanas es de 0,41 kg/hab-día (UAESP, 2019).

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

- Seleccionar la alternativa con mayor potencial de aplicación para el aprovechamiento de biorresiduos en viviendas unifamiliares del barrio La Selva de la ciudad de Santiago de Cali, considerando la opinión de expertos y de la comunidad objeto de estudio.

5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las alternativas tecnológicas con mayor potencial de aplicación para el aprovechamiento de biorresiduos en viviendas unifamiliares del barrio La Selva de la ciudad de Santiago de Cali.
- Determinar las condiciones técnicas para la instalación, puesta en marcha, operación y mantenimiento de estas alternativas en viviendas unifamiliares con acceso a patio de la ciudad de Santiago de Cali.
- Proponer la alternativa de aprovechamiento de biorresiduos con mayor viabilidad de implementación en viviendas unifamiliares del barrio La Selva de la ciudad de Santiago de Cali mediante el uso del método AHP

6. MARCO REFERENCIAL

6.1 RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES

Residuos sólidos municipales (RSM). Están compuestos por residuos orgánicos (alimentos, excedentes de comida, etc.), cartón, papel, madera y en general materiales inorgánicos como vidrio, plástico y metales. Estos residuos provienen generalmente de actividades domésticas, servicios públicos, construcciones y establecimientos comerciales, así como de residuos industriales que no se deriven de sus procesos (CEPAL, 2016)

Residuos sólidos residenciales. Los desechos residenciales provienen de zonas habitadas por viviendas tanto unifamiliares como multifamiliares, y se clasifican en cuatro categorías: desechos domésticos, desechos de jardinería, desechos voluminosos y desechos peligrosos del hogar (Christensen, 2010).

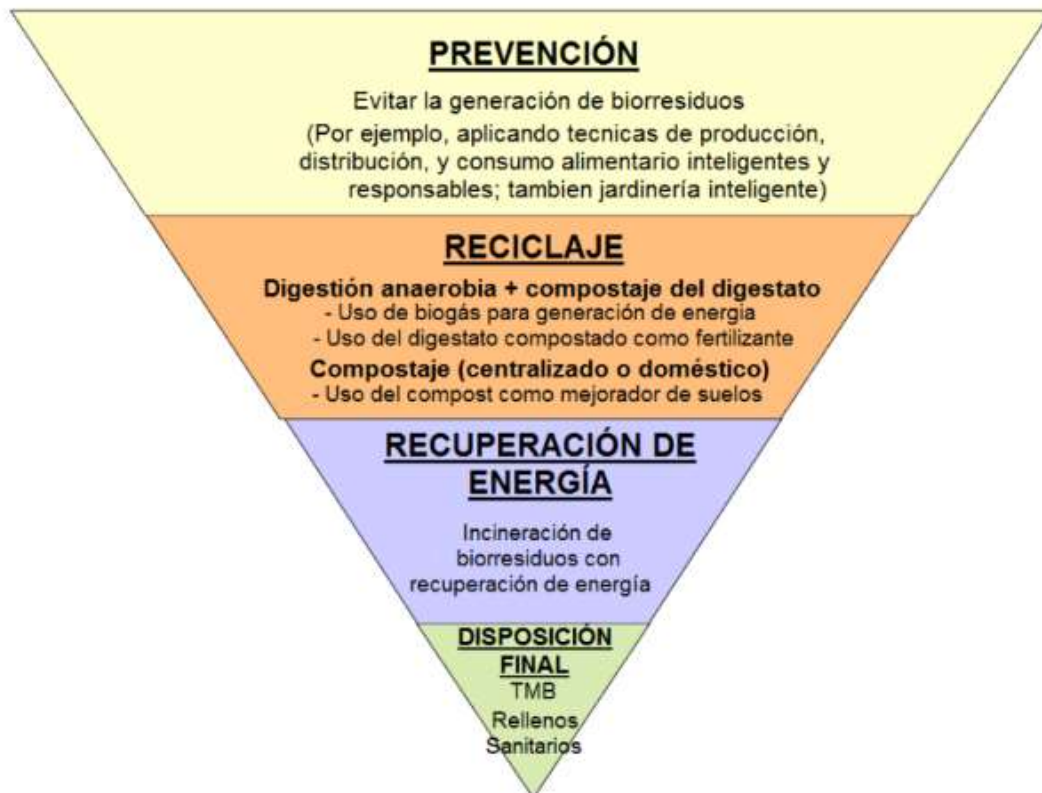
Biorresiduos. Los biorresiduos de origen residencial (BOR) son los residuos biodegradables de jardines, residuos alimenticios y de cocina generados dentro de las casas de habitación. La fracción de BOR en algunas ciudades de Colombia representan un 61,43% para Bogotá, y 65,54% para Cali, por lo que se considera necesaria una adecuada gestión de los mismos (Rendón, 2017).

6.2 GESTIÓN DE RESIDUOS

Gestión integral de residuos sólidos. Es el conjunto de actividades encaminadas a reducir la generación de residuos, a realizar el aprovechamiento teniendo en cuenta sus características, volumen, procedencia, costos, tratamiento con fines de valorización energética, posibilidades de aprovechamiento y comercialización. También incluye el tratamiento y disposición final de los residuos no aprovechables (Mincit, 2018).

Elementos de gestión integral de biorresiduos. La Unión Europea propone una jerarquía específica para los biorresiduos, presentada en la Figura 1, donde se clasifican las tecnologías de aprovechamiento ampliamente utilizadas según su eficacia en la gestión de recursos. Esta jerarquía de residuos puede ser una herramienta valiosa en el proceso de toma de decisiones. Sin embargo, la elección de la tecnología a implementar solo será aceptada si la evaluación del ciclo de vida demuestra que desviar los biorresiduos del vertedero tiene consecuencias ambientales positivas.

Figura 1. Jerarquía de residuos aplicada a biorresiduos.



Fuente: EC, 2008; Joint Research Centre, 2011.

6.3 COMPONENTES DE GESTIÓN DE BIORRESIDUOS.

Los componentes de las OTG de BOR, al igual que para los RS en general, contemplan las fases del sistema por las que se mueve el flujo de masa (Christensen, 2010).

Generación. La generación de residuos es el primer paso en la gestión de residuos, donde se definen los residuos y se identifican como material sin valor adicional. En los hogares, la mayoría de los biorresiduos provienen de la cocina y actividades de jardinería, además, durante el consumo de alimentos, también se generan residuos como excedentes no consumidos y alimentos en mal estado, que constituyen una fuente importante de biorresiduos (Rendón, 2017).

Separación en la fuente. Es la clasificación de los RS, en aprovechables y no aprovechables por parte de los usuarios en el sitio donde se generan, para ser presentados para su recolección y transporte a la estación de clasificación y aprovechamiento, o de disposición final de los mismos, según sea el caso (EC, 2008).

Aprovechamiento. Implica el desarrollo de proyectos de aprovechamiento de residuos para su incorporación en el ciclo productivo con viabilidad social,

económica y financiera que garanticen su sostenibilidad en el tiempo y evaluables a través del establecimiento de metas por parte del municipio o distrito (Minvivienda, 2020).

Almacenamiento y presentación. Actividad a cargo del usuario del servicio de aseo, en la cual se debe colocar los RS debidamente almacenados en recipientes retornables o desechables, para la recolección por parte del prestador del servicio público de aseo, en el lugar e infraestructura prevista para ello, ya sea en el área pública correspondiente o en el sitio de presentación conjunta en el caso de multiusuarios y generadores de residuos para su posterior transporte, tratamiento, aprovechamiento o disposición final (EC, 2008).

Recolección y transporte. La recolección y transporte de residuos tienen como objetivo principal retirarlos de su lugar de origen y reunir cantidades adecuadas para su gestión adecuada, ya sea tratamiento o eliminación. Esta recolección puede ser conjunta, donde los residuos se transportan mezclados, o selectiva, manteniendo la separación de diferentes fracciones de residuos. Los sistemas de recogida selectiva ofrecen beneficios como desviar biorresiduos de los vertederos, aumentar la calidad de los RS restantes y facilitar la producción de compost de alta calidad y biogás (Rendón, 2017).

Tratamiento. Actividad complementaria del servicio público de aseo que agrupa el conjunto de operaciones y procesos mediante los cuales se modifican las características físicas, biológicas o químicas de los residuos. Incluye las técnicas de tratamiento mecánico, biológico y térmico. Los objetivos del tratamiento pueden ser la separación de los residuos en sus componentes individuales para que puedan utilizarse o tratarse posteriormente, la reducción de la cantidad de residuos a disponer, o la recuperación de los residuos en materiales o recursos valorizados (DNP, 2016a).

Disposición final. El vertido en vertederos es la práctica de enterrar residuos en una instalación diseñada específicamente para este fin, y puede variar en su diseño según los tipos de residuos y la duración prevista de su uso. La vida útil de un vertedero puede extenderse a lo largo de muchas décadas, lo que requiere una vigilancia ambiental continua, mantenimiento regular, operación adecuada, así como planes para su clausura y la gestión posterior a esta (Christensen, 2010).

6.4 ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE BIORRESIDUOS

Vermicompostaje. También conocido como lombricompostaje, es un proceso mediante el cual se obtiene un abono orgánico estabilizado, rico en nutrientes y de baja densidad aparente, el cual puede aplicarse al suelo para mejorar sus características químicas, físicas y biológicas. Este producto se obtiene en condiciones aeróbicas a partir del proceso de lombricompostaje, en el cual se reciclan los restos de materia orgánica con la participación de diversos microorganismos y de lombrices que se alimentan de ellos y los transforman –

mediante su proceso digestivo– en sus deyecciones (heces), las cuales luego serán el humus de lombriz. En definitiva, en dicho proceso y mediante las acciones e interacciones de diversos microorganismos aeróbicos y de lombrices, se produce la mineralización y estabilización de la materia orgánica (ETEA, 2018).

Compostaje. Mathur *et al.* (1993), define también el compostaje como un proceso bioxidativo, en el cual intervienen numerosos y variados microorganismos que requieren humedad, aireación, relación C/N, pH entre otros parámetros químicos que implican y favorecen el paso por una etapa termofílica y una producción natural de fitotoxinas que bajo condiciones controladas origina productos como CO₂, agua y minerales, así como una materia orgánica estabilizada y dispuesta para su empleo en la agricultura sin que provoque fenómenos adversos cuando es aplicada al suelo.

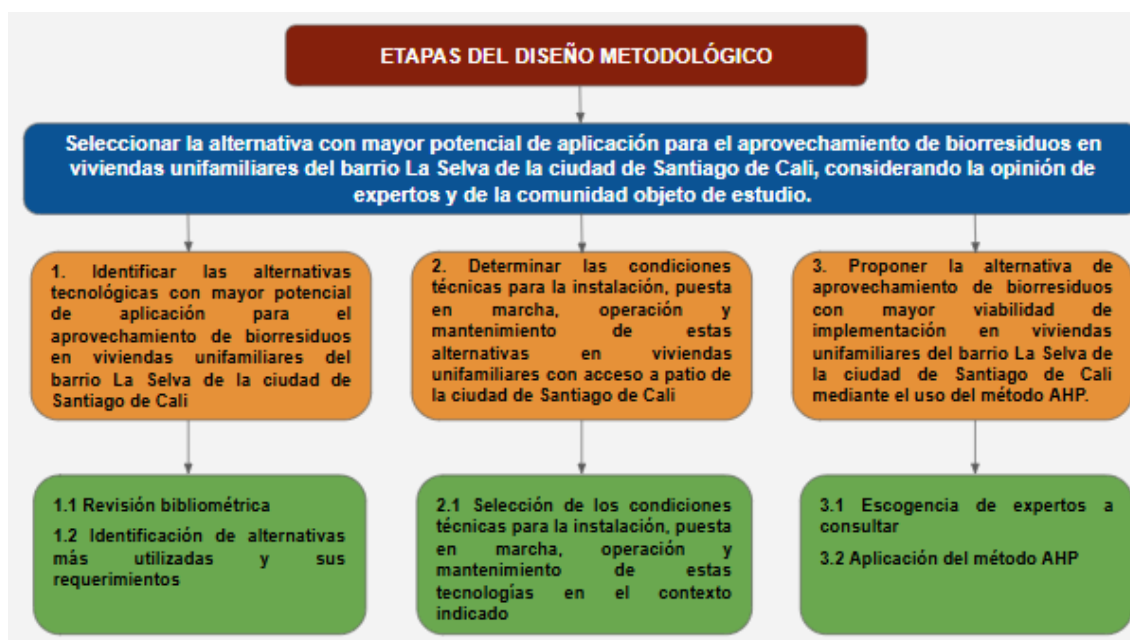
Digestión Anaerobia. Es la degradación de los biorresiduos en ausencia de oxígeno, obteniendo un residuo líquido o sólido, metano y dióxido de carbono. El metano generado por el proceso anaerobio puede ser utilizado para generar energía, mientras que el residuo líquido o sólido dependiendo de su calidad, puede recibir un tratamiento posterior, y ser utilizado como fertilizante (Christensen, 2010).

Pacas Digestoras: Es un sistema de compostaje anaeróbico que realiza la fermentación de materia orgánica mediante el prensado manual de los residuos, con una capacidad hasta de 500 kg de materia orgánica en una paca de un metro cúbico, este sistema permite compostar incluso las heces de animales, incluyendo perros y gatos, a diferencia de otros métodos. El abono resultante es valioso para la agricultura urbana y contribuye a la autonomía de las comunidades que lo adoptan (Perdomo, 2022).

7. DISEÑO METODOLÓGICO

El trabajo está basado en una revisión crítica de literatura relacionada al tratamiento de biorresiduos a nivel domiciliario, y se desarrolló en 3 etapas, las cuales se describen a continuación en la **Figura 2**.

Figura 2. Etapas del diseño metodológico a emplear.



Fuente: Elaboración propia.

7.1 IDENTIFICAR LAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS CON MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE BIORRESIDUOS EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES DEL BARRIO LA SELVA DE LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI.

7.1.1 Revisión bibliométrica.

En primer lugar, se llevó a cabo una revisión crítica del estado del arte relacionada al tratamiento de biorresiduos a nivel domiciliario, incluyendo, de acuerdo con Vera (2009), los siguientes tipos básicos de fuentes de información:

- Fuentes primarias: Las revistas como principal vehículo de comunicación de la información científica, estas contienen publicaciones originales de estudios científicos, académicos e información reciente.
- Fuentes secundarias: Compilaciones, resúmenes en revistas y listados de referencias publicadas, a fin de detectar las referencias necesarias y localizar fuentes primarias. Por ejemplo, las bases de datos especializadas como Scopus, Scielo, ScienceDirect, Springer Link.

- Fuentes terciarias: Aquellas donde puede obtenerse información para alcanzar las fuentes primarias o secundarias de interés; ejemplo son los libros de texto, libros de texto de referencia general, artículos de revisión, etc.

En cuanto al establecimiento de la estrategia de búsqueda, se eligió Scopus como base de datos, y las palabras clave para iniciar la búsqueda (teniendo en cuenta el idioma que maneje la base de datos), por ejemplo: “Biowaste”, “Household Biowaste Treatment”, “Anaerobic Digestion”, “Home Composting”, entre otros. También se tuvo en cuenta la incorporación de otros filtros tales como:

- Ventana de observación: El rango de tiempo especificado fue desde el 2012 hasta el 2024.
- Tipo de documento: Se tomaron en consideración artículos, revisiones, capítulos de libros y trabajos de grado.

Luego, se procedió a filtrar dicha información mediante la utilización de VOSviewer y el software Bibliometrix; estas herramientas permitieron construir y visualizar redes bibliométricas con base en citas, co-citas, relaciones de autoría, las cuales se tomaron de la base de datos académicas y/o científicas, con el fin de identificar a través de la red neuronal resultante las palabras clave de más alta concurrencia, asociadas al tratamiento de biorresiduos a nivel domiciliario y a las tecnologías más utilizadas, para de esa forma, y mediante el uso de operadores booleanos como “AND”, “OR” y “AND NOT”, se logró alcanzar una revisión más profunda. Posteriormente, se definieron las áreas temáticas, entre las que se marcaron:

- Environmental Science
- Environmental Engineering
- Agricultural and Biological Sciences

Por último, con el propósito de seleccionar los artículos más relevantes para el caso de estudio, se ordenaron los documentos obtenidos en la búsqueda, por mayor número de citaciones, para luego pasar a la lectura del título y el resumen, observándose la posible utilidad del documento, para así definir aquellos que se ajusten al interés de la búsqueda; esto es, alternativas y/o tecnologías de tratamiento de biorresiduos a nivel domiciliario.

7.1.2 Identificación de alternativas más utilizadas y sus requerimientos.

Con base en la información obtenida, se procedió a la gestión y organización de los documentos mediante el uso de Mendeley, teniendo en cuenta los países en los que se han realizado investigaciones en el tema, a fin de establecer puntos de similitud en aspectos como: nivel de ingresos del país; lo cual se relaciona con la fracción de biorresiduos respecto del total de RSM, y la temperatura; países ubicados en el trópico podrán tener similares temperaturas de operación para cada tecnología.

Se procedió a la lectura de la sección de resultados y conclusiones, de los documentos filtrados, analizando su concordancia, y sí eran aplicables al tema de estudio, proceso que permitió ir identificando mediante una mayor concurrencia de palabras entre los artículos, las tecnologías más utilizadas en el tratamiento de biorresiduos a nivel domiciliario, como también, los requerimientos necesarios para su implementación.

Para sistematizar la información, en una matriz, se consignaron las tecnologías más utilizadas, los requerimientos propios para su implementación, facilitando así, la escogencia de los criterios a considerar en el proceso de selección de la(s) tecnología(s) con mayor potencial de aplicación en viviendas unifamiliares de la ciudad de Cali.

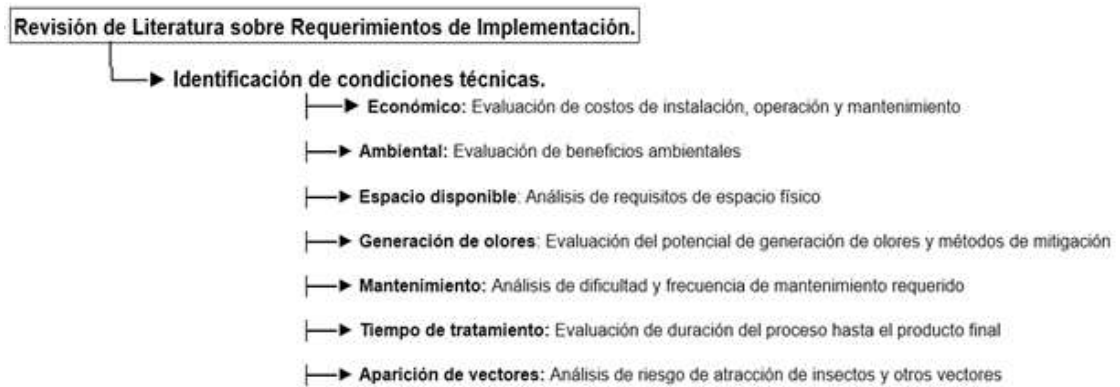
7.2 DETERMINAR LAS CONDICIONES TÉCNICAS PARA LA INSTALACIÓN, PUESTA EN MARCHA, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE ESTAS ALTERNATIVAS EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES CON ACCESO A PATIO DE LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI.

7.2.1 Selección de las condiciones técnicas para la instalación, puesta en marcha, operación y mantenimiento de estas tecnologías en el contexto indicado.

Una vez se identificaron los requerimientos de implementación inherentes a las tecnologías de aprovechamiento a partir de la revisión de literatura, se procedió a establecer las condiciones necesarias para instalar, poner en marcha y operar las alternativas de aprovechamiento de biorresiduos que, de acuerdo con la literatura, tenían viabilidad de aplicación en el contexto del barrio La Selva de la ciudad de Cali.

Con miras a una determinación de condiciones que apunten hacia la mayor viabilidad desde el punto de vista técnico, y que también consideren la aceptación de la comunidad objeto de una potencial implementación, se tuvo en cuenta aspectos de tipo; económico, ambiental, ocupación de espacio, generación de olores, dificultad de mantenimiento, tiempo de tratamiento, aparición de vectores, entre otros. La **Figura 3** presenta un diagrama de flujo que detalla los aspectos que se indagaron para establecer la viabilidad de aplicación de la alternativa.

Figura 3. Diagrama de flujo para viabilidad de aplicación de alternativa.



Fuente: Elaboración propia.

Para lo anterior, se contó con la realización de visitas domiciliarias, con el fin de reconocer la zona de estudio, siendo La Selva uno de los barrios que conforman la comuna 10, cuya ubicación se encuentra hacia el ingreso de la zona sur de la ciudad de Santiago de Cali, como se observa en la **Figura 4**. La Selva cuenta con aproximadamente 1.469 viviendas, que a su vez presentan una estratificación socioeconómica predominante al estrato 3, un área de lote aproximada de 130 m², una población de 4.916 personas y una frecuencia de recolección de RS de 3 veces por semana. Además, se encuentra rodeado de una zona verde lineal sobre la calle 14 y la calle 16, así como un polideportivo el cual se encuentra detrás de la sede principal de la Institución Educativa José María Vivas Balcázar (DAPM, 2023; SDTBS, 2019).

Figura 4. Localización del barrio La Selva de la ciudad de Santiago de Cali.



Fuente: Elaborado a partir de Google Maps.

7.3 PROPONER LA ALTERNATIVA DE APROVECHAMIENTO DE BIORRESIDUOS CON MAYOR VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES DEL BARRIO LA SELVA DE LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI MEDIANTE EL USO DEL MÉTODO AHP.

El análisis de decisión multicriterio se refiere a los métodos que ayudan en la toma de decisiones, utilizando las preferencias propias en los casos en los que existen criterios en conflicto. Ayuda a los decisores a escoger y ordenar por importancia, diferentes alternativas de un conjunto finito, de acuerdo con dos o más criterios que tienen injerencia en la decisión final y que se han tenido en cuenta adecuadamente (Manyoma, s.f.).

Mediante el análisis de decisión multicriterio considerando la intervención de los distintos puntos de vista que se recopilen a través de la revisión de literatura, se pretende entre las alternativas más utilizadas que se hayan identificado en la etapa anterior, facilitar el camino hacia la obtención de aquella tecnología con mayor posibilidad de aplicación en viviendas unifamiliares del barrio La Selva.

Como herramienta de análisis multicriterio se empleará el método AHP (Analytic Hierarchy Process), un Proceso Analítico Jerárquico donde a través de una matriz de comparación por pares, el decisor determina su preferencia relativa de un criterio respecto a otro, indicando además la intensidad de dicha preferencia según la escala.

Con respecto a la importancia de un criterio con relación a otro, así como la relación de una alternativa respecto de las demás, este valor se estimó de acuerdo con la revisión bibliográfica, para después promediarse teniendo en cuenta la opinión de expertos y de los integrantes de la comunidad, respuestas que se recopilaron mediante la aplicación de una encuesta. Los valores resultantes conformaron la matriz de comparación de criterios, y la matriz de comparación de alternativas, respectivamente, a partir de cada una se obtiene su propia relación de consistencia, que si es inferior al 10%, permite demostrar que se ha logrado establecer un juicio bien fundamentado. Si fuera mayor, sería necesario reevaluar los juicios hechos.

7.3.1 Escogencia de expertos a consultar.

Con relación a los expertos a consultar, éstos fueron seleccionados teniendo en cuenta profesionales con conocimiento y experiencia significativa en el área de aprovechamiento de biorresiduos en la zona de estudio, considerando el sector académico y entidades gubernamentales.

De otro lado, en cuanto a la escogencia de los integrantes de la comunidad a consultar, estos fueron seleccionados de acuerdo con la receptividad que presentaron frente a la posibilidad de implementar alguna de las alternativas de aprovechamiento de biorresiduos, que presenten viabilidad de aplicación en el contexto de viviendas unifamiliares del barrio La Selva, dicha consulta se realizó mediante una encuesta impresa con el fin de maximizar la participación y

asegurar una comprensión adecuada de los términos y conceptos, facilitando la explicación de términos técnicos o dudas que puedan surgir, especialmente sobre las tecnologías de tratamiento de residuos orgánicos. Este proceso de interacción directa con la comunidad del barrio La Selva, incluyó visitas domiciliarias y la aplicación de la encuesta mencionada diseñada para evaluar la disposición y aceptación de los residentes hacia las tecnologías de tratamiento de biorresiduos. Este acercamiento permitió no solo recopilar información sobre la percepción de la comunidad, sino también generar un espacio de diálogo y sensibilización en torno a la importancia de la gestión sostenible de residuos. Durante las visitas, se observó que algunos miembros de la comunidad no contaban con conocimiento previo sobre las alternativas de compostaje y lombricompostaje. Sin embargo, a través de explicaciones detalladas y ejemplos prácticos, se logró despejar dudas y mitos, como el temor a malos olores o la presencia de roedores, que inicialmente podrían desincentivar la adopción de estas tecnologías.

7.3.2 Aplicación del método AHP.

A fin de obtener la alternativa con mayor potencial, primero, se obtuvo un listado de criterios/subcriterios; como criterios se incluyeron aquellos conexos al ámbito: técnico, económico y ambiental; y entre los subcriterios algunos como: ocupación de espacio, dificultad de mantenimiento, tiempo de tratamiento, condiciones de operación, costos, generación de olores, aparición de vectores, capacidad de tratamiento, entre otros; cada subcriterio está asociado a un solo criterio, según corresponde.

Luego, de acuerdo al listado presentado a los expertos, con base en su conocimiento y experiencia, ellos eligieron los criterios más relevantes que fueron tomados como referencia para plantear las diferentes ponderaciones, posteriormente, la ponderación final relativa a cada uno de los criterios y subcriterios escogidos, se obtuvo como resultado de promediar todas las opiniones; las aportadas por los expertos, y la opinión formada de los autores del trabajo de grado tomando como fuente la revisión de literatura.

Con respecto a la construcción de las matrices que hacen parte del método AHP, las valoraciones o ponderaciones correspondientes a los criterios y alternativas de tecnologías, se efectuaron a partir de una comparación de cada criterio con respecto a los otros, y cada alternativa tecnológica con respecto a las otras, teniendo en cuenta la escala de Saaty, la cual se presenta a continuación:

Tabla 1. Escala de Saaty.

Escala numérica	Escala verbal	Descripción
1	Igual importancia.	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio.
3	El elemento es moderadamente más importante respecto al otro.	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro.
5	El elemento es fuertemente más importante respecto al otro.	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro.
7	La importancia del elemento es muy fuerte respecto al otro.	Un elemento domina fuertemente.
9	La importancia del elemento es extrema respecto al otro.	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes.	
Incrementos 0,1	Valores intermedios entre incrementos (utilice esta escala si cree que su valoración necesita un alto grado de precisión).	
Inversos $\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5}, \frac{1}{6}, \frac{1}{7}, \frac{1}{8}, \frac{1}{9}$	Se utiliza cuando el segundo elemento es mayor en el criterio a comparar.	

Fuente: Adaptado de Mendoza *et al.*, 2019.

Después, mediante la utilización del análisis multicriterio, las alternativas tecnológicas con posible aplicación se cruzaron con los criterios seleccionados, formando una matriz, con el fin de obtener la valoración relativa a cada una de las alternativas. Así las cosas, la alternativa seleccionada fue aquella que resultó con un porcentaje más elevado, lo cual se traduce en mayores condiciones de aplicación de dicha alternativa tecnológica en el contexto planteado en el presente trabajo.

Mediante el desarrollo del actual trabajo de grado, se conoció acerca del contexto relacionado a la generación de RS, al potencial de aprovechamiento de la fracción de biorresiduos, y posteriormente, se revisaron las experiencias que se han desarrollado en lugares con condiciones similares al objeto de estudio; con el fin de descartar mediante la utilización de una matriz de análisis multicriterio, las alternativas que resultaron con menor viabilidad de aplicación, donde finalmente, se seleccionó aquella que tiene mayor posibilidad de éxito y empleo en viviendas unifamiliares del barrio La Selva de la ciudad de Santiago de Cali.

8. RESULTADOS

8.1 IDENTIFICAR LAS ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS CON MAYOR POTENCIAL DE APLICACIÓN PARA EL APROVECHAMIENTO DE BIORRESIDUOS EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES DEL BARRIO LA SELVA DE LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI.

8.1.1 Revisión bibliométrica.

Inicialmente, se llevó a cabo la búsqueda a través de la base de datos especializada, haciendo uso de la siguiente ecuación de búsqueda; “(TITLE-ABS-KEY(biowaste)) AND ((treatment)) AND (home OR house OR household)” obteniéndose 1622 resultados. Posteriormente, con el fin de reducir la información obtenida, se aplicaron las siguientes limitaciones; ventana de observación entre el año 2013 y 2023; se tomaron en consideración documentos del tipo *Article*, *Review*, *Book Chapter* y *Book*. Como consecuencia, de los parámetros de búsqueda proporcionados se alcanzaron 1234 resultados.

A partir de la información bibliográfica correspondiente a los 1234 documentos obtenidos, se alcanzó mediante la utilización de VOSviewer, una red neuronal que permitió identificar visualmente aquellas palabras clave de más alta concurrencia asociadas a tecnologías de tratamiento de biorresiduos. Para ello, dicha información bibliográfica de Scopus se exportó a un archivo “.csv”, con la información de “abstract y keywords” de los 1234, para que fuera compatible con VOSviewer, donde el software construyó una lista de co-ocurrencia de palabras entre los documentos, basándose en las palabras clave, tanto aquellas que fueron propuestas por su(s) autor(es) como las indexadas, y finalmente, una vez verificada la lista de palabras en mención, se obtuvo la red neuronal correspondiente (ver Figura 5).

Figura 5. Ocurrencia de palabras clave de los documentos obtenidos.

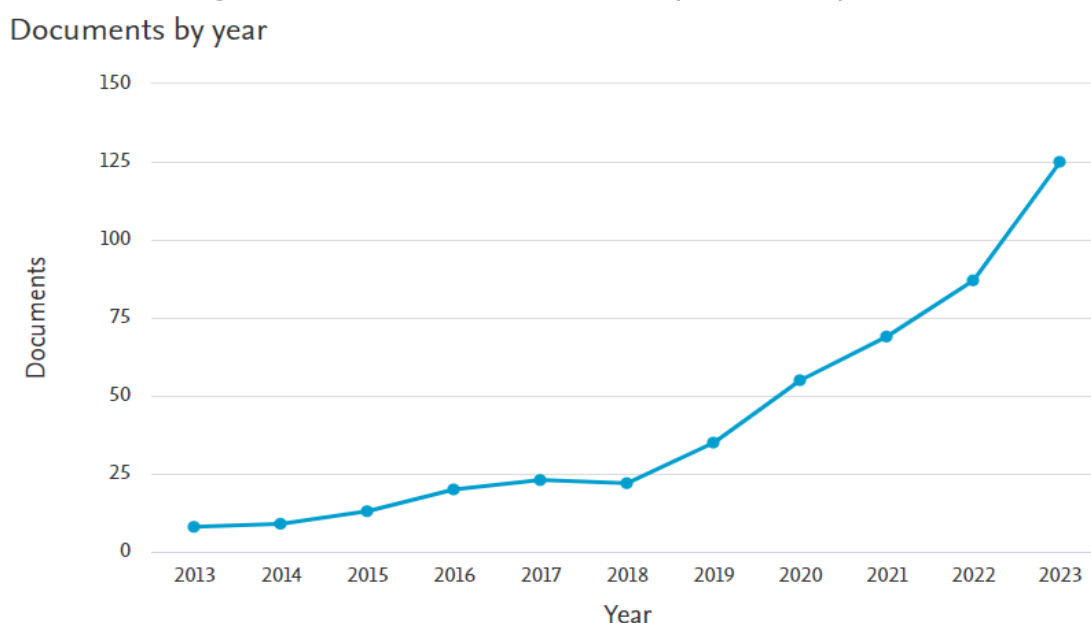


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Scopus.

De la **Figura 5**, es posible extraer algunas palabras clave de mayor ocurrencia ligadas a tecnologías de tratamiento de biorresiduos como; **Composting** y **Anaerobic Digestion**, las cuales se emplearon para continuar acotando el rango de búsqueda. Adicionalmente, con respecto a las áreas temáticas de interés, se eligieron: *Environmental Science, Energy, Engineering, Agricultural and Biological Sciences* y *Earth and Planetary Sciences*, obteniendo 463 y conformándose la construcción de la ecuación de búsqueda 1 (ver **Anexo 3**). Esta ecuación fue diseñada para filtrar y seleccionar estudios de alta relevancia, optimizando la precisión en la identificación de literatura específica sobre el tema de investigación.

Se evidencia que desde la pandemia del COVID-19, es posible resaltar el notable incremento en el número de publicaciones desde el año 2020 asociadas al tratamiento de los residuos domiciliarios (ver **Figura 6**), lo que coincide con la tendencia creciente del número de las mismas sobre éste tema en los últimos años, situación que pueda asociarse al estar confinados y buscar alternativas de aprovechamiento de sus residuos, o con la prevención de olores no deseados producto de la descomposición o transformación de los mismos.

Figura 6. Número de documentos publicados por año



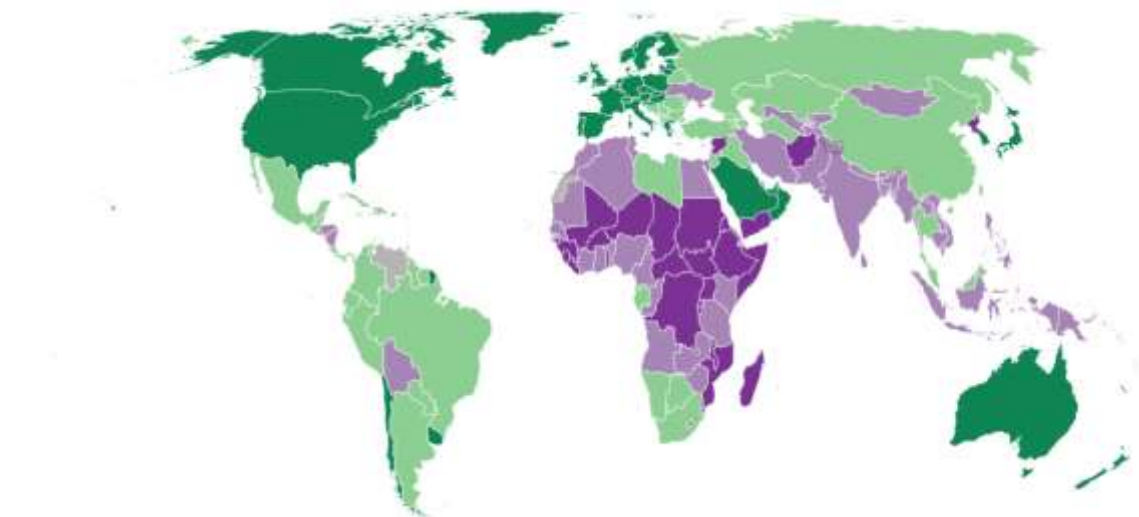
Fuente: Scopus.

8.1.2 Identificación de alternativas más utilizadas y sus requerimientos.

Con el fin de limitar los resultados de búsqueda, se establecen puntos de similitud entre Colombia y los países de origen de las publicaciones, teniendo en cuenta, aquellos países con un **nivel de ingresos** similar al de Colombia, con base en la clasificación que realiza el Banco Mundial, esto debido a la relación existente

El Banco Mundial clasifica las economías con fines analíticos en cuatro grupos de ingresos: ingreso bajo, medio bajo, medio alto y alto (ver **Figura 7**). Para ello, utiliza datos del ingreso nacional bruto (INB) per cápita en dólares estadounidenses, convertidos de la moneda local mediante el método Atlas del Banco Mundial, que se aplica para suavizar las fluctuaciones del tipo de cambio (Banco Mundial, 2022). Clasificación que cataloga a Colombia para el año 2022 en el nivel de ingreso medio alto, de acuerdo con el informe de *“The World by Income and Region”* (Banco Mundial, 2022).

Low income Lower middle income Upper middle income High income



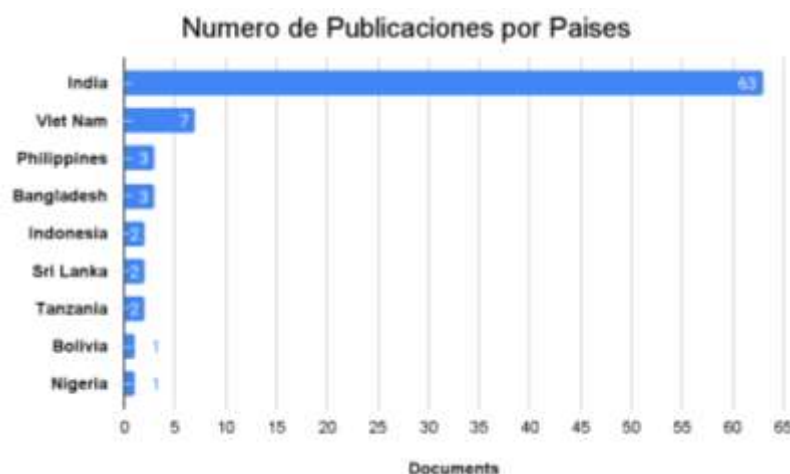
En ese sentido, para el caso de estudio se tuvieron en cuenta países de nivel de ingreso medio alto y medio bajo, los cuales se presentan por mayor número de publicaciones en las **Figuras 8 y 9**, respectivamente. Los documentos publicados procedentes de esa serie de países fueron considerados como insumos de análisis para el trabajo de grado en desarrollo. Cabe destacar, que adicionalmente, se tuvo en cuenta a China e Italia, a pesar de que ninguno de los dos países se encuentra en la zona que abarcan los trópicos de Cáncer y Capricornio, además, aunque Italia es un país de nivel de ingreso alto, el cual se ordenó en la **Figura 8** con los países de nivel de ingresos medio alto, ambos países fueron considerados dentro del análisis, debido a que estos registran los números más altos de artículos publicados en relación al tema de interés, China con 96 e Italia con 48.

Figura 8. Países de nivel de ingreso medio alto



Fuente: Elaboración a partir de datos de El Banco Mundial y Scopus.

Figura 9. Países de nivel de ingreso medio bajo.



Fuente: Elaboración a partir de datos de El Banco Mundial y Scopus.

Como resultado de seleccionar únicamente países con niveles de ingresos con condiciones climáticas similares a los de Colombia y aquellos ubicados en zonas tropicales para garantizar temperaturas de operación semejantes, se obtuvo un total de 189 documentos, como indica la ecuación de búsqueda 2 (ver **Anexo 4**). Posteriormente se procedió a la depuración de artículos mediante la lectura del título y el resumen, dando así 44 resultados, sobre los cuales se realizó una lectura detallada y se obtuvieron 13 referencias bibliográficas (ver **Tabla 2**), basadas en experiencias y criterios de aprovechamiento de biorresiduos domiciliarios para viviendas unifamiliares con acceso a patio, con condiciones similares a las de Santiago de Cali.

Tras realizar una exhaustiva revisión crítica de libros, trabajos de grado, estudios y artículos de revistas electrónicas especializadas en el tratamiento de biorresiduos a nivel domiciliario, provenientes de diversas bases de información como Scopus, Scielo, ScienceDirect y Springerlink, se analizaron un total de 13

referencias. Los resultados revelaron que las tecnologías más comúnmente empleadas fueron Compostaje y Lombricompostaje, sin embargo, se decidió con base en las recomendaciones de uno de los expertos, incluir también como alternativa de tratamiento el Sistema de Pacas digestoras, tal como se menciona más adelante en la sección 8.3.1. Para facilitar el desarrollo de la investigación, se asignó a cada caso de estudio un número guía (#), como se puede apreciar en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Documentos relacionados al tratamiento de biorresiduos domiciliarios para viviendas unifamiliares con acceso a patio y condiciones similares a las de Santiago de Cali.

#	País	Ciudad	Año	Título	Tecnología Aplicada
1	Colombia	Bogotá	2013	Rediseño y optimización de un dispositivo de compostaje a pequeña escala para ser utilizado en proyectos de agricultura urbana	Compostaje
2	Colombia	Bogotá	2019	Aprovechamiento de residuos orgánicos residenciales para la generación de abono en Bogotá.	Compostaje
3	Colombia	Sogamoso	2020	Propuesta de aprovechamiento integral de los residuos orgánicos provenientes del conjunto residencial la colina	Compostaje
4	Italia	Pesaro y Urbino	2015	Biowaste home composting: Experimental process monitoring and quality control	Compostaje
5	Guatemala	Chiquimula	2018	Evaluación de modelos de composteras domiciliarias y métodos de compostaje, para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en la ciudad de Chiquimula, Guatemala.	Compostaje Lombricompostaje
6	Perú	Cercado de Lima	2019	Implementación de composteras en viviendas a partir de residuos orgánicos generados en domicilio en zona ZV-5 de Cercado de Lima	Compostaje
7	México	Puebla	2016	Viabilidad de un sistema de compostaje doméstico a partir de la producción per-cápita promedio de residuos sólidos orgánicos en la vivienda unifamiliar	Compostaje
8	Colombia	Bogotá	2015	Guía Técnica para el aprovechamiento de residuos Orgánicos a Través de Metodologías de Compostaje y Lombricultura	Compostaje Lombricompostaje
9	Bolivia	Coroico	2012	Efecto de la Lombriz Roja Californiana (<i>Eisenia foetida</i>) durante el composteo y vermicomposteo en predios de la Estación Experimental de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa	Lombricompostaje

#	País	Ciudad	Año	Título	Tecnología Aplicada
10	Ecuador	Guayaquil	2012	Aprovechamiento de residuos orgánicos domésticos para la producción de Vermicompost, a partir de Lombricompostaje, en la ciudad de Guayaquil	Lombricompostaje
11	Colombia	Carepa	2023	Evaluación del proceso de pacas biodigestoras para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, en el municipio de Carepa- Antioquia	Paca Digestora
12	Colombia	Medellín	2024	Pacas Biodigestoras para la Transformación de Residuos Orgánicos y Material Vegetal en una Institución Universitaria de Educación Superior	Paca Digestora
13	Colombia	Medellín	2012	Manejo Limpio y Sano de Residuos Biodegradables en Pacas Digestoras Silva	Paca Digestora

Los documentos revisados en la tabla 2 señalan que el compostaje y el lombricompostaje son tecnologías ampliamente utilizadas para el tratamiento de biorresiduos en contextos urbanos. Investigaciones como el “Rediseño y optimización de un dispositivo de compostaje a pequeña escala para proyectos de agricultura urbana” y “Aprovechamiento de residuos orgánicos residenciales para la generación de abono en Bogotá”, subrayan la importancia de adaptar las composteras a entornos residenciales, indicando que en el caso de Cali, sería fundamental considerar ajustes para optimizar el control de humedad y ventilación en el clima cálido y húmedo de la región.

El estudio “Efecto de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) durante el composteo y vermicomposteo en predios de la Unidad Académica Campesina Carmen Pampa”, demuestra que el lombricompostaje puede ser efectivo para la gestión de residuos orgánicos y la mejora del suelo; sin embargo, en el contexto de Cali, sería necesario implementar sistemas que regulen la temperatura y protejan a las lombrices del sobrecalentamiento, asegurando así su viabilidad en condiciones tropicales.

Por otro lado, el uso de pacas biodigestoras se destaca como una tecnología eficiente en el manejo de volúmenes de residuos en espacios limitados, como en el estudio “Evaluación del proceso de pacas biodigestoras para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos en Carepa-Antioquia”. Esta tecnología podría ser de gran utilidad en Cali, pero requeriría modificaciones específicas para evitar la acumulación de lixiviados y controlar los olores en un ambiente de alta humedad.

Finalmente, el documento “Biowaste home composting: Experimental process monitoring and quality control”, aporta métodos de monitoreo de calidad del

compost, lo cual resulta esencial para evaluar la eficiencia y asegurar la producción de un compost de alta calidad aplicable en huertas urbanas en el contexto de Santiago de Cali.

En conclusión, aunque los estudios revisados ofrecen una base útil, la implementación de estas tecnologías en el barrio La Selva de Santiago de Cali demanda adaptaciones específicas en diseño y manejo, para asegurar su efectividad en el clima y condiciones locales.

8.2 DETERMINAR LAS CONDICIONES TÉCNICAS PARA LA INSTALACIÓN, PUESTA EN MARCHA, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE ESTAS ALTERNATIVAS EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES CON ACCESO A PATIO DE LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI.

8.2.1 Selección de las condiciones técnicas para la instalación, puesta en marcha, operación y mantenimiento de estas tecnologías en el contexto indicado.

En esta sección se indican las condiciones técnicas para la instalación, puesta en marcha, operación y mantenimiento de estas tecnologías de acuerdo con la información recopilada en los casos de estudio analizados. En ese sentido, la **Tabla 3** por ejemplo, proporciona una contextualización de los casos de estudio relacionados al compostaje.

Tabla 3. Resumen de los casos de estudio respecto al compostaje.

#	Contexto
1	Rediseño y optimización de un dispositivo para uso en compostaje domiciliario, mediante barriles de PVC, con elementos de aireación, trampa de lixiviados y suspendido del suelo mediante una estructura de soporte. El objetivo del rediseño fue mejorar la eficiencia del proceso de compostaje, reducir los costos de producción y hacer que el dispositivo sea más accesible a las personas que deseen implementarlo en áreas urbanas. Se evaluaron diferentes tipos de materiales y se realizaron pruebas para determinar la mejor combinación de materiales para el dispositivo. Los resultados mostraron que el rediseño del dispositivo permitió un aumento significativo en la tasa de compostaje y mayor facilidad de uso.
2	El estudio discutió el uso de residuos orgánicos domésticos para producir compost doméstico en Bogotá. Se llevó a cabo una investigación teórica del proceso de compostaje y se analizó la cantidad y composición de residuos orgánicos producidos por un complejo residencial en Bogotá. Se propuso un plan de gestión para implementar el compostaje, que incluía la comunicación con los residentes, los elementos necesarios y los procedimientos de recolección y aplicación. El estudio resaltó los beneficios ambientales, económicos y de soberanía alimentaria. En conclusión, se determinó que el compostaje doméstico realizado en un barril de PVC es una solución viable para reducir la cantidad de residuos y generar un recurso aprovechable.

#	Contexto
3	Se propone el aprovechamiento de los RSO generados en el conjunto residencial La Colina, ubicado en Sogamoso, Boyacá, para la producción de abono orgánico, con el fin de reducir el volumen de RD que terminan en los rellenos sanitarios. Los RO son tratados mediante el proceso de compostaje en un reactor horizontal de PVC equipado con colector de lixiviados y sistema de aireación. El proyecto desarrolló una matriz para priorizar diferentes procesos de compostaje y se seleccionó el compostaje aeróbico en un reactor horizontal como la mejor opción. El objetivo del proyecto fue diagnosticar el estado de los RO, establecer el proceso para el montaje de la compostera, determinar las especificaciones técnicas del proceso y analizar los costos. El proyecto logró obtener 32 kg de compost a partir de 77 kg de residuos orgánicos generados en una semana por el 29% de los habitantes del conjunto residencial La Colina.
4	Este estudio se centró en el compostaje doméstico en Pesaro-Urbino, Italia. Se colocaron y monitorearon cuatro compostadores experimentales (modelo 310, Mattiussi Ecología), evaluando los productos del compostaje en dos etapas diferentes (7 y 15 meses). Se observó un progreso en el proceso de compostaje con el tiempo, evidenciado por la reducción de la humedad, cantidad de carbono orgánico, la relación C/N, la conductividad eléctrica y el nitrógeno total. También se identificaron interacciones que afectan la descomposición de la materia orgánica y la humificación. Basándose en el monitoreo de los compostadores experimentales y las tendencias observadas en los subconjuntos controlados, se determinó que un período de 12 a 15 meses era apropiado para el compostaje doméstico.
5	En la ciudad de Chiquimula, se llevó a cabo una investigación para evaluar modelos de composteras domiciliarias y métodos de compostaje y lombricompostaje. Se implementaron dos modelos de composteras y dos tipos de vermicompostera, y se evaluaron variables como nutrientes, análisis económico y aceptabilidad en los hogares. Los resultados mostraron que el modelo de compostera rectangular y el método de compostaje por el método "Takakura" fueron los más efectivos en términos de facilidad de manejo, descomposición rápida, nutrientes y aceptabilidad. Basándose en estos resultados, se implementaron estas composteras en 14 hogares de la ciudad de Chiquimula durante un período de 2 meses. Se realizó una encuesta para medir la aceptación de las composteras, y la mayoría de las personas opinaron que el método "Takakura" mostró mejores resultados en términos de facilidad de manejo, descomposición rápida, nutrientes y aceptabilidad. Los hogares de la ciudad estaban dispuestos a seguir utilizándose, por lo que se continuó su implementación en dichos hogares.
6	La investigación se centra en la implementación de composteras en viviendas ubicadas en la zona ZV-5 del Cercado de Lima como una forma de gestionar los residuos orgánicos domiciliarios. El objetivo es promover la valorización de estos residuos mediante el compostaje. El estudio utiliza un enfoque mixto y se enfoca en caracterizar los residuos orgánicos, cuantificar la asimilación del compostaje domiciliario y registrar los pesos de los residuos y el compost. Se describen los pasos para la elaboración del compost, desde la ubicación de las composteras hasta la cosecha del compost. En los resultados, se destaca que las capacitaciones lograron promover una cultura ambiental compartida y que el grado de asimilación del compostaje fue alto, donde las cáscaras de papa y plátano fueron los residuos orgánicos más comunes. En conclusión, la implementación de composteras en viviendas en la zona ZV-5 ha demostrado ser una forma efectiva de gestionar los residuos orgánicos domiciliarios y promover la sostenibilidad ambiental.

#	Contexto
7	El objetivo de este estudio es evaluar la viabilidad de implementar un sistema de compostaje doméstico en los habitantes del conjunto habitacional Los Héroes de Puebla, México, centrándose en la cantidad promedio de residuos sólidos orgánicos generados por persona en viviendas unifamiliares. Se analiza detalladamente el método de compostaje aplicado en hogares urbanos, teniendo en cuenta las características del proceso y las materias primas utilizadas. Además, se realiza un control de calidad del compost, evaluando parámetros como el pH, humedad y temperatura. Se calcula el volumen necesario para el recipiente compostador en las viviendas unifamiliares, considerando la producción promedio per cápita de residuos. Este cálculo toma en cuenta la superficie disponible, el espacio requerido y el volumen de residuos generados. Se llevan a cabo pruebas piloto para evaluar la eficacia del bote compostero y se realiza una caracterización exhaustiva de los residuos sólidos orgánicos. Se observa que el compostaje logra reducir aproximadamente un 30% del volumen original de residuos sólidos orgánicos. Además, se destaca la importancia de controlar adecuadamente la humedad y el pH y se sugiere la implementación de estrategias de ventilación cruzada en el diseño del área destinada al compostaje doméstico.
8	Ofrece orientación práctica sobre el aprovechamiento de residuos orgánicos mediante técnicas de compostaje. Describe detalladamente la composición de los diferentes tipos de residuos orgánicos para comprender mejor su naturaleza y su potencial de aprovechamiento. Explica en detalle el proceso de compostaje, desde la selección y preparación del área de compostaje hasta las diversas etapas del proceso, como la recolección, mezcla, procesamiento dividido en fases, monitoreo de parámetros como temperatura, humedad, pH, volteo, maduración y relación carbono-nitrógeno del compost. Se proporcionan recomendaciones prácticas y pasos a seguir para implementar un programa de aprovechamiento de residuos orgánicos, abordando aspectos como la educación ciudadana.

La revisión de los casos de compostaje domiciliario en contextos similares al de Santiago de Cali, revela tanto oportunidades como desafíos para su implementación. Aunque varias tecnologías han sido adaptadas con sistemas de ventilación y control de lixiviados en otros entornos urbanos, es esencial realizar ajustes específicos para climas cálidos y húmedos como el de Cali. Esto implica mejorar el control de humedad y ventilación para evitar sobrecalentamiento y fermentación no deseada. Además, los estudios sugieren que involucrar a la comunidad mediante programas educativos facilita la adopción del compostaje y mejora la separación de residuos en la fuente, una estrategia que podría ser fundamental para la aceptación de estas tecnologías en el barrio La Selva. Aunque los casos de estudio revisados indican que el compostaje reduce la cantidad de residuos enviados a rellenos sanitarios y permite la producción de compost, el cual puede emplearse como enmienda orgánica para el suelo, pocos estudios han evaluado los impactos ambientales, como las emisiones de gases, a nivel local. Por lo tanto, es fundamental desarrollar estudios piloto en Cali para evaluar la viabilidad y sostenibilidad de estas tecnologías en las condiciones específicas del contexto.

La **Tabla 4** proporciona información detallada sobre los compostadores en los casos de estudio en que estos fueron implementados, incluyendo capacidad del recipiente, material, espacio requerido, número de personas por compostador y temperatura ambiente de cada ubicación que fue obtenida de WeatherSpark, una plataforma en línea que ofrece información sobre el clima utilizando datos de diversas fuentes, con el fin de proporcionar datos precisos sobre las variables climáticas (WeatherSpark, 2023).

Tabla 4. Especificaciones del compostador.

#	Recipiente				Espacio Requerido (m²)	Temperatura Ambiente (°C)	# de personas
	Anexo	Posición	Material	Volumen (galones)			
1	5.1	Vertical	Polietileno de Alta Densidad	55 - 15	0,75 -0,41	14,6	4
2	5.2	Vertical	Polietileno de Alta Densidad	132	3,00	14,6	5
3	5.3	Horizontal	Polietileno de Alta Densidad	33	1,35	17,0	11
4	5.4	Vertical	Polipropileno	81,8	1,00	Verano 19,8 Invierno 7,0	3
5	5.5	Vertical	Polietileno-Polipropileno	5-15	3,30	20,6	14
6	5.6	Vertical	Arcilla- Madera	2	1,0	19,5	4
7	5.7	Vertical	Polietileno	21,13	0,50	24,7	4
8	5.8	Horizontal	Acero Inoxidable	15	2,00	13,0	4

La **Tabla 4** presenta especificaciones técnicas de compostadores que se adaptan a distintas necesidades según el contexto de uso en viviendas unifamiliares. En primer lugar, el tipo de material, como polietileno de alta densidad y acero inoxidable, ha sido seleccionado por su durabilidad y resistencia frente a las condiciones climáticas y la exposición al ambiente. Esto es especialmente relevante en climas cálidos o con alta humedad, donde los materiales pueden degradarse más rápidamente si no son adecuados. La posición del compostador, ya sea horizontal o vertical, también influye en la eficiencia del proceso de compostaje: los compostadores verticales son preferibles en espacios reducidos, mientras que los horizontales facilitan una mezcla y aireación más uniforme, beneficiando el proceso aeróbico.

Además, la capacidad en volumen varía, lo cual permite ajustar el compostador a diferentes niveles de generación de residuos orgánicos, desde pequeñas cantidades en viviendas unifamiliares hasta mayores volúmenes en comunidades. Esto asegura una gestión efectiva de los residuos de acuerdo con el tamaño de la familia o la comunidad. La necesidad de espacio varía entre 0,41 y 3,30 m², lo que sugiere que el compostador debe ser cuidadosamente elegido

en función de la disponibilidad de área en cada vivienda, especialmente en contextos urbanos con espacio limitado.

La temperatura ambiental es otro aspecto clave, ya que afecta directamente la velocidad del compostaje. En ambientes con temperaturas bajas, el proceso puede ralentizarse, mientras que, en temperaturas cálidas, la actividad microbiana es más intensa, aunque se requiere controlar la humedad para evitar descomposición ineficiente. Finalmente, el número de personas que puede beneficiarse de cada compostador, varía entre 3 y 14, lo que refleja su versatilidad tanto para uso individual en viviendas como para aplicaciones en grupos familiares. En conclusión, estas especificaciones demuestran que los compostadores pueden integrarse en diversos contextos, maximizando la eficiencia del proceso de compostaje en función de las características y limitaciones específicas de cada entorno.

La **Tabla 5** informa cada caso de estudio, como la cantidad de residuos, los costos, el número de mezclas, el tiempo de compostaje y el tiempo total necesario para obtener un compost maduro.

Tabla 5. Información del proceso de compostaje y costos en cada caso de estudio.

#	Cantidad de Residuos (kg/mes)	Costos (\$ COP)	# de mezclas (Semanal)	Tiempo de compostaje (días)	Tiempo de maduración (días)
1	31	\$600.000	no reporta	28	<90
2	72	\$290.000	Inicialmente 1 vez y posterior a 3 semanas cada 15 días	no reporta	no reporta
3	77	\$600.000	1	41	80
4	22	\$810.000	1	84	105
5	10	\$91.000	7	63	91
6	16	\$97.000	1	91	121
7	8,4	\$100.000	2	91	152
8	150	\$700.000	3	121	182

La **Tabla 5** detalla las variables operativas y económicas involucradas en los procesos de compostaje en distintos contextos, lo que permite observar cómo los costos asociados y la frecuencia de volteo o mezcla pueden influir en la viabilidad de cada método. Los costos se diferencian en función de la escala del compostaje y los recursos económicos disponibles en cada localidad, mostrando que, aunque algunos casos presentan costos iniciales más elevados, estos tienden a disminuir conforme se optimizan las prácticas y se reducen los residuos que van a disposición final. La frecuencia de mezclado también se adapta a las condiciones climáticas y al tipo de residuos, lo cual es crucial para la

descomposición homogénea y para reducir olores y lixiviados. Este análisis refleja la importancia de ajustar el proceso según las condiciones de cada entorno, en términos tanto técnicos como económicos, para maximizar el aprovechamiento de los biorresiduos en entornos domiciliarios y comunitarios.

En la **Tabla 6** se muestran los residuos orgánicos utilizados en cada caso de estudio. Se destaca que los residuos son muy similares, ya que, en su mayoría provienen de la preparación de alimentos domiciliarios.

Tabla 6. Residuos orgánicos utilizados en compostaje.

Caso de Estudio	Tipo de Residuo
1	Residuos sólidos orgánicos domiciliarios y hojarasca (material seco)
2	Restos de comida, huesos y pieles de fruta, filtros de café, sobres de infusiones, cáscaras de mariscos y moluscos, tapones de corcho, cascara de huevo, papel de cocina y servilletas de papel, cáscaras de frutos secos, palillos, cerillos y excremento de animales. Es importante NO depositar aceite de cocina, residuos de barrer, colillas, pañales y productos de higiene
3	Los alimentos orgánicos que están en proceso de descomposición, así como las cáscaras de varios productos, incluyendo arveja, naranja, cebolla larga, zanahoria, apio, habichuela, tomate, papa, repollo, manzanas, piña, cáscaras de huevo, guayabas, cáscaras de plátano, etc.
4	Desechos de jardín como paja, hojas, madera, ramas, recortes de arbustos, recortes de césped, recortes de árboles, pastos mixtos, flores y estiércol de granja; así como residuos de frutas, papas, restos de carne cocida y cáscaras de huevo, restos de vegetales, pan, restos de pescado y posos de café.
5	Fundamentalmente, se pueden aprovechar residuos de alimentos como cáscaras de frutas y vegetales, frutas descompuestas y sobrantes de comida. También se incluyen en esta lista cascarillas de arroz, pulpa de café previamente compostada, afrecho y hojarasca. Algunos ejemplos específicos de residuos de alimentos son pepino, cilantro, repollo, papaya, manzana, uvas, apio y perejil.
6	Residuos orgánicos como la cáscara de arveja, cebolla, huevo, limón, palta, piña, sandía, papa, plátano, tomate, yuca, pepino, zanahoria, mango y ajo se pueden aprovechar en procesos de compostaje. Además, las hojas y tallos de coliflor, albahaca, choclo, cilantro, lechuga y apio también pueden ser utilizados. Otros restos orgánicos como los residuos de café, cáscara de mandarina, papaya, granadilla y betarraga, así como la cáscara de haba y mandarina, también son adecuados para compostaje
7	Se adicionaron restos de comida como cáscaras de limón, zapallo, cilantro, cebolla cabezona, tomate de árbol, aguacate, pimentón y de papas, entre otros. Adicionalmente, se fueron incorporando en capas de tierra, aserrín y paja. Esta estratificación de materiales es importante para el proceso de compostaje, ya que ayuda a mantener un equilibrio adecuado de carbono y nitrógeno.
8	Materiales orgánicos como estiércol, cenizas, aserrín, residuos de cosecha, cascarilla de arroz, cáscaras de mango, cáscaras de zanahoria, cáscaras de papas, habichuelas y restos vegetales.

Los tipos de residuos utilizados en los sistemas de compostaje detallados en la **Tabla 6**, abarcan tanto restos de cocina como materiales vegetales de jardín, lo que favorece una mezcla balanceada en términos de carbono y nitrógeno,

fundamental para una descomposición eficiente. Sin embargo, la presencia de materiales no recomendados, como aceites y productos higiénicos en ciertos casos, pone en evidencia la necesidad de educación y sensibilización en la clasificación de los residuos. Esto no solo asegura la calidad del compost, sino que también minimiza el riesgo de contaminación del proceso y evita complicaciones en la degradación de la materia orgánica. Además, los estudios reflejan que el uso de diferentes tipos de residuos puede requerir variaciones en el diseño del compostador y en las prácticas de manejo, destacando la importancia de la adaptabilidad de la tecnología de compostaje a las características de los residuos generados en cada hogar o comunidad.

En la **Tabla 7**, se proporciona una contextualización del lombricompostaje para los casos de estudio seleccionados.

Tabla 7. Resumen de lombricomposteras adoptadas en los casos de estudio.

#	Contexto
5	El estudio se realizó en la ciudad de Chiquimula, Guatemala, con el propósito de identificar opciones sostenibles y eficientes para el manejo de RSO a nivel doméstico. Se llevó a cabo la evaluación de diversos modelos de composteras y métodos de compostaje, destacando particularmente la utilización de lombrices en el proceso. Se describen diseños de composteras, como cajas plásticas rectangulares, cajones de madera, piletas de cemento, entre otros, y se enfatiza la importancia de que sean desmontables y tengan una base abierta para permitir la circulación de aire. Además, se resalta la durabilidad y las ventajas de utilizar plástico como material de construcción para las composteras. En relación al aprovechamiento, se hace referencia a la incorporación de lombrices en el proceso y se resalta la relevancia de mantener condiciones adecuadas de humedad, acidez y alimentación para asegurar un óptimo funcionamiento del sistema con la presencia de las lombrices.
8	Ofrece una guía práctica y detallada para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través del método de lombricompostaje. Aborda la composición de diversos tipos de residuos sólidos orgánicos presentes en los hogares. Proporciona una explicación del proceso de lombricompostaje, desde su definición hasta las especies de lombrices utilizadas. Destaca claramente las ventajas que ofrece la lombricultura en comparación con el compost tradicional y ofrece información valiosa sobre la reproducción de las lombrices. Además, profundiza en la importancia de la medición de parámetros como el pH y la humedad en el proceso de lombricompostaje y brinda información para la extracción del lombricompost. Asimismo, proporciona un contexto sobre el proceso de maduración necesario para obtener un producto final de alta calidad. Por último, presenta recomendaciones prácticas y los pasos a seguir para implementar de manera efectiva un programa de aprovechamiento de residuos orgánicos domiciliarios.
9	El Efecto de la Lombriz Roja Californiana (<i>Eisenia foetida</i>) en compostaje y vermicompostaje evalúa la biotransformación de residuos orgánicos, como restos de cocina, pulpa de café y cartón. Realizado en Bolivia, muestra que el lombricompostaje acelera la descomposición y aumenta la cantidad de bioabono respecto al compostaje tradicional, destacando el potencial del lombricompostaje para generar un abono de alta calidad y aplicable en la agricultura urbana y la gestión de biorresiduos en entornos residenciales.

#	Contexto
10	Analiza el uso del lombricompostaje como una alternativa sostenible para gestionar biorresiduos domésticos. Realizado en el condominio Ceibos Colonial, el proyecto involucró a cinco familias y demostró que el vermicompost resultante cumple con los estándares de calidad, sin presencia de metales pesados, y presenta un alto valor nutritivo, lo cual lo convierte en un recurso adecuado para prácticas agrícolas urbanas y sostenibles en entornos residenciales.

Esta tabla resalta cómo cada estudio ha adaptado las lombricomposteras a necesidades específicas, empleando técnicas que mejoran la aireación y el control de humedad para garantizar condiciones adecuadas para las lombrices. En particular, se observa que algunas lombricomposteras están diseñadas con sistemas que permiten un flujo de aire constante, evitando la acumulación de lixiviados y facilitando el movimiento de las lombrices, lo cual es crucial en entornos cálidos y húmedos donde la descomposición puede acelerarse y requerir ajustes constantes. La adaptación de estos diseños muestra cómo las lombricomposteras pueden variar en estructura y tamaño para maximizar su efectividad en distintos climas, subrayando la importancia de ajustar el diseño y los materiales a las condiciones de cada contexto para mantener un proceso de lombricompostaje eficiente y sostenible.

La **Tabla 8**, Datos detallados acerca de las lombricomposteras utilizadas en cada caso de estudio. Esta tabla brinda información relevante sobre la capacidad, el material empleado, el espacio necesario, la cantidad de personas por lombricompostador y la temperatura ambiente asociada a cada estudio.

Tabla 8. Especificaciones de las lombricomposteras.

#	Recipiente				Espacio Requerido (m ²)	Temperatura Ambiente (°C)	# de personas	Costos	Tiempo (días)
	Anexo	Posición	Material	Volumen (galones)					
5	5.5	1 Horizontal y 1 Vertical	Polietileno-Polipropileno	5-15	3,3	20,6	14	\$150.000	90
8	5.9	Vertical	Polietileno	15	3	13	4	\$180.000	60
9	-	Vertical	Polietileno	5,28	1	7,5	4	\$130.000	120
10	5.10	Vertical	Polietileno	5,2	0,3	25,3	4	\$194.000	90

Las especificaciones técnicas de las lombricomposteras, tales como el volumen, el material y la disposición espacial, reflejan la necesidad de un diseño que permita manejar el volumen de residuos orgánicos producido en cada caso. En zonas con altos niveles de residuos orgánicos, las lombricomposteras de mayor volumen y resistentes a la humedad permiten manejar estos flujos de manera eficiente, mientras que, en áreas con espacio limitado, se opta por diseños más compactos. Las diferencias en el tiempo de compostaje también destacan la influencia del clima y el tipo de residuos en el proceso, ya que en climas más cálidos o en condiciones de humedad controlada, el tiempo requerido para la

descomposición puede reducirse. Esta tabla demuestra que las lombricomposteras pueden adaptarse a una variedad de entornos, optimizando la relación entre el volumen de residuos tratados y el espacio disponible.

La **Tabla 9** especifica los tipos de residuos orgánicos utilizados en cada caso de estudio relacionados al lombricompostaje. Se destaca que los residuos son muy similares ya que provienen de la preparación de alimentos domiciliarios y en algunos casos la adición de enmiendas.

Tabla 9. Residuos orgánicos utilizados en el lombricompostaje.

Caso de Estudio (#)	Tipo de Residuo
5	Residuos sólidos orgánicos domiciliarios y hojarasca (material seco)
8	Restos de comida, huesos y pieles de fruta, filtros de café, sobres de infusiones, cáscaras de mariscos y moluscos, tapones de corcho, cascara de huevo, papel de cocina y servilletas de papel, cáscaras de frutos secos, palillos, cerillos y excremento de animales. Es importante NO depositar aceite de cocina, residuos de barrer, colillas, pañales y productos de higiene
9	Restos de cocina, pulpa de café, cartón, restos vegetales de la limpieza de los jardines y otras áreas de producción agrícola
10	Restos de verduras, frutas y residuos de alimentos preparados, podas de jardín y papeles

La **Tabla 9** muestra cómo los residuos usados en lombricompostaje consisten principalmente en restos de cocina y materiales vegetales, lo cual ayuda a mantener una proporción adecuada de nutrientes y a reducir posibles olores. La selección cuidadosa de estos materiales es esencial para asegurar un producto final de alta calidad y para evitar la incorporación de elementos que puedan dañar la salud de las lombrices. En algunos casos, se indica la necesidad de controlar los materiales agregados, pues algunos residuos, como productos cítricos o lácteos, pueden afectar la eficiencia del proceso y la calidad del lombricompost. Esto refuerza la importancia de un adecuado manejo y separación de los residuos para maximizar el valor del compost generado, destacando la relevancia de establecer pautas claras en la selección de materiales.

En la **Tabla 10**, se contextualizan los estudios de aplicación de tratamiento de biorresiduos en pacas digestoras.

Tabla 10. Resumen de los estudios de aplicación de tratamiento de biorresiduos en Pacas Digestoras.

#	Contexto
11	Estudia el uso de pacas biodigestoras como alternativa para la gestión de biorresiduos. A través de un montaje experimental con ocho pacas de diferentes volúmenes y condiciones, la investigación evaluó la eficiencia en la degradación de los residuos, considerando variables como humedad, pH y temperatura. Los resultados mostraron que las pacas de mayor volumen alcanzaron temperaturas óptimas de 50 °C, favoreciendo la descomposición acelerada, lo que sugiere su potencial como método efectivo y sostenible para el tratamiento de residuos en entornos locales.
12	Analiza la viabilidad de las pacas biodigestoras como método de transformación de residuos orgánicos en entornos académicos. Se implementaron cinco pacas de aproximadamente 1 m ³ con distintos residuos, incluyendo material vegetal, estiércol de cabra y residuos de café, cada una compactada a una densidad de 1 t/m ³ . Durante 20 semanas, se monitorean parámetros como la altura y la temperatura para analizar el proceso de degradación. Este estudio destaca que, si bien el material final no cumplió con los requisitos para abono orgánico bajo la norma NTC 5167 de 2022, presentó características fisicoquímicas y de nutrientes que permiten clasificarlo como un sustrato apto para suelos agrícolas.
13	Presenta la Paca Digestora Silva como una tecnología ecológica innovadora para el tratamiento de residuos biodegradables, incluyendo restos de cocina, jardín y estiércoles. Esta tecnología se basa en un proceso de fermentación alcohólica sólida que elimina la contaminación por gases tóxicos, lixiviados y vectores, bloqueando el acceso de aire que produce descomposición. Diseñada para operar al aire libre, la Paca Digestora Silva representa un enfoque hacia la estrategia de Basura Cero, permitiendo retener en la fuente el 50% de los residuos sólidos y extender la vida útil de los rellenos sanitarios. Además, reduce significativamente la necesidad de transporte de residuos, lo cual descongestiona las vías y libera recursos para la educación ambiental. Este sistema promueve la educación participativa, fomenta la integración comunitaria y ofrece oportunidades de empleo digno, alineándose con las metas de bienestar ciudadano propuestas en el Plan de Desarrollo de Medellín 2012

En esta tabla se destacan las ventajas de las pacas digestoras en términos de su capacidad para manejar volúmenes de residuos y su adaptabilidad a entornos con espacio limitado. Los estudios reflejan cómo las pacas digestoras logran mantener temperaturas óptimas para la descomposición, incluso en climas fríos o cálidos, gracias a su diseño compacto y a la capacidad de retener calor en su estructura. Esta característica permite una descomposición más eficiente en climas variados, reduciendo la necesidad de mantenimiento constante. Sin embargo, la implementación de esta tecnología requiere conocimientos específicos para controlar factores como la humedad y la relación de nutrientes, aspectos críticos que impactan la calidad del abono resultante y la efectividad en el manejo de biorresiduos en entornos urbanos y rurales.

La **Tabla 11**, presenta datos detallados acerca de las pacas digestoras utilizadas en cada caso de estudio. Esta tabla brinda información relevante sobre la capacidad, el material empleado, el espacio necesario, la cantidad de personas por paca y la temperatura ambiente asociada a cada sitio de estudio.

Tabla 11. Especificaciones de las Pacas Digestoras.

#	Recipiente				Espacio Requerido (m ²)	Temperatura Ambiente (°C)	# de personas	Costos	Tiempo (días)
	Anexo	Posición	Material	Volumen (galones)					
11	5.11	Única	Madera	264	1	27	24	\$200.000	60
12	5.12	Única	Madera	264	1	27	24	\$200.000	140
13	5.13	Única	Madera	264	1	27	24	\$200.000	120

La **Tabla 11** proporciona un detalle técnico sobre el diseño y capacidad de las pacas digestoras, que están especialmente diseñadas para soportar volúmenes de residuos en espacios pequeños (como se puede observar en la **Figura 15**). La elección de materiales duraderos y la disposición en unidades modulares permiten que las pacas digestoras se adapten a diferentes necesidades, como el tratamiento de residuos orgánicos en zonas de alta densidad poblacional o en instalaciones comunitarias. Además, la capacidad de las pacas para evitar la acumulación de lixiviados asegura un proceso más limpio y controlado, lo que reduce la incidencia de malos olores y aumenta la aceptación en comunidades urbanas. Las especificaciones de la paca digestora revelan su potencial como solución práctica y adaptable en contextos con limitaciones de espacio y recursos, maximizando el uso eficiente del espacio disponible para el tratamiento de biorresiduos.

La **Tabla 12** indica los residuos orgánicos utilizados en cada caso de estudio relacionados al tratamiento en Pacas Digestoras.

Tabla 12. Residuos orgánicos utilizados en las Pacas Digestoras.

Caso de Estudio (#)	Tipo de Residuo
11	Cáscara y pulpa de mango, hojas de repollo, hojas de lechuga, hojas y tallos de apio, ramas de cebolla larga, papayas enteras, cáscaras de maracuyá, cáscaras y naranjas enteras, cáscara de frijol, cáscara de choclo, yuca, papa, pepinos, entre otros.
12	Material vegetal, residuos de café, estiércol de cabra, inóculo de compostaje, acelerador de descomposición.
13	Estiércol de animales, excedentes de cocina y de jardín, astillas de madera.

Los materiales orgánicos utilizados en las pacas digestoras incluyen residuos comunes como restos de alimentos y materiales vegetales, aunque también se observan enmiendas para equilibrar la descomposición y mejorar el valor del

compost final. La inclusión de estos materiales facilita una degradación eficiente, pero también requiere cierto conocimiento técnico para evitar desbalances en la relación carbono-nitrógeno, lo cual podría ralentizar el proceso de compostaje. Esta tabla enfatiza que el manejo adecuado y la selección de residuos son esenciales para optimizar la producción de compost en las pacas digestoras, siendo especialmente relevante en comunidades con alta generación de biorresiduos y espacio limitado.

Es importante señalar que las **Tablas 4 y 5** presentan los requisitos de implementación para el compostaje, incluyendo el espacio requerido, posición y material del compostador, temperatura ambiente, número de personas involucradas, costos, frecuencia de mezcla y tiempo de compostaje. De forma similar, la **Tabla 8** registra estos aspectos para el lombricompostaje, mientras que las **Tablas 10, 11 y 12** consolidan los datos correspondientes a las Pacas Digestoras.

En el contexto de viviendas unifamiliares en Cali, el compostaje y el lombricompostaje destacan por su aplicabilidad, aunque requieren algunos ajustes debido a las condiciones cálidas y húmedas de la región. El compostaje podría beneficiarse de un control preciso de ventilación y humedad para evitar malos olores, mientras que el lombricompostaje necesita protección contra el calor para asegurar la viabilidad de las lombrices. Para ello, se sugiere instalar estructuras de sombra y sistemas de control de temperatura.

Las pacas digestoras ofrecen ventajas en compactación y eficiencia espacial, adecuadas para patios pequeños, pero demandan ajustes para manejar lixiviados y olores bajo condiciones de humedad elevada. En conclusión, el compostaje y el lombricompostaje son las opciones más viables para el barrio La Selva, y las pacas digestoras podrían considerarse con mejoras en drenaje y ventilación para adaptarse mejor al clima de Cali.

En ese orden de ideas, a continuación, se procede a realizar una descripción de las tres alternativas de tratamiento de biorresiduos que se han identificado con mayor viabilidad de aplicación de acuerdo con la zona de estudio; Compostaje, Lombricompostaje, y Pacas Digestoras.

- Compostaje

Según la FAO en su manual de compostaje del agricultor, el compostaje en sistemas cerrados o en recipiente es frecuentemente usado en domicilios, debido a que cuenta con varios puntos positivos como: protección del material de vientos fuertes, evitar la acumulación de lluvia, facilitar el volteo, facilita la extracción de lixiviado, controlar la invasión de vectores. También presenta algunas desventajas como las elevadas temperaturas en el proceso, por lo que en climas cálidos, se suele adicionar tierra al recipiente (hasta un 10%) que sirve como regulador de temperatura.

Entre los reactores para la fabricación de compost, se conocen reactores verticales y reactores horizontales, los cuales pueden fabricarse con materiales reciclables como canecas o tanques de plástico, donde el número de unidades o composteras depende de la cantidad de residuos generados.

En los reactores verticales, la base del recipiente reposa sobre el suelo. El material es añadido por la parte superior y el material compostado se extrae en la parte inferior (ver **Figura 10**). Se le llama continuo porque el material fresco entra de forma continua y el producto compostado sale también permanentemente por la parte inferior -si el recipiente está diseñado para que haya que voltearlo para extraer el material (FAO, 2013). Este sistema tiene varias ventajas como: fácil manipulación, baja inversión, exclusivo para áreas pequeñas y mejor control de los lixiviados. Su principal desventaja radica en que se necesita un área adicional para realizar el volteo. El material tiende a compactarse y por tanto la distribución de la humedad no es uniforme, secándose más rápidamente la parte superior.

Figura 10. Compostera doméstica vertical



Según la UAESP 2015 en la guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de Compostaje y Lombricultura, en los reactores horizontales (ver **Figura 11**), su recipiente reposa sobre el eje longitudinal, cuenta con un proceso discontinuo debido a que el proceso se realiza “por cargas”, lo que significa que el reactor debe finalizar el proceso para retirar el compost y poder agregar una nueva carga. Al reactor ser horizontal su

humedad se distribuye mejor, lo que refleja en una menor compactación, además de la comodidad y ahorro de espacio para el volteo ya que se realiza con una manivela, por lo que el producto obtenido tiene unas características homogéneas. Este sistema cuenta con algunas desventajas como mayor inversión económica debido a que se necesita uno o más recipientes adicionales disponibles para tener un proceso continuo, además de que los lixiviados se pueden escapar en el proceso de volteo.

Figura 11. Compostera doméstica horizontal



Fuente: Agencia UNAL, 2017.

De acuerdo con Fernández (2020), el lugar para la instalación del reactor debe de ser de fácil acceso, ventilado y estar protegido de la lluvia, lo que implica en muchas ocasiones tener que construir una estructura techada, adicionalmente se deben comprar o fabricar los reactores. Posterior a la instalación se procede a agregar todos los días el material orgánico picado y escurrido a una cámara, luego se agrega una parte de material secante usualmente aserrín por cada 5 partes de materia orgánica y se gira la compostera. El proceso es realizado hasta que el primer reactor esté lleno, en ese momento, se procede a llenar el otro reactor para que el compost esté listo. El procedimiento necesita un tiempo aproximadamente de 8 a 12 semanas.

Según Konijnenburg (2007), para lograr un compost de óptima calidad se recomienda tener un equilibrio entre alimentos ricos en Carbono y Nitrógeno. Una mezcla ideal para la fabricación de compost debe tener una relación C/N al inicio de 30/1.

Algunos de los parámetros para la identificación de la relación C/N del compost según Fernández (2020) son los siguientes:

- Temperatura muy alta. La relación C/N es baja (alto contenido en nitrógeno).
- La pila de compostaje desprende un olor desagradable. La relación C/N es baja.
- Gran presencia de fauna. Gusanos, moscas y otros insectos. La relación C/N es baja.
- El proceso de compostaje es lento, casi detenido. La relación C/N es alta (alto contenido en carbono).

En la siguiente Tabla se puede observar algunos productos orgánicos con su relación C/N.

Tabla 13. Relación C/N ideal para el compostaje.

Nitrógeno y Relación C/N en varias materias			
Material		%N2	C/N
Residuos de comida	Fruta	1,52	34,80
	Mataderos	7,00 - 10,00	2
Estiércoles	Vaca	1,70	18
	Cerdo	3,75	20
	Aves	6,30	15
	Oveja	3,75	22
Fangos activados	Digeridos	1,88	15,70
	Crudos	5,60	6,30
Majadera y paja	Aserrín	0,10	200 - 500
	Paja trigo	0,30	128,00
	Madera pino	0,07	723,00
Papel	Mezclado	0,25	17,00
	Periódico	0,05	983,00
	Revistas	0,07	470,00
Residuos de jardín	Césped	2,15	20,10
	Hojas caídas	0,50 - 1,00	40 - 80
Biomasa	General	1,96	20,90

Fuente: Ruthe.pavonc, 2022.

Oviedo *et al.* (2013), estudiaron dos tipos de pilas a escala piloto con diferente frecuencia de volteo durante las cuatro primeras semanas del proceso, donde la pila A con al menos dos volteos semanales y la pila B con seis volteos semanales. Posterior a las cuatro semanas, se realizó un volteo por semana para ambas pilas. El estudio demostró que el incremento en la frecuencia de volteo permitió mejores resultados en las tasas de degradación de la materia orgánica y disminución de tiempo en las fases mesofílica, termofílica y de enfriamiento del proceso. Un punto negativo fue la calidad del producto, disminuyendo el contenido de COT y nutrientes (N, P).

Con el fin de controlar la humedad del compost, Rostagno (2015) propone realizar la “técnica del puño cerrado”, que consiste en sacar un puñado de material de la compostera, seguidamente se debe apretar el puño fuertemente, si al apretar la muestra suelta un hilo de agua quiere decir que el material contiene más de un 40% de humedad, lo cual se soluciona volteando más seguidamente y añadir material como aserrín o paja, si la muestra solamente gotea se estima que contiene un valor cercano al 40% de humedad, si el material no gotea y cuando se abre el puño de la mano permanece moldeado, se estima que la humedad se presenta entre un 20 a 30 %, finalmente si se abre el puño y el material se disgrega, se asume que el material contienen una humedad inferior al 20 % por lo que se le debe añadir agua.

Se puede identificar que el compost ha finalizado la degradación cuando el material aún húmedo no aumenta de temperatura nuevamente a pesar de que se realice el volteo. Posterior a este paso se procede a realizar un tamizado del material con el fin de eliminar los elementos gruesos. El tamaño del tamiz depende de la normativa del país, pero comúnmente es de 1,6 cm. El material grueso que no pasa en la malla del proceso de tamizado se volverá a incorporar nuevamente a una nueva pila de compostaje.

Figura 12. Tamizado del compost.



Fuente: Ecoinventos, 2021.

- **Lombricompostaje**

El lombricompostaje es un proceso de biooxidación, degradación y estabilización de la materia orgánica mediada por la acción combinada de lombrices y microorganismos bajo condiciones aerobias y mesófilas, con el que se obtiene un producto final estabilizado (Vargas, 2010).

De acuerdo con la FAO (2013), para el lombricompostaje la especie de lombriz más utilizada es *eisenia foetida*, o mejor conocida como lombriz roja californiana, la cual segrega un olor desagradable para sus depredadores. La lombriz, es muy hábil en su alimentación, cada 24 horas consume el alimento equivalente a su propio peso, por lo que se requiere de altas concentraciones de biorresiduos. Además, la lombriz requiere de ciertas condiciones ambientales como una temperatura óptima de 19-25°C, con humedad del 80%, pH de 6,5- 7,5 y baja luminosidad.

Uno de los datos importantes acerca de esta lombriz roja californiana es que es hermafrodita, pero para la reproducción se requiere de dos individuos, donde se realiza la cópula cada 7-10 días. Los dos individuos producen huevos, llamados Cocoons, Cocun o Capullos, los cuales tienen forma de limón y apariencia amarilla transparente al inicio, que se va tornando de café a medida que se va desarrollando la lombriz. Cada capullo contiene de 2 a 12 lombrices que emergen a los 21 días de ser depositadas, las cuales inician el periodo reproductivo a los 3-4 meses.

Figura 13. Proceso de reproducción de la lombriz.



Fuente: Céspedes, 2021.

Para construir una vermicompostera, se debe tener en cuenta la importancia de mantener condiciones de aireación, drenaje, temperatura, humedad y ausencia de luz. Para la construcción de la vermicompostera se puede utilizar reutilizar cualquier recipiente, aunque se aconsejan los cubos de plástico para mantener la humedad.

Basado en Parancan *et al.* (2018), los aspectos más importantes para tener en cuenta a la hora de construir un vermicompostador son los siguientes:

1. El recipiente debe contar con salida y recolección de lixiviados.

2. Contener mínimo 2 compartimentos separados por pequeños agujeros, para que las lombrices pasen al material fresco, cuando hayan terminado en un compartimento.

3. Tener una tapa por arriba para añadir y extraer los materiales y producto, y evitar presencia de vectores.

En la **Figura 14** se puede apreciar una imagen que ilustra los 3 aspectos mencionados previamente.

Figura 14. Lombricompostera domiciliaria



Fuente: Vermican, 2012.

El recipiente no debe dejar pasar la luz, además, la tapa y laterales del recipiente deben tener orificios para favorecer la aireación, evitando diámetros demasiado grandes para que no se salgan las lombrices. En el fondo del recipiente deberán colocarse 15 cm de grava separados con una malla que permitirá filtrar los lixiviados.

Según Ruiz (2011), en el taller de elaboración de lombricomposta expresa que la relación C/N ideal para la elaboración de lombricomposta se encuentra en el rango de 20-35 / 1. La humedad de los biorresiduos debe estar alrededor del 70% al 80%, ya que por encima pueden desarrollarse condiciones anaeróbicas. La evaluación del contenido de humedad puede realizarse mediante la prueba del puño mencionada en la tecnología de compostaje.

El equipo Técnico de Educación Ambiental -ETEA- (2018), proporciona algunas recomendaciones para solucionar situaciones que se puedan presentar al emplear una lombricompostera;

- Si se presenta mal olor, alguno de los residuos se encuentra en descomposición posiblemente debido a que las lombrices no se lo comieron, bien sea porque no les gusta el residuo, o el tamaño es

demasiado grande, en este caso se recomienda remover y añadir material seco como papel y cartón bien desmenuzado.

- Cuando hay alta presencia de moscas es resultado del exceso de frutas, por lo que se sugiere tapar mejor el recipiente.
- La presencia de hormiga indica falta de humedad, lo que se soluciona con riego constante.
- En el caso de salir por tiempo considerable del domicilio, las lombrices pueden resistir por hasta un periodo de 4 semanas sin alimentación, por lo que se puede controlar la humedad clavando botellas con agua boca abajo en el sustrato, para que se libere el líquido poco a poco.

En un tiempo estimado entre 3-4 meses se puede comenzar a cosechar el producto, dependiendo del manejo. Para ello se separan las lombrices dejando alimento sólo en un extremo del lecho y durante 4 a 7 días. Las lombrices migrarán a ese lugar y el humus quedará en condiciones para ser cosechado, con una baja carga de individuos. El humus cosechado se deja secar al aire por unos días, puede almacenarse durante mucho tiempo en sacos, en un lugar fresco y seco, sin que sus propiedades se vean alteradas, pero es necesario mantenerlas bajo condiciones óptimas de humedad 40% (Fundación para la Innovación Agraria, 2013).

Figura 15. Secado del lombricompostaje



Fuente: Hezieko, Sf.

- **Pacas Digestoras**

La paca digestora, desarrollada por Guillermo Silva, un tecnólogo ambiental y defensor del reciclaje orgánico, es un innovador sistema diseñado para el aprovechamiento de residuos orgánicos de manera sencilla, económica y sustentable. Silva identificó que el prensado de los residuos orgánicos es la forma más efectiva para su procesamiento. Esta técnica de compostaje, basada en un proceso de fermentación anaeróbica, permite la producción de abono sin generar malos olores ni atraer roedores o insectos, siempre y cuando se realice correctamente. Como resultado, la paca digestora se posiciona como una biotecnología ecológicamente limpia y eficiente (Perdomo, 2022).

El abono obtenido a través de este sistema es particularmente valioso para la agricultura urbana, promoviendo la autonomía en las comunidades que lo adoptan. La paca digestora es capaz de procesar hasta 500 kg de materia orgánica por metro cúbico, incluyendo excremento de perros y gatos, así como residuos de cocina, tales como carnes y restos de alimentos (Perdomo, 2022).

Corpoboyacá (2023), a través de su Subdirección de Ecosistemas y Gestión Ambiental, ha diseñado una cartilla con el objetivo de fomentar el aprovechamiento de residuos orgánicos mediante la implementación de la técnica "Paca Digestora Silva". Esta iniciativa se enmarca dentro del proyecto "Orientación, apoyo y seguimiento al Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS)".

El proceso comienza con la identificación del espacio adecuado para la instalación de la paca digestora, seguido de una descripción detallada de los pasos necesarios para su puesta en marcha.

- **Construcción del molde:** El molde se construye utilizando cuatro láminas de madera, cada una con dimensiones de un metro de largo por un metro de ancho, sin tapa ni base. Alternativamente, se puede optar por un molde de menor altura (aproximadamente 40 cm), que se eleva a medida que se llena. Es esencial que el molde se ubique en un espacio abierto que permita una adecuada circulación de agua. En la base del molde, se colocan ramas de jardín cruzadas en forma de rejilla, lo que ayuda a aislar la paca de la humedad del suelo y actúa como un sistema de drenaje eficiente (Espinosa y Ossa, 2017)

Figura 16. Pacas biodigestoras durante la fase práctica en la Universidad Autónoma Chapingo



Fuente: Espinosa y Ossa, 2017.

- **Incorporación de los residuos:** Antes de incorporar los residuos al interior del molde, es fundamental equilibrar las proporciones de los residuos orgánicos y de jardín, asegurando que cada grupo represente el 50% del total. Los residuos de jardín incluyen hojas secas y verdes, hierba, y ramas, mientras que los residuos orgánicos comprenden principalmente restos de cocina (Corpoboyacá, 2023).

Una vez que se han establecido las proporciones correctas, los materiales se incorporan de manera uniforme dentro del molde. A continuación, se procede a prensar el material de manera exhaustiva, con el objetivo de minimizar la cantidad de oxígeno atrapado entre los componentes, lo cual es esencial para un proceso anaeróbico eficiente. El prensado puede realizarse utilizando herramientas simples, como un palo, o mediante la compactación directa con los pies, aplicando presión mediante saltos o marchas dentro de la paca (Corpoboyacá, 2023).

Figura 17. Proceso de prensado de biorresiduos en la paca digestora



Fuente: Corpoboyacá, 2023

- Desmoldado y Finalización del Proceso: Una vez que la paca está llena, se procede a desmoldarla, lo que se puede realizar retirando el molde por la parte superior o desarmándolo lateralmente. Después de este paso, es posible iniciar el proceso en otra ubicación del jardín. El cubo de residuos orgánicos, ahora expuesto, necesitará entre 5 y 6 meses para transformarse en tierra fértil (Perdomo, 2022).

Esta técnica contribuye significativamente a la protección del medio ambiente, permitiendo el reciclaje orgánico de aproximadamente media tonelada de residuos, los cuales, de otra manera, habrían terminado en un vertedero. Si se desea mejorar la estética y funcionalidad del jardín, en esta capa final también se pueden sembrar plantas, que crecerán aprovechando los nutrientes liberados por la paca en descomposición (Perdomo, 2022).

Figura 18. Biorresiduos desmoldados



Fuente: Corpoboyacá, 2023

8.3 PROPONER LA ALTERNATIVA DE APROVECHAMIENTO DE BIORRESIDUOS CON MAYOR VIABILIDAD DE IMPLEMENTACIÓN EN VIVIENDAS UNIFAMILIARES DEL BARRIO LA SELVA DE LA CIUDAD DE SANTIAGO DE CALI MEDIANTE EL USO DEL MÉTODO AHP.

8.3.1 Escogencia de expertos a consultar.

La selección de los expertos consultados para este estudio se basó en su sólido conocimiento y experiencia en el campo del aprovechamiento de biorresiduos. Se garantizó la participación de profesionales altamente calificados, incluyendo a:

Ing. Ph.D. Patricia Torres Lozada (Experto 1): Docente de Ingeniería Sanitaria y Ambiental en la Universidad del Valle. Ha dirigido y evaluado numerosos trabajos de grado, tanto a nivel de pregrado como de posgrado, en el campo del aprovechamiento de biorresiduos.

Ing. Ph.D. Jenny Alexandra Rodríguez Victoria (Experto 2): Docente de Ingeniería Sanitaria y Ambiental en la Universidad del Valle. Ha tenido a su cargo la dirección y evaluación de numerosos trabajos de grado, tanto a nivel de pregrado como de posgrado, enfocados en el aprovechamiento de biorresiduos.

Ing. MSc. Javier Mauricio Gonzales Díaz (Experto 3): Docente de ingeniería ambiental y sanitaria en la Universidad de La Salle. Ha desempeñado el papel de director y evaluador en diversos trabajos de grado, tanto a nivel de pregrado como de posgrado, relacionados con el manejo y aprovechamiento de residuos sólidos.

Ing. MSc. Lina Marcela Cárdenas Cleves (Experto 4): Docente de Ingeniería Sanitaria y Ambiental en la Universidad del Valle. Además de su labor docente, se destaca como investigadora y escritora especializada en el campo de la

gestión de RSM. Ha contribuido con la publicación de diversos artículos relacionados con este tema.

Ing. MSc. Jonathan Soto Paz (Experto 5): Docente de la Universidad Industrial de Santander. Ha desempeñado el papel de director y evaluador en varios trabajos de grado, tanto a nivel de pregrado como de posgrado, centrados en el aprovechamiento de biorresiduos domiciliarios. Su experiencia abarca el campo de la gestión de estos residuos, brindando orientación y contribuyendo al avance de la investigación en esta área.

Ing. Edidson Favian David Noguera (Experto 6): Se desempeñó como Secretario de Agricultura del municipio de San Pablo, Nariño. Cuenta con una amplia experiencia en la ejecución de proyectos destinados a la obtención de abono orgánico para huertas caseras. Su labor se enfoca en promover prácticas sostenibles de agricultura, fomentando el uso de técnicas de compostaje y la valorización de residuos orgánicos para la producción de abono de calidad.

Ing. Ricardo Murillo Arroyo (Experto 7): Profesional especializado que se desempeña como Ingeniero Sanitario trabaja en la Dirección Técnica Ambiental de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca desde el año 2005.

En este listado se incluyen destacados expertos que se distinguen por su prolífica producción de publicaciones en el país. Estos expertos son reconocidos investigadores en el ámbito del aprovechamiento de biorresiduos y también profesionales que han aplicado exitosamente tecnologías relacionadas. Su merecido reconocimiento se basa en su sólido conocimiento y amplia experiencia en el campo del aprovechamiento de los biorresiduos.

La escogencia con respecto a los integrantes de la comunidad a consultar, se realizó con aquellos que aceptaron evaluar la posibilidad de implementar al menos una de las tecnologías planteadas dentro de las tres alternativas, como se presenta al final de la siguiente sección (8.3.2) una vez se obtuvo la alternativa con mayor porcentaje de preferencia, como producto de la aplicación del método AHP.

El proceso de socialización con la comunidad también incluyó la explicación de los aspectos técnicos, como la ocupación de espacio, el tiempo de tratamiento, la generación de olores y los costos asociados, lo que permitió a los residentes tomar decisiones informadas. Además, se destacó la importancia de la separación en la fuente y la participación activa de la comunidad en la gestión de sus residuos, lo que no solo reduce la cantidad de desechos enviados a los rellenos sanitarios, sino que también promueve una cultura ambiental más consciente y responsable.

8.3.2 Aplicación del método AHP.

Tras examinar los documentos relacionados a las tecnologías de tratamiento de biorresiduos domésticos en viviendas unifamiliares y con condiciones similares a las de la ciudad de Cali, se procedió a generar un listado con los posibles criterios de selección, dentro del cual se contemplaron los siguientes; área requerida, tiempo de tratamiento, condiciones de operación, costos, generación de olores, aparición de vectores, capacidad de tratamiento, entre otros. El listado en mención, fue presentado a los expertos a través de una encuesta (**Anexos 1 y 2**) enviada mediante correo electrónico con el fin de ser evaluado por ellos, siendo dicho listado de criterios susceptible de modificaciones, tal como se presenta en la **Figura 19** a continuación.

Figura 19. Listado de criterios

1. ¿Considera usted que los siguientes criterios son los más relevantes para seleccionar una alternativa de tecnología para el tratamiento de biorresiduos, que apunten a un mayor potencial de aplicación en viviendas unifamiliares con acceso a patio, en la ciudad de Cali?

C1: Ocupación de espacio
C2: Dificultad operacional
C3: Tiempo de tratamiento
C4: Costos
C5: Generación de olores

☐ Sí
☐ No
☐ Otros: _____

Cabe destacar que, si bien se mencionaron por parte de los expertos aspectos como generación de lixiviados, aceptabilidad social y potencial uso y/o comercialización de los productos, se decidió catalogar la generación de olores en el marco de la aceptabilidad social, la generación de lixiviados dentro de los asuntos operacionales, y finalmente, en cuanto a una potencial comercialización de los productos, por ser una alternativa de tratamiento a pequeña escala de nivel domiciliario y no industrial, una posible comercialización se podría tomar como algo implícito en el tema de costos. El criterio de “Temperatura” no fue tenido en consideración, dado que se tiene como referencia la temperatura ambiente de la ciudad de Cali para el desarrollo de cada alternativa de tratamiento, y no la temperatura del proceso *per se*.

En cuanto a la ponderación de la importancia de cada criterio en relación con los demás, se realizó una comparación para obtener una evaluación que permitiera identificar los criterios más relevantes. Esto se llevó a cabo utilizando la escala de Saaty como método de referencia (ver **Figura 20**).

Figura 20. Jerarquización de criterios

3. La escala de Saaty permite establecer una valoración o ponderación correspondientes a los criterios, a partir de una comparación de cada criterio con respecto a los otros.

De acuerdo con la escala de Saaty (ver tabla), asigne un número entre 1 y 9 a cada casilla. Tenga en cuenta que el valor asignado se refiere a la importancia del criterio del numerador con respecto al criterio del denominador.

C1: Ocupación de espacio

C2: Dificultad operacional

C3: Tiempo de tratamiento

C4: Costos

C5: Generación de olores

Escala numérica	Escala verbal	Descripción
1	Igual importancia.	Los dos elementos contribuyen igualmente a la propiedad o criterio.
3	El elemento es moderadamente más importante respecto al otro.	El juicio y la experiencia previa favorecen a un elemento frente al otro.
5	El elemento es fuertemente más importante respecto al otro.	El juicio y la experiencia previa favorecen fuertemente a un elemento frente al otro.
7	La importancia del elemento es muy fuerte respecto al otro.	Un elemento domina fuertemente.
9	La importancia del elemento es extrema respecto al otro.	Un elemento domina al otro con el mayor orden de magnitud posible.
2, 4, 6, 8	Valores intermedios entre dos juicios adyacentes.	

Fuente: Adaptado de Mendoza et al., 2019.

Nota: Solo introducir valores en las casillas resaltadas en amarillo					
	C1	C2	C3	C4	C5
C1					
C2					
C3					
C4					
C5					

En cuanto a las posibles tecnologías disponibles para el tratamiento de biorresiduos, se expusieron las alternativas que surgieron como las más frecuentemente utilizadas a nivel domiciliario según la revisión bibliográfica realizada (compostaje y lombricompostaje). Se consultó a los expertos su opinión acerca de si consideraban estas opciones como las más prometedoras en términos de aplicabilidad, o si existía alguna otra propuesta que debiera tenerse en cuenta. Los resultados obtenidos de las respuestas de los expertos estuvieron en la misma dirección con lo obtenido a partir del análisis de la literatura revisada. Como tercera alternativa de aprovechamiento de biorresiduos se adicionaron las Pacas Digestoras, dado que esta tecnología, consiste en el prensado manual de los biorresiduos, que a su vez se encuentra organizado por capas de residuos de alimentos, de cocina y residuos de jardín (hojas secas y verdes, hierba, pasto) convirtiendo la materia orgánica en abono mediante un proceso de fermentación (Silva, 2018).

Después, siguiendo un procedimiento similar al realizado con los criterios y utilizando la escala de Saaty, se llevó a cabo la asignación de pesos a una

alternativa en relación con la otra, para cada uno de los criterios, tal como se muestra a continuación en la **Figura 21**.

Figura 21. Alternativas de tratamiento

6. La escala de Saaty permite establecer una valoración o ponderación correspondientes a las alternativas de tecnologías de tratamiento de biorresiduos, a partir de la comparación de una con respecto a la otra.

De acuerdo con la escala de Saaty (ver tabla), asigne un número entre 1 y 9 a cada casilla, teniendo en cuenta que el valor proporcionado se refiere a la importancia de la alternativa del numerador con respecto a la alternativa del denominador. Lo que se quiere evaluar es la importancia de una alternativa sobre la otra en relación a cada criterio.

A1: Compostaje
A2: Lombricompostaje
A3: Pacas Biodigestoras

C1: Ocupación de espacio
C2: Dificultad operacional
C3: Tiempo de tratamiento
C4: Costos
C5: Generación de olores

En relación al Criterio 1							
Opinión	A1/A2	A1/A3	A2/A3				
Experto				En relación al Criterio 4			
Opinión	A1/A2	A1/A3	A2/A3	Opinión	A1/A2	A1/A3	A2/A3
Experto				Experto			
En relación al Criterio 2							
Opinión	A1/A2	A1/A3	A2/A3				
Experto				En relación al Criterio 5			
Opinión	A1/A2	A1/A3	A2/A3	Opinión	A1/A2	A1/A3	A2/A3
Experto				Experto			
En relación al Criterio 3							
Opinión	A1/A2	A1/A3	A2/A3				
Experto							

Posteriormente, mediante la escala de Saaty se logró establecer la importancia de cada criterio en relación con los demás criterios, de acuerdo con la opinión proporcionada por los expertos, cuyas valoraciones se pueden observar en los anexos (ver **Anexo 6.1**), las cuales se obtuvieron a través de las preguntas indicadas en la sección anterior. Luego, se obtuvo el promedio entre todas las tasaciones aportadas por los expertos (ver **Figura 22**), así como también, se incluyó dentro del cálculo la valoración realizada por los autores con base en las fuentes bibliográficas.

Figura 22. Matriz de criterios resultante

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	1	5/8	1 1/8	1 3/5	4/5
C2	1 5/8	1	2	1	1/2
C3	8/9	1/2	1	4/5	1
C4	5/8	1	1 1/4	1	1 3/5
C5	1 1/4	1 6/7	1	5/8	1

Una vez formada la matriz de criterios (de orden $m=5$), se procedió a realizar las operaciones entre matrices correspondientes al método AHP, se iteró 3 veces hasta obtener el autovector principal (v) que después se multiplicó por la matriz inicial (M), donde λ representa el promedio de la operación $M \cdot v/v$, dejando como resultado un coeficiente de consistencia (CC) de 0,062, el cual es evidencia positiva de un juicio informado en tanto sea menor o igual a 0,100, como en el caso actual (ver **Figura 23**).

Figura 23. Matriz de criterios con autovector y coeficiente de consistencia

Matriz M						Vector	$M \cdot v$	$M \cdot v/v$	λ	Índice de consistencia (IC)	Índice aleatorio M de orden 3 (IA)	Coeficiente de consistencia CC = IC/IA
A1	A2	A3	A4	A5								
A1	1	5/8	1 1/8	1 3/5	4/5	0.248	1.308	5.28	5.2770	0.069	1.115	0.062
A2	1 5/8	1	2	1	1/2	0.284	1.497	5.28				
A3	8/9	1/2	1	4/5	1	0.198	1.047	5.28				
A4	5/8	1	1 1/4	1	1 3/5	0.270	1.425	5.28				
A5	1 1/4	1 6/7	1	5/8	1	0.284	1.498	5.28				

Es menor a 0.1 consistencia de M.

De manera semejante, se desarrolló la matriz de alternativas a partir del promedio entre todas las opiniones (incluyendo la de los expertos y la de los autores), obteniéndose una matriz para cada uno de los cinco criterios, tal como se puede apreciar en la **Figura 24**.

Figura 24. Matriz de alternativas con autovector por cada criterio

C1. Ocupación de espacio								Índice de consistencia (IC)	Índice aleatorio M de orden 3 (IA)	Coeficiente de consistencia CC = IC/IA
Matriz C1				Vector	$M \cdot v$	$M \cdot v/v$	λ			
A1	A2	A3								
A1	1	1 3/7	1 5/9	0.416	1.2768	3.0682	3.068	0.034	0.580	0.059
A2	2/3	1	2 1/3	0.376	1.1549	3.0682				
A3	2/3	3/7	1	0.207	0.6365	3.0682				

Es menor a 0.1 consistencia de M.

C2. Dificultad operacional								Índice de consistencia (IC)	Índice aleatorio M de orden 3 (IA)	Coeficiente de consistencia CC = IC/IA
Matriz C2				Vector	$M \cdot v$	$M \cdot v/v$	λ			
A1	A2	A3								
A1	1	2/7	1 1/4	0.196	0.589	3.0019	3.0019	0.001	0.580	0.002
A2	3 2/5	1	3 3/4	0.640	1.922	3.0019				
A3	4/5	1/4	1	0.163	0.491	3.0019				

Es menor a 0.1 consistencia de M.

C3. Tiempo de tratamiento								λ	Índice de consistencia (IC)	Índice aleatorio M de orden 3 (IA)	Coeficiente de consistencia CC = IC/IA
Matriz C3			Vector		M*v	M*v/v					
	A1	A2	A3								
A1	1	1/3	3/4/7 *	0.274	=	0.841	3.0661	3.066	0.033	0.580	0.057
A2	3	1	4/7/8	0.626		1.921	3.0661				
A3	2/7	1/5	1	0.099		0.305	3.0661				
Es menor a 0.1 consistencia de M.											

C4. Costos								λ	Índice de consistencia (IC)	Índice aleatorio M de orden 3 (IA)	Coeficiente de consistencia CC = IC/IA
Matriz C4			Vector		M*v	M*v/v					
	A1	A2	A3								
A1	1	3 1/9	2	0.560	=	1.725	3.0821	3.081	0.040	0.580	0.070
A2	1/3	1	1 4/7 *	0.239		0.736	3.0804				
A3	1/2	5/8	1	0.201		0.620	3.0803				
Es menor a 0.1 consistencia de M.											

C5. Generación de olores								λ	Índice de consistencia (IC)	Índice aleatorio M de orden 3 (IA)	Coeficiente de consistencia CC = IC/IA
Matriz C5			Vector		M*v	M*v/v					
	A1	A2	A3								
A1	1	1	2/7/9 *	0.411	=	1.234	3.0010	3.0010	0.000	0.580	0.001
A2	1	1	2/3/4	0.436		1.308	3.0010				
A3	1/3	1/3	1	0.153		0.459	3.0010				
Es menor a 0.1 consistencia de M.											

En cuanto a la calificación entre las alternativas (A1: Compostaje, A2: Lombricompostaje y A3: Pacas Digestoras) al referirse a cada uno de los criterios, es de recalcar que conforme el número era más alto en la escala de 1 a 9, mayor aceptación se le atribuyó a una alternativa con respecto a la otra. Por ejemplo, en cuanto al criterio 2 (C2. Dificultad operacional) el promedio entre las distintas valoraciones logró reflejar la superioridad de la alternativa A3 con respecto a A1 y A2, puesto que, al tener un valor más alto, esto se traduce en mayor aceptación, y de allí se puede deducir que A3 tiene una dificultad operacional menor en relación con A2 y A1. Lo anterior podría explicarse teniendo en cuenta que las Pacas Digestoras pueden llegar a ser un proceso menos laborioso que el lombricompostaje, y este a su vez presenta una menor dificultad de operación con respecto al compostaje, dado que la actividad de las lombrices ayuda a fragmentar, mezclar y airear los residuos biológicamente degradables.

Análogamente sucedió con los demás criterios; C1. Ocupación de espacio; C3. Tiempo de tratamiento; C4. Costos; C5. Generación de olores; a medida que la valoración fue más elevada, así mismo se tomó que el nivel de aceptación de una alternativa era superior con respecto a la otra.

- Si el coeficiente de consistencia (CC) = 0 la matriz es consistente.
- Si $CC \leq 0,10$ la matriz tiene una inconsistencia admisible, por lo que se considera admisible.
- Si $CC > 0,10$ la inconsistencia es inadmisble, por lo que se aconseja revisar.

De acuerdo con la **Figura 25**, la alternativa de lombricompostaje (A2) presenta un porcentaje de preferencia del 59%, mientras que la alternativa de compostaje alcanzó un 48% (A1), por su parte, la alternativa de las pacas digestoras (A3) obtuvo un porcentaje de preferencia del 22%. Si bien los porcentajes de preferencia de las alternativas A1 y A2 son relativamente similares, se evidencia que el lombricompostaje se puede ajustar más adecuadamente como una alternativa de tratamiento de biorresiduos a nivel de viviendas unifamiliares del barrio La Selva de la ciudad de Santiago de Cali.

Es de mencionar que la alternativa de las Pacas Digestoras se presenta también como una opción con gran viabilidad de aplicación, sin embargo, no se observa mucha información de casos de aplicación en viviendas unifamiliares, por lo que termino cediendo ventaja frente a las otras alternativas tecnológicas al contrastarla con los algunos de los criterios aplicados.

Matriz Alternativas (<i>M</i>)						Autovector Criterios
	C1	C2	C3	C4	C5	
A1	0.416	0.196	0.274	0.560	0.411	0.2479
A2	0.376	0.640	0.626	0.239	0.436	0.2836
A3	0.207	0.163	0.099	0.201	0.153	* 0.1984
						0.2701
						0.2838

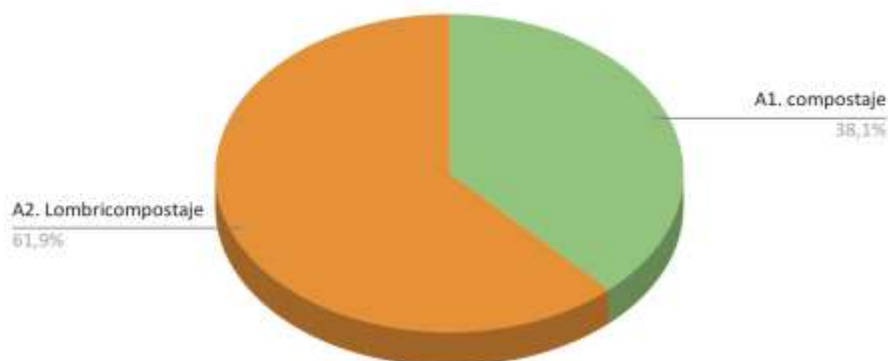
A1	A2	A3
48%	59%	22%

64

usuarios, frente a un 38,1% para A1 (Compostaje), como se observa en la **Figura 26**:

Figura 26. Resultados de la encuesta realizada a la comunidad

Alternativas con potencial de implementación en el barrio La Selva



Al momento de presentar los resultados a la comunidad se estructuró una socialización, de manera tal que, al interactuar con los diferentes integrantes de la comunidad, se lograra abordar la misma información, pasando de; mencionar los aspectos favorables y desfavorables de la posible aplicación de ambas alternativas de tratamiento (A1 y A2) en este contexto; a presentar los resultados producto de la aplicación del método AHP donde la preferencia se obtuvo para A2 con un 59%; para finalmente, realizar la consulta acerca de su disposición en cuanto a una posible implementación de dicha alternativa de tratamiento de biorresiduos en su propio hogar.

Teniendo en cuenta la preferencia obtenida en el desarrollo del actual trabajo de grado en relación con la alternativa A2 (Lombricompostaje), a continuación, se realiza una descripción en cuanto a diseño, operación y mantenimiento, para una potencial implementación de la alternativa de tratamiento de biorresiduos seleccionada, en el contexto de viviendas unifamiliares del barrio La Selva de la ciudad de Santiago de Cali.

Diseño: Una lombricompostera compuesta por cuatro recipientes (baldes, canecas, canastillas) de entre 12-15 litros c/u, apilados verticalmente como se observa en la **Figura 27**, permitiendo optimizar el espacio disponible en las viviendas, podría procesar entre 3 y 5 kg de biorresiduos a la semana, dependiendo de la cantidad de lombrices y el tamaño de los biorresiduos a introducir. Lo recomendado es emplear 20 kg semilla de lombriz por m², o 175 g de lombriz pura por cada kg de lombriz más sustrato, tal como mencionan Gómez y Baquero (2008). Se deben realizar perforaciones sobre los 3 recipientes más elevados, de manera tal que se permita el desplazamiento de las lombrices entre estos. El recipiente en contacto con la superficie del suelo hará las veces de bandeja para almacenar el lixiviado, por lo que no debe tener perforaciones, además, es muy importante tener una pequeña inclinación sobre la estructura

para permitir un drenado más fácil del lixiviado y que este no termine afectando el proceso de las lombrices.

Operación: Las lombrices pueden alimentarse de restos de frutas, vegetales, cáscaras de huevo, papel y cartón sin tinta, poda de jardín, en general, cualquier residuo biológicamente degradable resulta apropiado, en tanto no haya pasado por un proceso de cocción. Los biorresiduos deben adicionarse semanalmente en pequeñas cantidades y, si es posible, previamente triturados entre 0,03-0,05 m para facilitar el proceso de descomposición. La lombricompostera debe ubicarse en un espacio ventilado y con protección directa de la luz solar para asegurar la salud de las lombrices.

Mantenimiento: Se requiere monitorear la humedad y temperatura del sistema cada dos semanas. Es importante evitar el exceso de humedad y la acumulación de alimentos no consumidos por las lombrices, así como realizar una cosecha de lombricompost alrededor de 2,5 a 3 meses para mantener el equilibrio del sistema y maximizar su capacidad. En caso de alguna anomalía, se recomienda revisar la sección 8.2.1. donde el ETEA (2018), proporciona algunas recomendaciones para solucionar situaciones que se puedan presentar al emplear una lombricompostera.

Figura 27. Conformación de lombricompostera vertical con 4 recipientes



Fuente: OpenIA, 2024.

Así las cosas, la alternativa de tratamiento de biorresiduos seleccionada; A2 (Lombricompostaje), presenta una viabilidad importante en cuanto a la implementación en el barrio La Selva, dado que cumple con los diferentes aspectos planteados en el desarrollo de este trabajo de grado; a nivel económico con un diseño sencillo y apropiado para una familia de alrededor de 4 integrantes y con posibilidad de reutilización de recipientes en casa; a nivel ambiental puesto que cumple el tratamiento biológico de residuos disminuyendo la carga potencial sobre vertederos; con poca ocupación de espacio; control en la generación de olores; facilidad en el mantenimiento; tiempo de tratamiento no muy extenso (2,5-3,0 meses). Cabe resaltar que existen algunas ofertas a nivel comercial donde se ofrecen lombricomposteras con un diseño similar, empleando entre 3 a 4

compartimentos apilados uno sobre otro, como ejemplo, es posible mencionar el vivero online “Sembramos”, el cual proporciona ofertas comerciales en cuanto a lombrices desde \$24.000 (COP), así como también estructuras de lombricultivo alrededor de \$420.000 (COP), las cuales incluyen pío de cría para el arranque del sistema, tal como se observa en la **Figura 28**.

Figura 28. Lombricompostera vertical comercial de 48 L.



Fuente: Sembramos, Sf.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- En este estudio se evaluaron 13 experiencias de tratamiento de biorresiduos residenciales en países de ingresos medios. Los hallazgos indican que el 46% de los casos emplean compostaje, el 15% lombricompostaje, otro 15% corresponde a una combinación de estas dos alternativas, y finalmente, el 24% restante, se trata de Pacas Digestoras. Esto indica que, el compostaje es una de las tecnologías más utilizadas para disminuir la cantidad de biorresiduos en vertederos y reducir su impacto en el medio ambiente. No obstante, con base en la opinión de expertos y el análisis de las experiencias de tratamiento consultadas, a partir de los resultados obtenidos mediante el uso del método AHP como herramienta de análisis multicriterio, es posible concluir que si bien las dos alternativas de tratamiento de biorresiduos con mayor porcentaje de preferencia; compostaje (48%) y lombricompostaje (59%), evidencian buenas posibilidades de aplicarse en el contexto de estudio, es el lombricompostaje la alternativa que mayor potencial de implementación refleja a nivel de viviendas unifamiliares del barrio La Selva de la ciudad de Santiago de Cali, teniendo en cuenta que si bien en cuanto a ocupación de espacio y generación de olores presenta un comportamiento similar al compostaje, y a pesar de que los costos que representa su implementación puede ser un poco mayor debido a la adquisición de las lombrices, su mayor ventaja radica en que dicha estrategia de tratamiento requiere de un lapso de tiempo inferior para alcanzar la madurez con respecto al compostaje *per se*, y además, el lombricompostaje puede implicar una mayor facilidad operacional por cuenta de la acción conjunta de lombrices y microorganismos en el proceso de degradación biológica de los residuos, así como un buen control de olores durante el proceso.
- De los casos de estudio abordados en la bibliografía consultada, es factible resaltar que el aislamiento térmico logra mantener las condiciones internas del sistema dentro del dispositivo, incluso en presencia de eventos climáticos y condiciones ambientales desfavorables en la zona.
- La revisión bibliográfica y el análisis de casos de estudio en regiones con características similares al contexto planteado en este trabajo de grado, permitieron identificar las principales alternativas tecnológicas: compostaje, lombricompostaje y pacas biodigestoras. Entre estas, el compostaje y el lombricompostaje fueron las más destacadas por su eficiencia en el tratamiento de biorresiduos y su capacidad de adaptación a condiciones domiciliarias. El análisis comparativo mostró que, aunque la digestión anaerobia es una tecnología con potencial de generación de biogás, presenta mayores requerimientos técnicos que pueden limitar su aplicabilidad a nivel domiciliario. De otro lado, Si bien las Pacas Digestoras han mostrado muy buenos resultados al aplicarse en casos de estudio más orientados al aspecto de la colaboración comunitaria, no dejan de ser una opción muy atractiva con potencial de amplia aplicación a nivel de viviendas debido a que se reconoce como una alternativa

sencilla, económico, distinta a los rectores convencionales con infraestructura más compleja y/o costosa con requerimiento de mayores sistemas de control.

- El vínculo con la comunidad fue fundamental para asegurar la viabilidad y aceptación de las alternativas propuestas, alineándose con los objetivos de promover una gestión integral de residuos sólidos y fomentar prácticas sostenibles en el barrio La Selva. La experiencia demostró que la educación ambiental y la participación ciudadana son elementos clave para el éxito de iniciativas que buscan transformar los patrones de consumo y manejo de residuos en entornos urbanos, al tiempo que se generan oportunidades económicas a través de la valorización de los biorresiduos.
- Es imprescindible establecer una coordinación eficiente entre las entidades gubernamentales de la ciudad de Cali con el objetivo de aplicarlos en la concepción y ejecución de un proyecto global para el tratamiento de los biorresiduos generados en los hogares en diferentes períodos (corto, mediano y largo plazo). Dicho proyecto debe dirigirse hacia las empresas que prestan el servicio de gestión de residuos, de manera tal que en su contrato con el municipio se pueda privilegiar la transformación, aprovechamiento y/o recuperación de residuos, a fin de lograr un aprovechamiento significativo respecto del total de biorresiduos generados por los habitantes de la ciudad.
- Se recomienda continuar con la investigación práctica, considerando los recipientes adecuados para la ciudad de Cali, así como campañas de fomento y promoción social acerca de las alternativas de tratamiento de los biorresiduos a nivel domiciliario, con el objetivo de mejorar la eficiencia en el manejo y la gestión de estos.

10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agencia UNAL. (2017). *Volteador artesanal optimiza producción de bocashi*. Recuperado de: <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/volteador-artesanal-optimiza-produccion-de-bocashi>.
- Álvarez, J.; Gómez, C.; Herrera, F. & Echavarría, M. (2013). *Rediseño y optimización de un dispositivo de compostaje a pequeña escala para ser utilizado en proyectos de agricultura urbana*. Universidad Manuela Beltrán. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5085351>.
- Ruthe.pavonc (2022). *Relación Carbono-Nitrógeno*. Ruthe.pavonc@gmail.com, Ambientum. Recuperado de: https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/suelos/relacion_carbono_nitrogeno.asp.
- Arenas-Guayazan, B. (2019). *Propuesta para el diseño de un biodigestor anaerobio como sistema de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, generados en las viviendas del proyecto “La Villa Solar” ubicado en la ciudad de Buenaventura - Colombia*. Universidad de La Salle. Recuperado de: https://bibliotecadigital.oducal.com/Record/ir-ing_ambiental_sanitaria-2123/Details.
- Armenta-Rivas, M. E.; Sierra-Camargo, L. D.; Vélez-Pereira, A. M. (2017). *Modelación de la producción de metano en el Relleno Sanitario Parque Ambiental Palangana (Santa Marta)*. Ingeniería, investigación y tecnología, 18(2), 183-192. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-77432017000200183&lng=es&tlng=es.
- Banco Mundial. (2022). *The world by income*. Recuperado de : <https://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/the-world-by-income-and-region.html>.
- Baquero, V. (2019). *Aprovechamiento de Residuos Orgánicos Residenciales para la generación de abono en Bogotá*. Universidad de América. Recuperado de; <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7254/1/811710-2019-I-GA.pdf>.
- Barrena, R & Sanchez, A. (2022). *Compostaje casero: una revisión de los avances científicos*. Recuperado de: <https://doi.org/10.3390/ECP2022-12625>
- Biohbacsas (2020). *Compostaje eficiente de calidad*. Recuperado de: <http://www.biohbacsas.com/compostaje-eficiente-de-calidad/>.
- Camargo, Y. & Vélez, A. (2009). *Emisiones de biogás producidas en rellenos sanitarios*. Grupo de Investigación en Modelación de Sistemas Ambientales-GIMSA. Instituto de Investigaciones Tropicales -INTROPIC, Laboratorio No. 7. Universidad del Magdalena. Red de Ingeniería en Saneamiento Ambiental -REDISA. Santa Marta, Colombia. Recuperado de: <http://www.redisa.net/doc/artSim2009/TratamientoYValorizacion/Emisiones%20de%20biog%C3%A1s%20producidas%20en%20rellenos%20sanitarios.pdf>.
- Céspedes, C. (2021). *Elaboración y uso del lombricompost o vermicompost*. Portalfruticola. Recuperado de: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2021/02/11/elaboracion-y-uso-del->

- [lombricompost-o-vermicompost/](#).
- CEPAL. (2016). *Guía general para gestión de residuos sólidos domiciliarios*. Recuperado de: <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/a5f80abc-8063-4e19-b871-e954f1db5bf6/content>.
 - Christensen, T. H. (2010). *Solid Waste Technology & Management*. Volumen 1 & 2 (ed. Thomas H. Christensen). Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 20 p. doi: <https://doi.org/10.1002/9780470666883>.
 - Corpoboyacá (2023). *Alternativa para aprovechamiento de Residuos Orgánicos Húmedos*. Paca Digestora Silva. Recuperado de: <https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2023/06/Cartilla-pacas-digestoras-Silva.pdf>.
 - Correa, L. M.; Álvarez, G. A; Matos, Y. (2021). *Rellenos sanitarios en Colombia ¿una solución o un problema?* Universidad CES. Recuperado de: <https://repository.ces.edu.co/bitstream/handle/10946/5359/Articulo%20de%20revision-%20rellenos%20sanitarios%20%281%29.pdf?sequence=7&isAllowed=y>.
 - Cotrina, G; Taype, O; Ore, F. (2020). *Manejo integral de residuos sólidos para minimizar la contaminación del ambiente en el distrito de Panao, Huánuco, Perú*. Recuperado de: <https://doi.org/10.11144/Javeriana.ayd24-46.mirs>
 - DAPM - Departamento Administrativo de Planeación Municipal (2015). *Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) 2015-2027*. Subdirección POT y Servicios Públicos, Alcaldía de Santiago de Cali. Recuperado de: https://www.cali.gov.co/planeacion/publicaciones/32970/plan_de_gestin_integral_de_residuos_slidos_pgirs/.
 - DAPM - Departamento Administrativo de Planeación Municipal (2023). *“Cali en Cifras 2023”*. Subdirección POT y Servicios Públicos, Alcaldía de Santiago de Cali. Recuperado de: <https://www.cali.gov.co/planeacion/publicaciones/137803/documentos-cali-en-cifras/>.
 - DNP - Departamento Nacional de Planeación (2016a). *CONPES 3874 Consejo Nacional de Política Económica y Social República de Colombia*. Recuperado de: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf>.
 - DNP - Departamento Nacional de Planeación (2016b). *Pérdida y desperdicio de alimentos en Colombia*. Recuperado de: https://mrv.dnp.gov.co/Documentos%20de%20Interes/Perdida_y_Desperdicio_de_Alimentos_en_colombia.pdf.
 - ETEA - Equipo Técnico de Educación Ambiental (2018). *Manual de vermicompostaje: Cómo reciclar nuestros residuos orgánicos*. Departamento de Desarrollo Ambiental de la Intendencia de Montevideo (IM). Recuperado de: <https://udelar.edu.uy/retema/wp-content/uploads/sites/30/2018/09/imvermicompostajeinterior.pdf>.
 - Espinosa, R; Ossa, L. (2017). *Experiencia didáctica con las pacas biodigestoras en entornos educativos del estado de México*. Recuperado de:

https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/21632/1/OssaLaura_2017_ExperienciaDidacticaPacasBiodigestoras.pdf.

- Espitia, J; Espitia, M; Niño, Y. (2020). Diagnóstico del Manejo Integral de Residuos Sólidos en el Conjunto Residencial Los Fundadores en la ciudad de Cali, en el año 2019. Recuperado de: <https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/33399/3/jfespitiaa.pdf>.
- EC - European Commission (2008). *Green Paper on the management of biowaste in the European Union*. Commission of the European Communities. Recuperado de: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/b2341160-6612-4d97-a147-93308c9c8f5e/language-en>.
- Fernández, G. (2020). ¿Cuál es el mejor método de compostaje? composteras vs takakura vs Bokashi vs lombricompost o pilas?. 360 Soluciones verdes. Recuperado de: <https://www.360-sv.com/blog/tipos-de-compostaje>.
- Food and Agriculture Organization -FAO- (2012). *Pérdidas y desperdicio de alimentos en el mundo – Alcance, causas y prevención*. Roma (online). Recuperado de: <http://www.fao.org/3/i2697s/i2697s00.htm>.
- Food and Agriculture Organization -FAO- (2013). Manual de Compostaje del Agricultor Experiencias en América Latina. Recuperado de: <https://www.fao.org/3/i3388s/i3388S.pdf>.
- Fundación para la Innovación Agraria (2013). *Humus de Lombriz o Vermicompost*. Recuperado de: <http://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/146445/4%20VERMICOMPOST.pdf?sequence=7&isAllowed=y#:~:text=Otra%20forma%20de%20cosechar%20es,trampas%20E%20%80%9D%20o%20mallas%20de%20capitura>.
- Gómez B., G. & Baquero M., C. (2008). *Lombricultura alternativa sostenible y competitiva para fertilización de cítricos*. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12324/11458>.
- Hezieko (Sf). *Humus de Lombriz*. Recuperado de: <http://www.hezieko.com/es/productos.asp?m=3>.
- Hoornweg, D. & Bhada-Tata, P. (2012). *What a waste: A global review of solid waste management*. Washington DC, Estados Unidos, Urban Development Series Knowledge Papers No. 15. The World Bank, 98 p.
- Kaza, S.; Yao, L. C.; Bhada-Tata, P.; Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Urban Development; Washington, DC: World Bank. © World Bank License: CC BY 3.0 IGO. doi: <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0>.
- Konijnenburg, A. (2007). *Agricultura Orgánica El compost. Estación Experimental Agropecuaria Valle Inferior del Río Negro*. Recuperado de: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_material_didactico_nro_05.pdf.
- Lleó, T.; Albacete, E.; Barrena, R.; Font, X.; Artola, A.; Sánchez, A. (2013). *Home and vermicomposting as sustainable options for biowaste management*. Journal of Cleaner Production, Volume 47, 70-76 p., ISSN 0959-6526. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.08.011>.
- Manyoma V., P. C. (s.f.). *Contenido programático de la asignatura análisis multicriterio en ingeniería*. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería

- Industrial, Universidad del Valle. Recuperado de: http://industrial.univalle.edu.co/images/programas_academicos/posgrado/maestria/760061-Analisis-Multicriterio.pdf.
- Manzi, V. (2023). *Desafíos de la valorización de biorresiduos residenciales en las grandes ciudades colombianas*. Recuperado de: https://www.udca.edu.co/wp-content/uploads/2023/05/desafios-de-la-valorizacion-biorresiduos_sent_V1.pdf.
 - Mathur, S. P.; Danel, H.; Owen G.; Schnitzer, M.; Dugan, J. (1993). *Determination of compost biomaturity*. I. Literature review. Biol. Agric. and Hort., 10:65-85 p.
 - Mendoza, A.; Solano, C.; Palencia, D.; García, D. (2019). *Aplicación del proceso de jerarquía analítica (AHP) para la toma de decisión con juicios de expertos*. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 27(3), 348-360 p. doi: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052019000300348>.
 - Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2016). *En cuenta regresiva para limpiar Colombia*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República de Colombia. Recuperado de: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias-minambiente/2512-en-cuenta-regresiva-para-limpiar-colombia>.
 - Minvivienda - Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (2020). *Decreto 1077 de 2015*. Recuperado de: <https://minvivienda.gov.co/sites/default/files/normativa/1077%20-%202015.pdf>.
 - Muñoz, L. (2020). *Propuesta de Aprovechamiento Integral de los Residuos Orgánicos Provenientes del Conjunto Residencial La Colina*. Fundación Universidad de América. Recuperado de: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7791/1/6112697-2020-1-IQ.pdf>.
 - OpenAI. (2024). ChatGPT (versión del 10 de octubre) [Modelo de lenguaje de gran tamaño]. <https://chat.openai.com/chat>.
 - Ospina, L. (2019). *Formulación de Alternativas Para Mejorar la Gestión de Residuos Sólidos Domiciliarios Generados en el Conjunto Residencial Multifamiliares El Samán*. Recuperado de: <https://bibliotecadigital.univalle.edu.co/server/api/core/bitstreams/89ab731b-dd40-41cb-8f7c-58d806b643f8/content>.
 - Oviedo-Ocaña, E.; Marmolejo-Rebellón, L.F.; Torres-Lozada, P. (2012). *Perspectivas de aplicación del compostaje de biorresiduos provenientes de Residuos Sólidos Municipales. Un enfoque desde lo global a lo local*. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=75025069006>.
 - Oviedo-Ocaña, E.; Marmolejo-Rebellón, L.F.; Torres-Lozada, P. (2013). *Influencia de la Frecuencia de Volteo para el Control de la Humedad de los Sustratos en el Compostaje de Biorresiduos de Origen Municipal*. Recuperado de: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v30n1/v30n1a8.pdf>.
 - Oviedo-Ocaña, E.; Marmolejo-Rebellón, L.F.; Torres-Lozada, P. (2017) *Avances en investigación sobre el compostaje de biorresiduos en municipios menores de países en desarrollo. Lecciones desde Colombia*. Ingeniería Investigación y Tecnología, volumen XVIII (número 1), 31-42 p. doi: [10.22201/fi.25940732e.2017.18n1.003](https://doi.org/10.22201/fi.25940732e.2017.18n1.003).

- Parancan, J.; Salinas, C.; Leon, M.; Ignacia, M. (2018). *Manual de compostaje para zonas frías*. Universidad de Magallanes y Ministerio de Medio Ambiente: Recuperado de: <https://educacion.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2020/03/Manual-de-Compostaje.pdf>.
- Perdomo, E. (2022). *Pacas Digestoras Silva estrategia para aprovechar los residuos orgánicos*. Alcaldía de Santiago de Cali. Recuperado de: <https://www.cali.gov.co/dagma/publicaciones/166568/pacas-digestoras-silva-estrategia-para-aprovechar-los-residuos-organicos/>.
- Rendón, L. I. (2017). *Formulación de opciones tecnológicas de gestión de biorresiduos residenciales en grandes centros urbanos*. Tesis de pregrado, Universidad Autónoma de Occidente. Cali, Colombia. Recuperado de: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/9457/T07129.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Rivera, S. (2018). *Evaluación de modelos de composteras domiciliarias y métodos de compostaje, para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en la ciudad de Chiquimula, Guatemala, 2018*. Universidad de San Carlos de Guatemala (USAC). Recuperado de: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/13217>.
- Rostagno, M. (2015). *Máquina volteadora para la elaboración de fertilizante orgánico a través de guano de gallina*. Recuperado de: <https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/4300/PI%20-%20Rostagno%20Marianela.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Salazar, V. H. (2018). *Sobrepoblación y consumismo, principales retos para un desarrollo regional sustentable*. In: Impacto socio-ambiental, territorios sostenibles y desarrollo regional desde el turismo. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C, Coeditores, México. ISBN UNAM: 978-607-30-0971-3. Recuperado de: <http://ru.iiec.unam.mx/4272/>.
- SDTBS - Secretaría de Desarrollo Territorial y Bienestar Social. (2019). *Informe Diagnóstico Junta de Acción Comunal La Selva, Comuna 10, Plan Estratégico de Desarrollo Comunal y Comunitario (PEDCC)*. Alcaldía de Santiago de Cali. Recuperado de: <https://surl.li/svggcz>.
- Sembramos (Sf). *Lombricultura Urbana*. Recuperado de: <https://sembramos.com.co/productos-de-lombricultura.html>.
- Silva, G. (2018). *¿Qué es la paca digestora silva? Un Reciclaje Orgánico Limpio y Saludable*. Revista TECSISTECATL, 10(23). Recuperado de: <https://www.eumed.net/rev/tecsistecat/n23/paca-digestora-silva.html>.
- Silva, J. P. (2021). *Estructura Propuesta de Trabajo de Grado. Curso Seminario de Investigación ISA*. Universidad del Valle. Cali, Colombia. Recuperado de: https://docs.google.com/document/d/1JqSOW_FvXv0hcw0xyd4T354HZRs_zf_LzGdAwYRZGJ8/edit.
- Silva, G. (2012). *Manejo Limpio y Sano de Residuos Biodegradables en Pacas Digestoras Silva*. Recuperado de: https://www.academia.edu/34067428/Paca_Digestora_Silva.
- Smith, N. (2019). *US tops list of countries fuelling the waste crisis*. Waste Generation and Recycling Indices 2019 Report. Verisk Maplecroft Organization. Recuperado de:

<https://www.maplecroft.com/insights/analysis/us-tops-list-of-countries-fuelling-the-mounting-waste-crisis/>.

- Soto-Paz, J.; Oviedo-Ocaña, R.; Torres Lozada, P.; Marmolejo Rebellón, L.F.; Manyoma Velásquez, C. (2017). *Compostaje de biorresiduos: Tendencias de investigación y pertinencia en países en desarrollo* DYNA, 84(203), 334-342 p. Diciembre, 2017. Recuperado de: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532017000400334&lng=es&nrm=iso&tlng=es.
- SSPD - Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios- (2019). *Informe Nacional de Disposición Final de Residuos Sólidos – 2018*. Recuperado de: https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/informe_nacional_disposicion_final_2019.pdf.
- SSPD - Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios- (2023). *Informe Nacional de Disposición Final de Residuos Sólidos – 2021*. Recuperado de: <https://www.superservicios.gov.co/sites/default/files/inline-files/Informe-Nacional-de-Disposicion-Final-de-Residuos-Solidos.pdf.pdf>.
- Torres, L. & Calderón, C. (2021). *Manual para el desarrollo de huertas urbanas con compostaje casero para conjuntos residenciales en Bogotá*. Recuperado de: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/1932.
- UAESP -Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos- (2019). *Caracterización de residuos sólidos domiciliarios en el área urbana y rural de Santiago de Cali*. Alcaldía de Santiago de Cali, Fundación SANING O.N.G. Recuperado de: <https://www.cali.gov.co/serviciospublicos/publicaciones/138699/gestion-de-residuos-solidos---aprovechamiento/>.
- UAESP - Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos- (2015). *Guía Técnica Para el Aprovechamiento de Residuos Orgánicos a Través de Metodologías de Compostaje y Lombricultura*. Recuperado de: https://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf.
- UNEP - United Nations Environment Programme- (2011). *Near-term climate protection and clean air benefits: Actions for controlling short-lived climate forcers*. Recuperado de: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/8048>.
- Vargas, R. (2010). *Vermicompostaje en el Reciclado de Residuos Agroindustriales*. Recuperado de <http://www.secsuelo.org/wp-content/uploads/2015/06/4.-Rogelio-Nogales.-Vermicompostaje.pdf>.
- Vera-Carrasco, O. (2009). *Cómo escribir artículos de revisión*. Revista Médica La Paz, 15(1), 63-69. Recuperado de: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-89582009000100010&lng=es&tlng=es.
- Vermican. (2012). *Manual de Vermicompostaje*. Recuperado de : <https://www3.gobiernodecanarias.org/medusa/campus/doc/htmls/sostenibilidad/ManualVermicompostaje.pdf>.
- Villegas-Cornelio, V. & Laines-Canepa, J. (2017). *Vermicompostaje: I avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos*. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 8(2), 393-406. doi: 10.29312/remexca.v8i2.59. Recuperado de:

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342017000200393.

- Weatherspark (2023). *El tiempo durante todo el año en cualquier lugar del mundo*. Recuperado (04/2024), de: <https://es.weatherspark.com/y/72187/Clima-promedio-en-Pesaro-Italia-durante-todo-el-a%C3%B1o>.
- World Bank (2021). *World Bank Country and Lending Groups*. World Bank Data. Recuperado de: <https://datahelpdesk.worldbank.org/knowledgebase/articles/906519>.

11. ANEXOS

Preguntas que se pretenden dirigir a los expertos a fin de conocer su opinión sobre los criterios y las alternativas, además de la valoración que estiman acerca de un elemento con respecto a otro.

Anexo 1. Preguntas referentes a criterios de selección.

Pregunta 1. ¿Considera usted que los siguientes criterios son los más relevantes para seleccionar una alternativa de tecnología para el tratamiento de biorresiduos, que apunten a un mayor potencial de aplicación en viviendas unifamiliares con acceso a patio, en la ciudad de Cali?

C1: Ocupación de espacio
C2: Dificultad operacional
C3: Tiempo de tratamiento
C4: Costos
C5: Generación de olores

SI

NO

Otro ¿Cuál?

Pregunta 2. Asigne un valor a cada criterio de acuerdo con aquel que usted considere más importante para el tratamiento de biorresiduos en viviendas unifamiliares con acceso a patio en la ciudad de Cali. Asigne 1 a la opción más importante y 5 a la menos importante.

C1: Ocupación de espacio
C2: Dificultad operacional
C3: Tiempo de tratamiento
C4: Costos
C5: Generación de olores

Pregunta 3. La escala de Saaty permite establecer una valoración o ponderación correspondientes a los criterios, a partir de una comparación de cada criterio con respecto a los otros.

De acuerdo con la escala de Saaty (ver Tabla 1), asigne un número entre 1 y 9 a cada casilla. Tenga en cuenta que el valor asignado se refiere a la importancia del criterio del numerador con respecto al criterio del denominador.

C1: Ocupación de espacio

C2: Dificultad operacional

C3: Tiempo de tratamiento

C4: Costos

C5: Generación de olores

Tabla 14. Valoración experta acerca de un criterio respecto de otro.

Criterios	C1/ C2	C1/ C3	C1/ C4	C1/ C5	C2/ C3	C2/ C4	C2/ C5	C3/ C4	C3/ C5	C4/ C5	C2/ C1	C3/ C1	C4/ C1	C5/ C1	C3/ C2	C4/ C2	C5/ C2	C4/ C3	C5/ C3	C5/ C4
Opinión																				

Anexo 2. Preguntas referentes a alternativas tecnológicas de tratamiento.

Pregunta 4. ¿Considera usted que A1 y A2, son las alternativas tecnológicas para el tratamiento de biorresiduos con mayor potencial de aplicación en viviendas unifamiliares con acceso a patio de la ciudad de Cali?

A1: Compostaje

A2: Lombricompostaje

A3: Paca Digestora

SI

NO

Otro ¿Cuál?

Pregunta 5. Asigne un valor a cada alternativa tecnológica de acuerdo con aquella que usted considere más importante para el tratamiento de biorresiduos en viviendas unifamiliares con acceso a patio en la ciudad de Cali. Asigne el valor 1 a la opción más importante y el valor 2 a la menos importante.

A1: Compostaje

A2: Lombricompostaje

A3: Paca Digestora

Pregunta 6. La escala de Saaty permite establecer una valoración o ponderación correspondientes a las alternativas de tecnologías de tratamiento de biorresiduos, a partir de la comparación de una con respecto a la otra.

De acuerdo con la escala de Saaty (ver Tabla 1), asigne un número entre 1 y 9 a cada casilla, teniendo en cuenta que el valor proporcionado se refiere a la importancia de la alternativa del numerador con respecto a la alternativa del denominador.

A1: Compostaje

A2: Lombricompostaje

A3: Paca Digestora

Tabla 15. Valoración experta acerca de una alternativa respecto de otra, para cada criterio.

En relación al criterio 1								
Opinión	A1/A2	A1/A3	A2/A3					
Experto					En relación al criterio 4			
					Opinión	A1/A2	A1/A3	A2/A3
En relación al criterio 2					Experto			
Opinión	A1/A2	A1/A3	A2/A3					
Experto								
					En relación al criterio 5			
En relación al criterio 3					Opinión	A1/A2	A1/A3	A2/A3
Opinión	A1/A2	A1/A3	A2/A3		Experto			
Experto								

Anexo 3. Ecuación de búsqueda 1.

(TITLE-ABS-KEY (biowaste)) AND ((treatment)) AND (home OR house OR household) AND (composting OR anaerobic AND digestion) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "ch") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "bk")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENER") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART")) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2023) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2022) OR

LIMIT-TO (PUBYEAR , 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2015) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2014) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2013))

Anexo 4. Ecuación de búsqueda 2.

(TITLE-ABS-KEY (biowaste)) AND (((treatment)) AND (home OR house OR household)) AND (composting OR anaerobic AND digestion) AND (LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "China") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "India") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Malaysia") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Colombia") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Brazil") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Viet Nam") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Philippines") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Bangladesh") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Costa Rica") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Indonesia") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Sri Lanka") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Bolivia") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Ecuador") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Nigeria") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Peru") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Tanzania") OR LIMIT-TO (AFFILCOUNTRY , "Thailand")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "ch") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "bk")) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENVI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENER") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "ENGI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "AGRI") OR LIMIT-TO (SUBJAREA , "EART")) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2023) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2022) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2015) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2014) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2013))

Anexo 5. Figuras de composteras y lombricomposteras utilizadas en los casos de estudio seleccionados.

Anexo 5.1 Rediseño y optimización de un dispositivo de compostaje a pequeña escala para ser utilizado en proyectos de agricultura urbana (#1)



Fuente: Álvarez *et al.*, 2013.

Anexo 5.2 Aprovechamiento de residuos orgánicos residenciales para la generación de abono en Bogotá (#2)



Fuente: Baquero, 2019.

Anexo 5.3 Propuesta de aprovechamiento integral de los residuos orgánicos provenientes del conjunto residencial la colina (#3)



Fuente: Muñoz, 2020.

Anexo 5.4 Biowaste home composting: Experimental process monitoring and quality control (#4)



Fuente: Muñoz, 2020.

Anexo 5.5 Evaluación de modelos de composteras domiciliarias y métodos de compostaje, para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en la ciudad de Chiquimula, Guatemala (#5)



Anexo 5.6 Implementación de composteras en viviendas a partir de residuos orgánicos generados en domicilio en zona ZV-5 de Cercado de Lima (#6)



Anexo 5.7 Viabilidad de un sistema de compostaje doméstico a partir de la producción per-cápita promedio de residuos sólidos orgánicos en la vivienda unifamiliar (#7)



Anexo 5.8 Guía Técnica para el aprovechamiento de residuos Orgánicos a Través de Metodologías de Compostaje y Lombricultura (#8)



Anexo 5.9 Guía Técnica para el aprovechamiento de residuos Orgánicos a Través de Metodologías de Compostaje y Lombricultura (#8)



Anexo 5.10 Aprovechamiento de residuos orgánicos domésticos para la producción de Vermicompost, a partir de Lombricompostaje, en la ciudad de Guayaquil (#10)



Anexo 5.11 Evaluación del proceso de pacas biodigestoras para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, en el municipio de Carepa- Antioquia (#11)



Anexo 5.12 Pacas Biodigestoras para la Transformación de Residuos Orgánicos y Material Vegetal en una Institución Universitaria de Educación Superior (#12)



Anexo 5.13 Manejo limpio y sano de residuos biodegradables en pacas digestoras silva (#13)



Anexo 6. Valoraciones de parte de los expertos mediante la escala de Saaty.

Anexo 6.1 Resumen de valoración de los criterios de los expertos para alimentar la matriz

	C1/C2	C1/C3	C1/C4	C1/C5	C2/C3	C2/C4	C2/C5	C3/C4	C3/C5	C4/C5	C2/C1	C3/C1	C4/C1	C5/C1	C3/C2	C4/C2	C5/C2	C4/C3	C5/C3	C5/C4
Fuentes	0.5	0.5	0.3	0.2	4.0	1.0	1.0	0.3	0.3	0.3	2.0	2.0	3.0	5.0	0.3	1.0	1.0	3.0	3.0	3.0
Experto 1	1.0	3.0	0.3	0.3	4.0	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	1.0	0.3	3.0	3.0	0.3	5.0	6.0	5.0	3.0	3.0
Experto 2	0.5	0.3	0.5	0.5	0.5	0.3	0.5	0.5	0.3	3.0	2.0	3.0	2.0	2.0	2.0	3.0	2.0	2.0	3.0	0.3
Experto 3	1.0	0.5	6.0	0.2	0.3	0.5	0.1	2.0	0.2	0.2	1.0	2.0	0.2	6.0	3.0	2.0	8.0	0.5	5.0	5.0
Experto 4	0.2	1.0	0.2	0.2	5.0	1.0	1.0	0.5	0.3	5.0	5.0	1.0	5.0	5.0	0.2	1.0	1.0	2.0	3.0	0.2
Experto 5	0.3	0.5	1.0	1.0	2.0	1.0	0.5	2.0	2.0	3.0	4.0	2.0	1.0	1.0	0.5	1.0	2.0	0.5	0.5	0.3
Experto 6	0.5	3.0	0.5	2.0	0.3	3.0	0.5	0.3	4.0	0.3	2.0	0.3	2.0	0.5	3.0	0.3	2.0	3.0	0.3	3.0
Experto 7	1.0	0.2	4.0	2.0	0.2	0.5	0.5	0.5	0.2	0.5	1.0	6.0	0.3	0.5	5.0	2.0	2.0	2.0	5.0	2.0
Promedio	0.6	1.1	1.6	0.8	2.0	0.9	0.5	0.8	1.0	1.6	2.3	2.1	2.1	2.9	1.8	1.9	3.0	2.3	2.6	2.1

Anexo 6.2 Ejemplo de valores para alimentar la matriz de alternativas resultante para cada criterio

C1. Ocupación de espacio			
Opinión	A1/A2	A1/A3	A2/A3
Fuentes	2	0,5	1/3
Experto 1	1/3	3	0,5
Experto 2	1/3	2	1
Experto 3	1/7	1/3	2
Experto 4	5	3	2
Experto 5	3	1/3	7
Experto 6	1/3	3	3
Experto 7	1/3	1/5	3
Promedio	1 3/7	1 5/9	2 1/3

Anexo 7. Encuesta sobre la disposición y aceptación para la implementación de tecnologías de tratamiento de biorresiduos en el barrio La Selva.

Instrucciones: Por favor, lea cada pregunta detenidamente y marque la opción que mejor represente su opinión.

1. ¿Con qué frecuencia genera residuos orgánicos (restos de comida, cáscaras, hojas, etc.) en su hogar?

- Todos los días
- Algunas veces por semana
- Una vez por semana
- Rara vez

2. ¿Considera importante tratar los residuos orgánicos en el mismo barrio para reducir la basura generada?

- Muy importante
- Importante
- Poco importante
- No importante

3. A continuación, encontrará tres tecnologías de tratamiento de residuos orgánicos. Por favor, indique su disposición y aceptación para implementar cada una en su hogar o comunidad:

Compostaje

- **3.1.** ¿Conoce o ha escuchado sobre el compostaje como método de tratamiento de residuos?
 - Sí
 - No
- **3.2.** ¿Estaría dispuesto(a) a participar en un proyecto de compostaje comunitario o a implementar un sistema de compostaje en su hogar?
 - Sí, me interesa mucho
 - Podría interesarme
 - No estoy interesado(a)
- **3.3.** ¿Considera que el compostaje podría ser viable en el barrio La Selva, considerando factores como el espacio y el posible olor?
 - Sí, es viable
 - Puede ser viable con condiciones adecuadas
 - No es viable

Lombricompostaje

- **4.1.** ¿Conoce o ha escuchado sobre el lombricompostaje (uso de lombrices para descomponer residuos)?
 - Sí
 - No
- **4.2.** ¿Estaría dispuesto(a) a participar en un proyecto de lombricompostaje comunitario o a implementar un sistema de lombricompostaje en su hogar?
 - Sí, me interesa mucho
 - Podría interesarme
 - No estoy interesado(a)
- **4.3.** ¿Considera que el lombricompostaje podría ser viable en el barrio La Selva, considerando factores como espacio, mantenimiento y la presencia de lombrices?
 - Sí, es viable
 - Puede ser viable con condiciones adecuadas
 - No es viable

5. En términos generales, ¿estaría dispuesto(a) a colaborar con su comunidad para implementar alguna de estas tecnologías de tratamiento de biorresiduos?

- Sí, con gusto participaría
- Solo si fuera conveniente y no generara problemas
- No estoy dispuesto(a) a colaborar

6. ¿Cuál de las alternativas tecnológicas de tratamiento de biorresiduos presentadas evaluaría para implementar en su hogar?

- Compostaje
- Lombricompostaje

7. ¿Tiene algún comentario adicional sobre el uso de tecnologías de tratamiento de residuos orgánicos en el barrio?

Gracias por su participación en esta encuesta. Sus respuestas son valiosas para lograr una gestión efectiva y sostenible de los residuos en el barrio La Selva.