

**MODELO HÍBRIDO PARA LA SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS EN EL
APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS
RESIDENCIALES EN EL MUNICIPIO DE ROLDANILLO VALLE DEL
CAUCA BAJO UN ENFOQUE DE LOGÍSTICA INVERSA**



PRESENTADO POR:

Andrés Steven Victoria Rodríguez - 201664833
Laura Vanessa Osorio Sánchez - 201664731

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL
2021**

**MODELO HÍBRIDO PARA LA SELECCIÓN DE ESTRATEGIAS EN EL
APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS
RESIDENCIALES EN EL MUNICIPIO DE ROLDANILLO VALLE DEL
CAUCA BAJO UN ENFOQUE DE LOGÍSTICA INVERSA**

PRESENTADO POR:

Andrés Steven Victoria Rodríguez
Laura Vanessa Osorio Sánchez

PROYECTO DE GRADO

DIRECTORA DE TRABAJO DE GRADO:

MSc. Vivian Lorena Chud Pantoja.

CO-DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO:

MSc. Julián González Velásco

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA INDUSTRIAL
ZARZAL
2021**

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

La sociedad actual se está sensibilizando sobre la necesidad de reducir los residuos que se generan, casi un tercio de los residuos sólidos urbanos son envases y embalajes y año tras año aumenta. (Rentero, 2018)

En los últimos años el mundo empresarial se ha preocupado por generar medidas que aporten beneficios al medio ambiente, por contaminar menos, puesto que las nuevas generaciones han sido reconocidas como una generación con alta conciencia ambiental, cambiar sus hábitos de consumo con el fin de cuidar al planeta.

El presente documento aborda la propuesta aprovechamiento de residuos sólidos residenciales, se muestra en primer lugar la problemática presente de producción de residuos residenciales y su caracterización en el municipio de Roldanillo, donde se muestran las estadísticas de producción de residuos por estrato, para tipificar el tipo de residuo a ser objeto de aprovechamiento. Con base en la situación problema, se establece la pregunta objeto de investigación la cuál especifica como: ¿De qué forma se podrían aprovechar residuos sólidos residenciales bajo un enfoque de logística inversa en el Municipio de Roldanillo Valle del Cauca?

Se estructuran los objetivos para la solución de la problemática, en dónde como objetivo general se espera obtener una propuesta que permita aprovechar los residuos que se generan; se desarrolla una metodología multicriterio híbrida usando el Proceso de jerarquía Analítica (AHP por sus siglas en ingles) y ELECTRE (Élimination et Choix Traduisant la REalité), en dónde se evalúan los criterios, subcriterios y alternativas para finalmente llegar a la mejor solución posible; como conclusiones se obtiene que los residuos sólidos orgánicos se generan en mayor medida en el municipio, se logra definir que los criterios económicos, sociales y ambientales son relevantes para la evaluación del caso, se evalúan las mejores alternativas para el tratamiento de este tipo de residuos y como resultado obtenemos que el biogás, y el compostaje nos permiten tener un mayor aprovechamiento, además con el análisis de sensibilidad se presenta una mayor robustez en los resultados.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	9
2	MARCO REFERENCIAL.....	11
	2.1 LOGISTICA INVERSA	12
	2.2 GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	13
	2.2.1 Los Residuos	13
	2.2.2 Residuos Orgánicos	14
	2.3 HERRAMIENTAS MULTICRITERIO	15
	2.3.1 Proceso De Jerarquía Analítica (AHP):	17
	2.3.2 Eliminación y Elección Traduciendo La Realidad (ELECTRE)	18
3	CARACTERIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS.....	19
	3.1 ACTORES Y LAS VARIABLES	19
	3.2 CRITERIOS DE ESTRATEGIAS GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	22
4	ALTERNATIVAS DE LOGÍSTICA INVERSA EN LA GESTION DE RESIDUOS.....	26
	4.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS	26
	4.2 DEFINICIÓN DE LOS TRATAMIENTOS DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS	27
5	RESULTADOS.....	29
	5.1 CONTEXTUALIZACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	29
	5.2 APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA AHP PARA LA PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS Y SUB-CRITERIOS	30
	5.3 APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA ELECTRE	32
	5.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....	35
6	CONCLUSIONES.....	36
7	REFERENCIAS BIBLOGRÁFICAS	37
8	ANEXOS.....	42

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Caracterización de los residuos en el Valle del Cauca.....	14
Tabla 2. Utilización de herramientas en la gestión y tratamiento de residuos sólidos orgánicos	16
Tabla 3. Principales sub-criterios utilizados para la gestión de residuos sólidos orgánicos.	22
Tabla 4. Sub-criterios para la gestión de residuos sólidos orgánicos.....	24
Tabla 5. Sub-criterios seleccionados	24
Tabla 6. Alternativas para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos .	26
Tabla 7. Alternativas seleccionadas.....	28
Tabla 8. Ponderación de subcriterios con AHP.....	32
Tabla 9. Valores Numéricos y simbólicos para la matriz de decisión.....	32
Tabla 10. Valores Numéricos y simbólicos para la matriz de decisión.....	33
Tabla 11. Matriz de dominancia agregada	34

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Actores y variables que intervienen en la recolección de residuos sólidos en el municipio de Roldanillo-Valle	20
Figura 2 Árbol de jerarquía	31
Figura 3. Gráfico de sobre clasificación de las alternativas	34

1 INTRODUCCIÓN

Según el CONPES 3874 “La gestión de residuos sólidos en Colombia ha presentado importantes avances en el control de la contaminación causada por los residuos sólidos y en la sostenibilidad del servicio público de aseo en gran parte del país. A la fecha, la gran mayoría de residuos sólidos no peligrosos es dispuesta adecuadamente y un porcentaje muy bajo de municipios del país cuenta con sitios de disposición final no adecuados” (CONPES, 2016), la importancia de la gestión de los residuos es cada vez más evidente, pues está además de generar una ventaja competitiva para las organizaciones que la realizan, una buena gestión disminuye el impacto de los residuos al medio ambiente.

Así mismo se puede definir como la estrategia en el mundo de la logística inversa que consiste en la recuperación de los residuos originados por una actividad productiva o de consumo. “La logística inversa aporta a las empresas la respuesta al fenómeno de las devoluciones, independientemente del motivo que origina la devolución, presentándose como una ventaja competitiva para quienes la desarrollan, y disminuyendo el impacto ambiental, convirtiendo aquello también en una ventaja competitiva, y mostrando a la organización más atractiva para los clientes” (Don & Doldán, 2010).

Los residuos sólidos son aquellos materiales, artículos, productos, desechos, basuras o desperdicios generados por actividades humanas y que son descartados por no ser de utilidad en ese momento (Pineda, 2000). En otras palabras, son los residuos generados por el hombre y que actualmente se ha convertido en un problema de contaminación ambiental para el planeta.

Según datos generados por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el Valle del Cauca se encuentra entre uno de los cinco municipios que más generan desechos en el país, según el informe de disposición final de residuos el Valle del Cauca generaba 3.781,24 toneladas de desechos por día para el año 2019, lo que se traduce como 1.380.152,6 de desechos al año aproximadamente. (Superservicios, 2020b)

Además el inadecuado manejo de los residuos sólidos dentro de cualquier sociedad, contribuye al aumento de la contaminación al medio ambiente, lo que genera enfermedades para los seres humanos. Todo este tipo de acciones está generando las múltiples problemáticas de medio ambiente como el cambio climático, la contaminación de ríos y mares, la extinción de animales y bosques, la tala de árboles, y muchos otros inconvenientes que se presentan a raíz de la falta de colaboración y en las pequeñas acciones. “Desde 2009, los residuos sólidos generados en Roldanillo y sus áreas aledañas son depositados en el relleno sanitario regional Presidente, el cual

presta el servicio a 16 municipios del Departamento y cuenta con una vida útil de 16 años, aproximadamente” (Gómez & Pago, 2015).

De acuerdo al informe nacional de disposición final de residuos, el relleno sanitario Presidente, ubicado en el municipio de San Pedro, al cual van a parar los provenientes de Roldanillo, tiene una vida útil de más de tres años, pero debido a la desmesurada manera de incremento por parte de los residentes del municipio, quizá dicha vida puede verse acortada; no se realizan prácticas de reducción y reutilización por parte de los habitantes, lo que conlleva al aumento de desechos, lo que contribuye a la contaminación ambiental que se está viviendo. Además, según cifras presentadas allí, muestra que, de los 42 municipios de Valle del Cauca, Roldanillo se encuentra en la posición 17, generando 17,92 toneladas de residuos por día.

Lo expuesto anteriormente implica plantearse lo siguiente:

- ¿Cuáles son los actores que intervienen en la gestión de residuos? y ¿cuáles son las características de los residuos de mayor impacto?
- ¿Qué criterios se deben tener en cuenta para aplicar una adecuada gestión de residuos sólidos residenciales?
- ¿Cuáles son las estrategias más adecuadas para tratar los residuos de mayor impacto considerando múltiples criterios?

Estas preguntas finalmente permiten plantear la pregunta problema:

¿De qué forma se podrían aprovechar los residuos sólidos residenciales bajo un enfoque de logística inversa en el Municipio de Roldanillo Valle del Cauca?

De esta manera el presente trabajo tiene como **objetivo general** desarrollar una propuesta para el aprovechamiento de los residuos sólidos residenciales en Roldanillo Valle bajo un enfoque de logística inversa, con el fin de desarrollar dicho objetivo, este se apoya en cuatro **objetivos específicos** los cuales son: caracterizar la gestión actual de residuos sólidos residenciales estableciendo los actores y las variables que intervienen y los residuos de mayor impacto; definir los principales criterios en la gestión de residuos que deben considerarse para la elección de estrategias de aprovechamiento de residuos sólidos residenciales; priorizar las estrategias de logística inversa de los residuos sólidos de mayor impacto en el municipio considerando múltiples criterios de gestión de residuos, establecer un análisis de sensibilidad que valide la robustez de la estrategia propuesta.

En Colombia existe un panorama en el que se observa un constante crecimiento de las toneladas por día que se registran anualmente, demostrando que con el pasar de los años las personas aumentan cada vez más la cantidad de residuos que desechan en los hogares, según el informe de disposición final SSPD (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios) e información del SUI (Sistema Único de Información).

A su vez “la logística inversa muestra ser una herramienta importante, que si la unimos a la Gestión ambiental posibilitará importantes avances en todas las áreas de administración empresarial (Gestión de la producción, Gestión de materiales, Compras, Investigación Operativa, Desarrollo de productos, Marketing, etc.) así como en la administración pública, como por ejemplo, en la elaboración de normas legales compatibles con el estado de arte y la adopción de incentivos adecuados” (Maquera, 2013).

Los residuos generados por los habitantes del municipio de Roldanillo, pueden ser aprovechados por empresas aledañas como materia prima, trayendo así una disminución en el costo del material para las organizaciones, es allí donde la logística inversa juega un papel importante, pues de acuerdo a sus dos enfoques, el primero re incorporando de nuevo un producto a la cadena de suministro, el segundo y el que nos concierne, reusando los residuos residenciales, debido a la poca información de los residuos generados en Roldanillo, se planea aplicar una herramienta multicriterio para identificar el residuo con mayor cantidad.

2 MARCO REFERENCIAL

Tosarkani, Hassanzadeh, Zolfagharinia definen a la logística inversa (RL) “como el flujo hacia atrás de los productos, específicamente los productos que se devuelven para su reciclaje” (2020). Por otro lado, Hawks (2006) dice que la logística inversa “el proceso de planificación, implementación y control del flujo eficiente y rentable de materias primas, inventario en proceso, productos terminados e información relacionada desde el punto de consumo hasta el punto de origen para recuperar valor o eliminación adecuada.

Las actividades de re manufacturación y rehabilitación también pueden incluirse en la definición de logística inversa (Dutta et al., 2020). Según Ballou (2003), la logística empresarial es todo movimiento que facilite a la organización los flujos que estén presentes, desde la compra de la materia

prima del producto hasta el consumo por parte de los clientes, con la finalidad de dar al consumidor el nivel de servicio esperado por el costo que están dispuestos a pagar.

En muchas industrias manufactureras (por ejemplo, productos electrónicos, maquinaria de construcción), RLND se estudió durante un largo período para facilitar el reciclaje de residuos. Muchos modelos matemáticos han sido desarrollados y adaptados para diversos escenarios (por ejemplo, multi-período, multi-producto, multi-objetivo y estocástico) (Pan et al., 2020).

También es aquel proceso en el cual se ven involucrados varios eslabones que conforman la cadena de suministro, como lo decía Ballou (2003) pueden ser flujos de información, de materiales o de personas, que forman parte de todo el proceso por el cual debe atravesar el producto desde que lo siembran y recogen en el campo, en el caso de este tipo de productos alimenticios, hasta que se comercializa con el cliente final, sin embargo con el pasar de los años se empieza a hablar de logística directa, como la tradicional y se le suma otro concepto nuevo que se le conoce como logística inversa, la cual se relaciona a toda la temática de aprovechamiento y reciclaje que ha venido cogiendo auge durante los últimos años y que hoy en día ya hace parte de nuestro diario vivir en donde la gran mayoría de empresas, gobiernos y personas, han adoptado medidas frente a la inmensa cantidad de desechos que se producen día a día.

El Grupo de Trabajo Europeo sobre Logística Inversa, REVLOG, ha definido la logística inversa como el proceso de planificación, implementación y control de los flujos atrasados de materias primas, en el inventario de procesos, embalajes y productos terminados, desde un punto de fabricación, distribución o uso, hasta un punto de recuperación o de eliminación adecuada (Citado en Kosacka-Olejnisk, M., Werner-Lewandowska, K, 2020).

2.1 LOGISTICA INVERSA

La logística inversa es responsable de la devolución de los materiales al proceso de producción para ser reutilizados, reciclados, re manufacturados, o tener un destino final ambientalmente correcto (Hammes et al., 2020).

La logística inversa es un proceso de planificación, por medio del cual se controla de forma eficiente el flujo de las materias primas, durante la

producción, en productos terminados hasta la recuperación o eliminación posterior a la venta o consumo, convirtiéndose en una logística encargada de contemplar el retorno o eliminación de determinados materiales luego del consumo del producto, a partir el cliente hasta el punto de origen.

De acuerdo con Govindan et al. (2018) “La logística inversa es la programación y planificación del flujo hacia atrás de los productos, para ser bienes de segunda mano más específicos, desde clientes y consumidores hasta proveedores y fabricantes con el propósito de varias actividades como la reparación, re manufacturación, reciclaje, eliminación, etc.” (Citado en Zarbakhshnia et al., 2020).

2.2 GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

2.2.1 Los Residuos

Según el Decreto 1713 de 2002 del Ministerio de Desarrollo Económico y el Ministerio de Medio Ambiente, estableció que:

“Residuo sólido o desecho. Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final. Los residuos sólidos se dividen en aprovechables y no aprovechables. Igualmente, se consideran como residuos sólidos aquellos provenientes del barrido de áreas públicas” (Ministerio de Desarrollo Económico y el Ministerio de Medio Ambiente, 2008).

Existen varias categorías dentro de los residuos, desde domésticos hasta los residuos industriales; de residuos no tóxicos hasta tóxicos, y de residuos sólidos a líquidos. “La recogida de residuos es un subconjunto de la industria logística. Es la gestión de la cadena de suministro a la inversa” (Gruenwald, 2016).

La generación de residuos y su impacto ambiental negativo es un problema al que se enfrentan todos los países. El objetivo del reciclaje es mitigar este impacto negativo. Los residentes de los países juegan un papel sumamente importante en los programas de reciclaje para mitigar dicho impacto, la gestión de residuos implica la eliminación de estos residuos, o por otro lado la recuperación de materiales útiles para implementarlos en un nuevo producto.

2.2.2 Residuos Orgánicos

Los residuos sólidos orgánicos urbanos constituyen cerca del 70% del volumen total de desechos generados, por tal motivo es primordial buscar una salida integral que contribuya al manejo adecuado, potenciando los productos finales de estos procesos y minimizando un gran número de impactos ambientales que conlleven a la sostenibilidad de los recursos naturales (Penagos Vargas et al., 2011). La generación de los residuos orgánicos y su mal tratamiento y disposición genera una gran cantidad de contaminación, y está solo aumenta con los años, más de la mitad de los residuos generados en el país son de este tipo.

En Colombia el 65% son residuos orgánicos y el 35% inorgánicos (Cardona et al., 2004), y a este tipo de residuos los conforma, de forma más específica, materiales como lo es residuos de alimentos, papel, cartón, madera y residuos de jardín.

Según los PGIRS (Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos) de diferentes municipios del Valle del Cauca, el residuo que más se está generando es el residuo orgánico, con más del 50% de los residuos totales del municipio como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización de los residuos en el Valle del Cauca

Municipio Residuos	Candelaria	Cartago	Guacarí	Jamundí	Obando	San Pedro	Cali	Palmira	Roldanillo
Orgánicos	54,92%	64,79%	63,70%	85,00%	44,99%	64,59%	59,00%	68,00%	51,90%
Vidrio	24,979%	1,76%	1,50%	8,00%	3,40%	0,54%	2,56%	1,00%	5,50%
Plásticos	6,543%	2,64%	11,30%	90,00%	12,83%	20,54%	3,21%	10,00%	15,40%
Cartón	6,072%	13,20%	3,10%	37,00%	1,50%	2,97%	2,39%	4,00%	3,30%
Papel	4,54%	14,08%	2,70%	71,00%	6,59%	1,89%	3,84%	4,00%	5,40%

Fuente: Autores

Los residuos sólidos orgánicos urbanos constituyen cerca del 70% del volumen total de desechos generados, por tal motivo es primordial buscar una salida integral que contribuya al manejo adecuado, potenciando los productos finales de estos procesos y minimizando un gran número de impactos ambientales que conlleven a la sostenibilidad de los recursos naturales. La importancia del aprovechamiento de los residuos orgánicos empieza a adquirir una mayor dimensión por el acelerado crecimiento urbanístico y la necesidad de reutilizar materias primas desechadas (Penagos Vargas et al., 2011).

Los residuos orgánicos tienen un fuerte impacto sobre el medioambiente, contaminando la atmósfera, el suelo y las aguas (superficiales y

subterráneas), debido principalmente a sus altos contenidos en materia orgánica y elementos minerales, y a la presencia de metales pesados, fitotoxinas, patógenos vegetales y animales, etc., altamente contaminantes (RSU, 2019).

2.3 HERRAMIENTAS MULTICRITERIO

El análisis multicriterio es una herramienta que sirve para evaluar diversas alternativas, con base en criterios individuales específicos y combinarlos para una evaluación general, esto contribuye a determinar dependiendo los criterios preestablecidos la propuesta o alternativa que cumpla que se ajuste a estos, y de esta manera sirve como soporte la toma de decisiones.

Merkhofer y Keeney (1997) han empleado un análisis tradicional de múltiples atributos para determinar los sitios para la eliminación de desechos nucleares (Citado en Hokkanen & Salminen, 1997).

Las herramientas multicriterio que se presentan a la hora de proponer alternativas para solucionar alguna problemática, permiten elegir la mejor alternativa de forma acertada y cumpliendo con todos los parámetros que satisfagan la necesidad que se presenta.

La Tabla 2 muestra cuál es el tipo de herramientas más frecuentes que los autores utilizan a la hora de darle solución al tipo de problema que se viene desarrollando a lo largo del documento, la gestión de residuos y el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos.

Tabla 2. Utilización de herramientas en la gestión y tratamiento de residuos sólidos orgánicos

AUTOR	AHP (difuso)	Modelo de programación lineal de enteros	ELECTRE (II, III, SS, Tri-C)	PROMETHEE (II), GAIA	MCHP	SRF impreciso	SMAA	ANP-difuso	TOPSIS (no ponderado)	MAVT	CPP	LCA	MCDA (C)	MFA	FMCDM
(Milutinović et al., 2014)	x														
(Ahluwalia & Nema, 2006)		x													
(Hokkanen & Salminen, 1997)			x												
(El Hanandeh & El-Zein, 2010)			x												
(Vego et al., 2008)				x											
(Arandarenko et al., 2020)			x		x	x	x								
(Mokarram et al., 2020)	x							X							
(Benítez & Liern, 2020)									x						
(Deshpande et al., 2020)										x					
(Vieira et al., 2020)											x				
(Sarkkinen et al., 2019)	x											x			
(Makarichi et al., 2018)													x	x	
(Rodrigues et al., 2018)													x		
(Chang et al., 2008)															x
(Contreras et al., 2008)	x														
(Martowibowo & Riyanto, 2011)	x		x	x					x						
Total	5	1	4	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1

Fuente: Autores

Después de realizar una búsqueda en la literatura se encontró que una de las herramientas más utilizadas para la gestión y tratamiento de residuos sólidos es AHP, al igual que las diferentes versiones de ELECTRE, es por esta razón que para el desarrollo del problema se eligió realizar un híbrido entre AHP/ELECTRE III puesto que nos permite dar solución al tratamiento de los residuos sólidos orgánicos, encontrando la mejor alternativa.

2.3.1 Proceso de Jerarquía Analítica (AHP):

La Toma de decisiones es una de las actividades de los seres vivos en la que mejor se aprecia su nivel de evolución y organización. En los humanos, decidir es uno de los tópicos que más ha ocupado a la especie en su tratamiento desde todos los puntos de vista (filosóficos, sociológicos, psicológicos, económicos, etc.) y que mejor refleja su conocimiento, su procedimiento y, por último, su grado de libertad (Moreno, 2002).

Las Toma de Decisiones Multicriterio (TDM) son un conjunto de herramientas que permiten una resolución realista y efectiva de los problemas al considerar simultáneamente múltiples escenarios, actores y criterios, que pueden ser tanto tangibles como intangibles (María Moreno-Jiménez, 2014).

Por su parte, el proceso de análisis jerárquico, desarrollado por Thomas L. Saaty en 1980 (Analytic Hierarchy Process, por sus siglas en inglés), diseñado para resolver problemas complejos. El proceso requiere que quien toma las decisiones proporcione evaluaciones subjetivas respecto a la importancia relativa de cada uno de los criterios y que, después, especifique su preferencia con respecto a cada una de las alternativas de decisión y para cada criterio.

El resultado de AHP es una jerarquización con prioridades que muestran la preferencia global para cada una de las alternativas de decisión (Hurtado & Bruno, 2005). Constituye uno de los métodos más difundidos en la resolución de problemas de TDM. Esta técnica realiza una modelización del problema que da lugar a la formación de una jerarquía representativa del esquema decisional asociado (María Moreno-Jiménez, 2014).

Los problemas que requieren técnicas del análisis de decisión multicriterio (MCDA) son complejos y, como resultado, es ventajoso desglosarlos y resolver un "sub problema" a la vez. Este desglose se realiza en dos fases del proceso de decisión durante la estructuración del problema y la obtención de prioridades mediante comparaciones por pares.

De esta manera, el problema se estructura de acuerdo con una jerarquía donde el elemento superior es el objetivo de la decisión. El segundo nivel de

la jerarquía representa los criterios y el nivel más bajo representa las alternativas. En jerarquías más complejas, se pueden agregar más niveles. Estos niveles adicionales representan los sub criterios. En cualquier caso, hay un mínimo de tres niveles en la jerarquía (Ishizaka & Nemery, 2013).

Inicialmente el autor proponía tres etapas para su formulación:

- 1.- En la primera etapa (**modelización**), se construye un modelo o estructura en la que queden representados todos los aspectos considerados relevantes en el proceso de resolución (actores, escenarios, factores, elementos e interdependencias).
- 2.- En la segunda etapa (**valoración**) se incorporan las preferencias, gustos y deseos de los actores mediante los juicios incluidos en las denominadas matrices de comparaciones pareadas. Estas matrices cuadradas $A=(a_{ij})$ reflejan la dominación relativa de un elemento frente a otro respecto a un atributo o propiedad en común. En particular, a_{ij} representa la dominación de la alternativa i sobre la j .
- 3.- La última etapa de la metodología (**priorización y síntesis**), proporciona las diferentes prioridades consideradas en la resolución del problema: prioridades locales; prioridades globales y prioridades totales. En general, se entiende por prioridad una unidad abstracta válida para cualquier escala en la que se integran las preferencias que el individuo tiene al comparar aspectos tangibles e intangibles (Moreno, 2002).

2.3.2 Eliminación y Elección Traduciendo La Realidad (ELECTRE)

Este método fue creado por B. Roy en 1969 y desde entonces se ha modificado varias veces, la palabra ELECTRE se forma como acrónimo de la frase en francés, Elimination Et Choix Traduisant la Realite, que significa Eliminación y elección traduciendo la realidad. Es un método comparativo de opciones o alternativas que se basa en las operaciones efectuadas en matrices o tablas, a partir de las calificaciones en los criterios de cada alternativa (Ishizaka & Nemery, 2013).

Este método usa la relación de sobre clasificación de la alternativa A_h frente a la alternativa A_k , y lo hace de la siguiente manera:

Paso 1: Se realiza la construcción de la matriz de decisión y el cálculo de los valores mínimos, máximos y el rango para cada uno de los criterios.

Paso 2: Construcción de la matriz de decisión normalizada, a partir de las comparativas entre cada una de las alternativas y de los valores mínimos y máximos, el valor de la alternativa A_k comparado con la alternativa A_h es el restante a la comparación de A_h a A_k y la sumatoria de ambos debe dar **1**.

$$MN_{ij} = \frac{X_{i\max} - X_{ij}}{R_i} \quad \text{si el criterio es de minimización}$$

$$MN_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{i\min}}{R_i} \quad \text{si el criterio es de maximización}$$

$X_{i\min}$ = Valor mínimo de cada criterio i

$X_{i\max}$ = Valor máximo de cada criterio i

X_{ij} = Valor del criterio i en la alternativa j

R_i = rango en el criterio i

MN_{ij} = Valor en la matriz normalizada en el criterio i para la alternativa j

Paso 3: Cálculo de la matriz de concordancia y posteriormente se realiza el cálculo del umbral de concordancia que es el valor promedio de toda la matriz de concordancia.

Paso 4: Cálculo de la matriz de ponderada, la cual se realiza a partir de la matriz de decisión multiplicada por los pesos o ponderaciones que se le dio a cada criterio.

Paso 5: Se realiza el cálculo de la matriz de discordancia, y el umbral de discordancia, a diferencia de la matriz de concordancia aquí se deben de evaluar cada alternativa A_h con cada alternativa A_k y en viceversa también se evalúa.

Paso 6: Se realizan la matriz de dominancia concordante y discordante a partir de las matrices de cada una y de sus umbrales respectivos, para esto se tiene en cuenta en la matriz de concordancia si $X_{ij} > U_{\text{concordancia}}$ y se le da un valor 1 si cumple y 0 si no, y en la de discordancia si $X_{ij} < U_{\text{discordancia}}$ y se ponen los mismos valores si cumple o no.

Paso 7: Se realiza la matriz de dominancia agregada que es la multiplicación de las dos matrices anteriores, de la sumatoria de cada fila y columna se determina qué alternativas sobreclasifica cada una y cuáles la sobreclasifican.

3 CARACTERIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

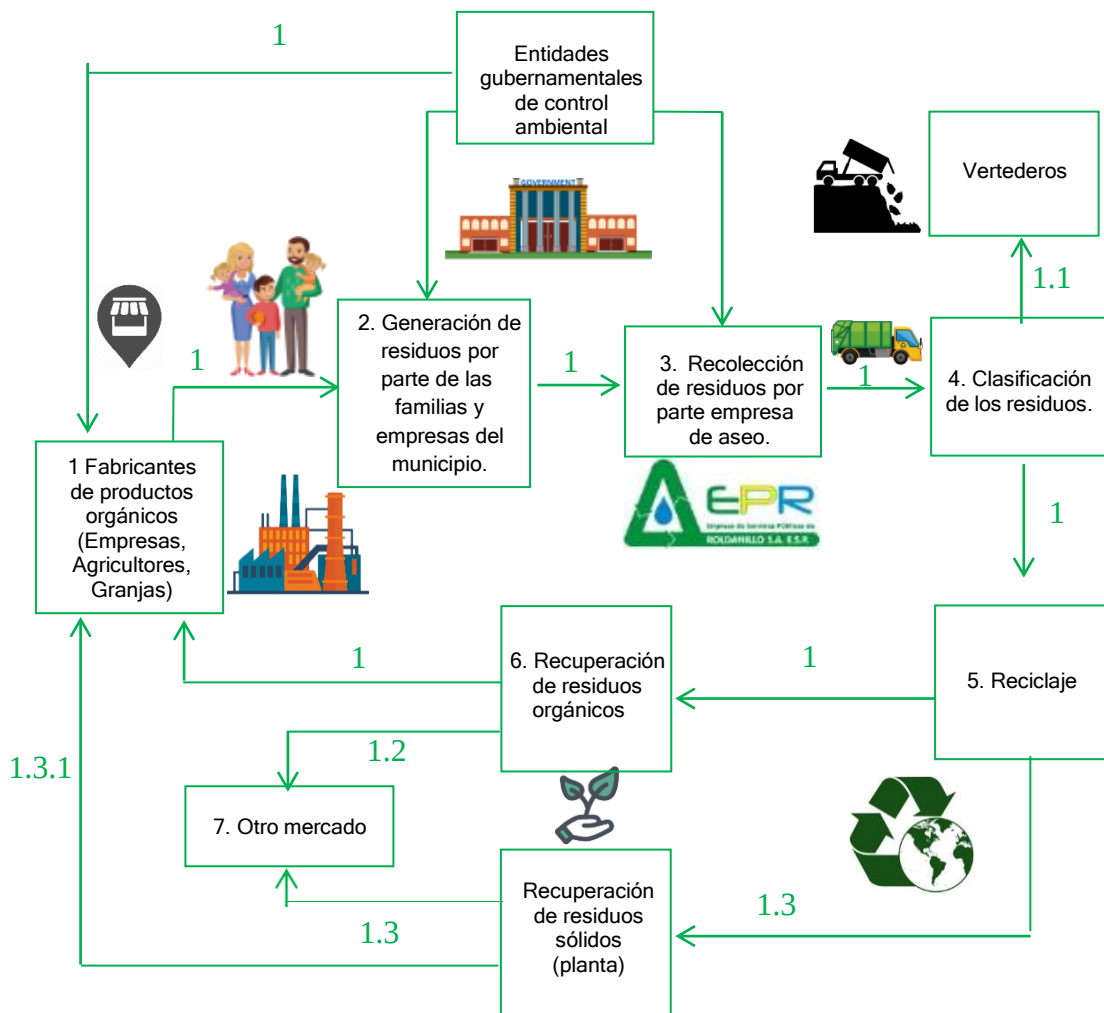
3.1 ACTORES Y LAS VARIABLES

La Gestión Integral de los residuos sólidos (GIRS) es la interacción dinámica entre actores que se desempeñan en los planos institucional, sectorial y regional, según el informe presentado por Superservicios en el año 2020, Rondón (2016) dice que busca una solución eficiente y equitativa sobre el manejo de los residuos.

El crecimiento demográfico dentro del municipio ha generado un incremento en la generación de residuos por parte de los ciudadanos, según el informe

general de disposición final del año 2019, Roldanillo estaba generando cerca de 17,92 toneladas de residuos por día (Superservicios, 2020), lo que se traduce a 508,2 toneladas de residuos al mes, contribuyendo de esta manera aún más a la contaminación del medio ambiente, y a las múltiples problemáticas presentes hoy en día, como el cambio climático, la contaminación de ríos, lagos, y mares, la desaparición de diversas especies de seres vivos (animales, plantas), entre otras más.

Figura 1 Actores y variables que intervienen en la recolección de residuos sólidos en el municipio de Roldanillo-Valle.



Fuente: Autores.

En la Figura 1 se puede observar quiénes son los actores identificados que intervienen en el proceso de gestión de residuos del municipio y su proceso desde la fabricación hasta su disposición final, y para cierto porcentaje de residuos las posibles recuperaciones que se le pueden realizar.

Como fuente primaria se encuentran las empresas, comercios y hogares, quienes son los que fabrican y consumen alimentos generando los residuos orgánicos del municipio, luego encontramos a la empresa de aseo municipal, quien realiza la gestión de estos residuos a su disposición final, sin embargo existen fuentes informales que realizan la recuperación de ciertos tipos de residuos, en pro de un beneficio personal, por lo cual pueden utilizarlo como materia prima para abono u otros tipos de productos que se reutilizan en el proceso principal, así como se le puede dar una finalidad hacia otros tipos de mercados.

El manejo de residuos sólidos es un desafío para las autoridades de las ciudades de los países en desarrollo, principalmente debido al incremento en su generación, la carga impuesta sobre el presupuesto municipal como resultado de los altos costos asociados a su manejo, la falta de comprensión sobre una diversidad de factores que afectan las diferentes etapas del manejo de residuos y los vínculos necesarios para habilitar el funcionamiento de todo el sistema de manejo (Abarca-Guerrero et al., 2015).

Por otro lado, el conocimiento acerca de la cantidad de residuos que se están generando por parte de la población es escaso, pues no se cuenta con una cultura por parte de los ciudadanos que se preocupen por el medio ambiente; además los habitantes no tienen conciencia alguna de que participan activamente en la gestión de residuos dentro del municipio.

El desarrollo local plantea que todos los actores sociales deben ser considerados elementos importantes, debido al papel social y político que desempeña cada uno desde las instituciones oficiales, privadas, organizaciones sociales o como ciudadano, en un determinado proceso en procura de impulsar movimientos y acciones locales (Torres et al., 2017). Al analizar el Plan de Gestión Integral de residuos Sólidos (PGIRS) del municipio de Roldanillo – Valle del Cauca, se definieron los actores que intervienen en la cadena de generación y gestión de residuos.

Los actores que intervienen en la producción de residuos sólidos son: Usuarios desde el estrato 1 al 4; Sector comercial; Sector oficial (instituciones públicas); Sector industrial.

Los actores que intervienen en la gestión de residuos sólidos en el municipio de Roldanillo son: La Empresa de Servicios Públicos de Roldanillo – EPR; La Policía Ambiental; Secretaria de Gobierno; La Corporación regional del Valle del Cauca – CVC.

3.2 CRITERIOS DE ESTRATEGIAS GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

Los criterios seleccionados deben permitir seleccionar la mejor alternativa frente a una meta definida, disminuir la incertidumbre, y entender más a fondo el funcionamiento del sistema seleccionado, haciendo uso de los diversos criterios y sub-criterios enfocados en el eje principal del tema de estudio.

En primera instancia se realizó una selección según la búsqueda en la literatura de los diferentes criterios y sub-criterios que utilizaban los autores, esto con el fin de obtener una base de cuáles podrían aplicarse en el caso de estudio que se está realizando; se encontraron de 28 artículos, 7 criterios y 89 sub-criterios, de los cuales se realizó una tabla en la que se escogieron aquellos que más se mencionaban y se ajustaban con la finalidad del trabajo y el entorno en el que se está realizando (en el anexo A se encuentra el documento con la tabla de los criterios y sub-criterios).

Luego de escoger una fase preliminar de los criterios y sub-criterios los cuales se presentan en la Tabla 3, dónde se obtuvo en total 4 criterios, **económicos, sociales, ambientales, técnicos**; y 15 sub-criterios que se dividen en **4 económicos, 3 sociales, 5 ambientales y 3 técnicos**.

Tabla 3. Principales sub-criterios utilizados para la gestión de residuos sólidos orgánicos.

	Económicos				Ambientales					Sociales			Técnicos		
Autores	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
(Hokkanen & Salminen, 1997)					x	x		x		x			x		
(Milutinović et al., 2014)	x	x	x			x	x	x		x	x			x	
(Contreras et al., 2008)		x			x			x							
(Martowibowo & Riyanto, 2011)			x		x		x	x	x	x	x				
(Vego et al., 2008)	x	x					x								
(El Hanandeh & El-Zein, 2010)					x	x		x							
(Makarichi et al., 2018)								x							
(Rodrigues et al., 2018)	x	x	x												x

(Deshpande et al., 2020)			x	x				x		x					
(Joseph & Prasad, 2020)							x	x							
(Babalola, 2015)		x	x		x					x	x	x	x		x
(Larran et al., 2014)								x							
(Chen et al., 2014)															
(Mendes et al., 2013)								x		x				x	x
(Wilson et al., 2015)															x
(Phonphoton & Pharino, 2019)	x	x			x			x							
(Abrahamsen-Mills et al., 2020)		x			x			x							
(Mondal et al., 2019)	x							x			x				
(Martin et al., 2017)		x				x									
(De Clercq et al., 2017)	x														
(Masebinu et al., 2016)		x						x		x	x				
(Ghinea & Gavrilescu, 2010)					x			x							
(Arikan et al., 2017)	x	x		x			x	x		x	x	x		x	
(Ersoy & Bulut, 2009)	x	x		x		x		x							
(Gorsevski et al., 2012)						x		x	x						
(Maimone, 1985)		x		x		x		x	x				x	x	x
(Hokkanen et al., 1995)	x	x		x						x	x		x	x	x
(Yildirim et al., 2018)									x				x	x	x
Total	9	13	5	5	8	7	5	19	4	9	7	2	5	6	7

Fuente: Autores

En la Tabla 4 se definen los subcriterios preseleccionados de según la búsqueda en la literatura, y los diferentes autores.

Tabla 4. Sub-criterios preseleccionados para la gestión de los residuos sólidos orgánicos.

CRITERIOS	#	SUB-CRITERIOS
Económicos	1	Costos inversión
	2	Costos operativos
	3	Ingresos
	4	Costos de transporte
Ambientales	5	Efectos sobre la salud
	6	Emisiones dispersas en agua
	7	Cantidad de residuos recuperados
	8	Gases de efecto invernadero liberados
	9	Área de huella de planta requerida
Sociales	10	Creación de empleo
	11	Aceptación pública
	12	Usabilidad y Compatibilidad
Técnicos	13	Reducción del volumen de residuos
	14	Tasa de reciclaje
	15	Recuperación del material recolectado

Fuente: Autores

Con base en una encuesta realizada a 4 expertos académicos sobre la validez de los criterios y subcriterios preseleccionados (Anexo B), con el fin de tener un soporte en la selección de los mismos y determinar qué tan acordes y relevantes eran para el caso de estudio. Se evaluó el nivel de pertinencia del subcriterio para el caso de estudio; luego, se obtiene que los criterios están acorde a la temática, pero como recomendación se deberían tener un máximo de 2 sub-criterios por criterio, por lo cual se hace una reestructuración de estos a partir de las observaciones ofrecidas, por lo cual se obtiene la Tabla 5 de criterios y sub-criterios final.

Tabla 5. Sub-criterios seleccionados.

C₁: ECONOMICOS	E₁: Costos Operativos
	E₂: Ingresos
C₂: SOCIALES	S₁: Creación de empleo
	S₂: Aceptación pública
C₃: AMBIENTALES	AM₁: Cantidad de residuos recuperados
	AM₂: Gases de efecto invernadero (GEI) liberados

Fuente: Autores

Los criterios y sub-criterios se definen de la siguiente manera:

Criterios económicos (C₁): Dentro de estos criterios se pueden encontrar todo lo relacionado a aspectos monetarios que influyen en cada una de las alternativas. En este grupo se toma como referencia un par de subcriterios, los cuales son: **costos operativos, e ingresos.**

- **Costos Operativos (E₁):** Son aquellos costos requeridos para la operación y funcionamiento, para este caso, de la alternativa seleccionada, y están compuestos por costos fijos como los salarios del personal, y los costos variables los cuales varían dependiendo la cantidad requerida de dicho insumo, como lo puede ser el consumo de gasolina de una planta.
- **Ingresos (E₂):** Son los recursos que ingresan al proyecto por concepto de venta del material aprovechable y/o los productos manufacturados con los residuos aprovechados; igualmente, hace referencia al incremento en el patrimonio neto de la empresa o entidad, y pueden ser monetarios o no, que se van acumulando y generan como consecuencia un círculo de consumo-ganancia.

Criterios Sociales (C₂): Dentro de estos criterios se pueden encontrar todo lo relacionado a aspectos sociopolíticos relacionados con la comunidad que influyen en cada una de las alternativas. En este grupo se toma como referencia un par de subcriterios, los cuales son: **creación de empleo, y aceptación pública.**

- **Creación de empleo (S₁):** Oportunidades de empleo directo creadas por una alternativa de gestión.
- **Aceptación pública (S₂):** Grado de compatibilidad que existe entre una determinada alternativa y la sociedad a la que se va a ver dirigida.

Criterios Ambientales (C₃): Dentro de estos criterios se pueden encontrar todo lo relacionado a aspectos ecológicos y medio ambientales que influyen en el área afectada por las distintas alternativas. En este grupo se toma como referencia un par de subcriterios, los cuales son: **cantidad de residuos recuperados, y gases de efecto invernadero (GEI) liberados.**

- **Cantidad de residuos recuperados (AM₁):** Es el proceso mediante el cual los materiales se pueden reincorporar de forma eficiente al ciclo económico y productivo.
- **Gases de efecto invernadero liberados (GEI) (AM₂):** Los gases que generan los residuos sólidos orgánicos que pueden afectar el medio ambiente (amoníaco (NH₃), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O) que son emitidas a la atmósfera.

4 ALTERNATIVAS DE LOGÍSTICA INVERSA EN LA GESTION DE RESIDUOS

Existen diversas alternativas que permiten aprovechar los residuos antes de que estos puedan generar aún más desechos para el medio ambiente y convirtiéndose así en una problemática que afecta a todos; estas alternativas permiten disponer de manera adecuada estos residuos orgánicos, obteniendo así resultados favorables.

4.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS TRATAMIENTOS DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS

A partir de la búsqueda en la literatura se pueden conocer diferentes tipos de tratamientos para esta clase de residuo las cuales se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Alternativas para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos

Autor(es)	1	2	3	4	5	6	7
(Narayana, 2009)	x	x		x			
(Assamoi & Lawryshyn, 2012)		x		x			
(Merrild et al., 2012)		x					
(Zurbrügg et al., 2012)	x						
(Aguilar-virgen et al., 2010)				x			
(Taboada-González et al., 2017)				x			
(Franchetti & Kilaru, 2012)				x			
(Sharholly et al., 2008)		x		x	x	x	x
(Martowibowo & Riyanto, 2011)	x	x	x	x			
(Milutinović et al., 2014)		x					
(Hokkanen & Salminen, 1997)	x			x		x	

1	Compostaje
2	Incineración, Co-Incineración
3	Biogás
4	Vertederos
5	Vermicompostaje
6	Combustible RDF
7	Compostaje Anaeróbico

Fuente: Autores

4.2 DEFINICIÓN DE LOS TRATAMIENTOS DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS

La importancia del aprovechamiento de los residuos orgánicos empieza a adquirir una mayor dimensión por el acelerado crecimiento urbanístico y la necesidad de reutilizar materias primas desechadas (Villegas, 2019).

A continuación se definen algunos de los tratamientos o alternativas de aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos:

Compostaje: El proceso de compostaje consiste en la degradación de la materia orgánica mediante su oxidación y la acción de diversos microorganismos presentes en los propios residuos. Este proceso de descomposición de la materia orgánica dura aproximadamente entre cinco y seis meses.

Incineración: La incineración es uno de los procesos térmicos que pueden aplicarse en el tratamiento de los residuos sólidos urbanos para disminuir su cantidad y aprovechar la energía que contienen (Salvador, 2013). Este proceso a su vez, no erradica los problemas medioambientales, tan solo los transforma en otra clase de residuo, que para este caso serían emisiones de gases contaminantes.

Sin embargo, este proceso contribuye en “reducir en gran medida el peso (75%) y el volumen (90%) de los residuos a tratar”(Salvador, 2013), lo cual hablando del espacio disponible de los vertederos, puede ser considerada una alternativa, pero como se mencionó anteriormente el hecho de los gases que emite el proceso, no contribuye a la reducción de la contaminación, y en términos de medioambientales, no es tan llamativa.

Biogás: El biogás es una mezcla de diferentes gases producidos por la descomposición anaeróbica de materia orgánica, como el estiércol y las basuras orgánicas (Savran et al., 2012), este proceso es una forma efectiva de darle un gran aprovechamiento a los residuos orgánicos; el componente más abundante de este tipo de aprovechamiento es el metano (CH_4), el cual al mezclarse con el aire se vuelve combustible y arde en llama azul como se observa en la mayoría de las estufas en las viviendas.

Landfilling o Vertederos: “Un vertedero es un área de tierra sobre o en la que se depositan residuos. El objetivo es evitar cualquier contacto entre los residuos y el entorno circundante, en particular las aguas subterráneas.” (Narayana, 2009). Es uno de los métodos más utilizados, sin embargo, no realiza ningún tipo de aprovechamiento a los residuos generados, así mismo tiene una capacidad disponible por lo que varias empresas de aseo se

encuentran en búsqueda de alternativas que cambien el uso de estos, debido a que están cerca de llegar a su capacidad máxima o desean incluirse en el aprovechamiento de los residuos generados.

Vermicompostaje o Lombricultivo: La lombricomposta, Vermicompostaje o humus de lombriz es el producto resultante de la transformación digestiva y metabólica de la materia orgánica mediante lombrices de tierra. Se utiliza como mejorador o enmienda orgánica de suelos, inoculante microbiano, enraizador, germinador, sustrato de crecimiento, entre otros. La lombriz cava túneles en el suelo blando y húmedo, succiona el desecho orgánico y digiere de ella las partículas vegetales en descomposición, expulsando los elementos no digeribles y los residuos metabólicos, que son los que forman el humus. La lombriz de tierra se alimenta de desechos orgánicos y según avanza en este deposita sus desechos, convirtiéndolos en abono fértil, mejor que el que podría lograrse usando abonos artificiales (Galindo, 2015).

Combustible RFD: El método consiste en producir un combustible sólido mejorado o gránulos a partir de RSU (Sharholy et al., 2008), este se produce a partir de residuos de papel, plástico, textiles, metales y otros residuos; lo cual utilizan como biomasa para la generación de electricidad y calor.

Digestión aerobia: La digestión aeróbica consiste en procesos realizados por diversos grupos de microorganismos, principalmente bacterias y protozoos que, en presencia de oxígeno actúan sobre la materia orgánica disuelta, transformándola en productos finales inocuos y materia celular. La principal ventaja del proceso aeróbico es la simplificación en las operaciones de disposición de los lodos comparada con la relativa complejidad operativa del proceso de digestión anaeróbica.

Basados en la literatura, y en la economía del municipio caso de estudio (la agricultura) se eligen cuatro alternativas para tratar los residuos orgánicos (Tabla 7), teniendo en cuenta que lo que se busca con el presente estudio es disminuir la cantidad de residuos en el municipio y aprovecharlos, para así evitar más desperdicios de residuos.

Tabla 7. Alternativas seleccionadas

A ₁ : Combustible RFD	A ₂ : Biogas
A ₃ : Compostaje	A ₄ : Continuar el proceso actual (Vertedero)

Fuente: Autores

Las alternativas de la Tabla 7 se describen a continuación:

Compostaje (A₁): El proceso de compostaje consiste en la degradación de la materia orgánica mediante su oxidación y la acción de diversos microorganismos presentes en los propios residuos. Este proceso de descomposición de la materia orgánica dura entre 5 y 6 meses. La selección de esta alternativa se debe a la económica de agroindustria presente en el municipio.

Biogás (A₂): El biogás es un gas que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de materia orgánica, mediante la acción de microorganismos (bacterias metanogénicas, etc.), y otros factores, en ausencia de oxígeno (esto es, en un ambiente anaeróbico). El producto resultante es una mezcla constituida por metano (CH₄) en una proporción que oscila entre un 40% a un 70% y dióxido de carbono (CO₂), conteniendo pequeñas proporciones de otros gases como hidrógeno (H₂), nitrógeno (N₂), oxígeno (O₂) y sulfuro de hidrógeno (H₂S) (Pruppacher, 1981).

Combustible RFD (A₃): “El método consiste en producir un combustible sólido mejorado o gránulos a partir de RSU” (Sharholy et al., 2008), este se produce a partir de residuos de papel, plástico, textiles, metales y otros residuos; utilizan como biomasa para la generación de electricidad y calor.

Landfilling o Vertederos (A₄): “Un vertedero es un área de tierra en la que se depositan residuos. El objetivo es evitar cualquier contacto entre los residuos y el entorno circundante, en particular las aguas subterráneas.” (Narayana, 2009).

Se considera la selección de los vertederos puesto que es el proceso que actualmente se le dan a los residuos, y se busca además realizar una comparación de lo que se hace actualmente con otras alternativas.

5 RESULTADOS

5.1 CONTEXTUALIZACIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

Roldanillo es un municipio ubicado al norte del departamento del Valle del Cauca, su principal economía es la agricultura la cual produce el 65% de los ingresos del municipio (Alcaldía de Roldanillo, 2007). Los principales cultivos son caña de azúcar, papaya, maíz, café, maracuyá y hortalizas; en menor grado de importancia la ganadería, esto contribuye a la generación de residuos orgánicos, de acuerdo a lo descrito en el planteamiento del problema de los 42 municipios del Valle del Cauca, Roldanillo se encuentra

en la posición 17, generando 17,92 toneladas en promedio de residuos por día en el año 2019 (Superservicios, 2020a).

El municipio cuenta con una empresa de aseo propia (Empresa de Servicios Públicos de Roldanillo S.A. E.S.P.), la cual tiene un cubrimiento del 100% en el área urbana, prestando su servicio de recolección de residuos sólidos domiciliarios, especiales y de corte de césped, como también, barrido de vías y áreas públicas. En las zonas rurales se cumple únicamente con la recolección de residuos domiciliarios. Los lugares donde la empresa de servicios públicos entrega su servicio son: Zona urbana del municipio de Roldanillo, Cajamarca, El Hobo, El Pie, Morelia, Higueroncito, Tierra Blanca, Santa Rita, el Retiro y el Palmar.

La empresa de servicios públicos de Roldanillo ejecuta procesos en la recolección de residuos sólidos, contando con un personal operativo de 31 personas quienes se encargan del barrido y limpieza y la recolección de residuos sólidos, especiales y corte de césped, que se realiza diariamente en el municipio. Cuenta actualmente con tres compactadores, un camión turbo y una camioneta, estos elementos son propios de la institución para uso exclusivo de los servicios que presta la empresa.

5.2 APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA AHP PARA LA PONDERACIÓN DE LOS CRITERIOS Y SUB-CRITERIOS

Según la Metodología establecida, se presentan los resultados para la segunda fase en dónde después de definir los criterios, y priorizar las estrategias de logística inversa, se procede a aplicar la herramienta multicriterio:

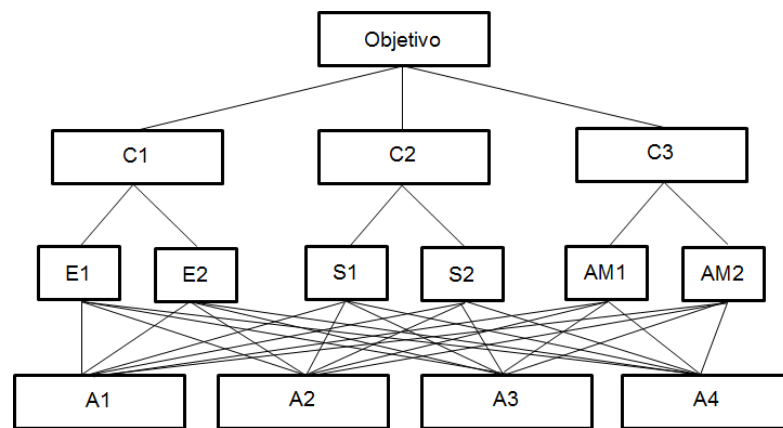
Como un **primer paso** se realiza la selección del grupo de expertos nacionales e internacionales para la evaluación de los criterios, subcriterios (evaluados con la herramienta AHP) y alternativas (evaluados con ELECTRE), los cuales tiene un alto conocimiento en la gestión y el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos, desde diferentes áreas y profesiones. A continuación, se describen cada uno:

- **Experto 1:** José Knudsen González. Profesor en el Departamento de Ingeniería Industrial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, Santa Clara, Cuba.
- **Experto 2:** Alcides Huamaní Peralta. Docente de la Facultad de Ingeniería Económica de la Universidad Nacional del Altiplano-Puno-Perú con maestría en la Universidad de los Andes de Bogotá con Beca del BID en Recursos Naturales y Medio Ambiente.

- **Experto 3:** Rajiv Jose Rocha Jerez. Ingeniero Ambiental y Sanitario, coordinador ambiental y metrología de Sociedad de Oncología y Hematología del Cesar S.A.S (SOHEC S.AS)
- **Experto 4:** Nasly Marleth Guzman Beleño. Ingeniera Ambiental y Sanitaria, ingeniera de proyectos en la empresa Selectronic SAS.
- **Experto 5:** Luis Fernando Marmolejo. Ingeniero Sanitario, Doctorado en Ing. Énfasis Ing. Sanitaria y Ambiental, profesor de la Universidad del Valle.
- **Experto 6:** Jenny Fabiana Gaviria Cuevas. Ingeniera Industrial. Doctorado en Ingeniería énfasis Ingeniería Industrial “Evaluación de la sostenibilidad de opciones tecnológicas para el aprovechamiento energético de la Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos-FORSU”

En el **segundo paso** se establece el árbol de jerarquía para AHP, el cual permite visualizar de una manera más gráfica el objetivo, los criterios, sub-criterios y alternativas del caso de estudio.

Figura 2 Árbol de jerarquía



Fuente: Autores

En el **tercer paso** se realizó la valoración de los criterios y los subcriterios definidos en el capítulo 4 por medio de la herramienta AHP (Analytical Hierarchy Process / Proceso de jerarquía analítica), en donde cada uno de los expertos evaluó la importancia de los criterios y subcriterios de acuerdo a la escala de Saaty (cada una de las respuestas de los expertos se podrán encontrar en el Anexo C), mediante una encuesta. Después de obtener los resultados se consolidaron las evaluaciones de los diferentes expertos en

una sola matriz basados en la media geométrica puesto que “los valores tienen menor influencia que en la media aritmética (Paz, 2007), en dónde en la matriz de criterios se obtuvo un índice de consistencia de **0,008179351**.

Posterior a esto se obtuvo la matriz de subcriterios, en dónde se usa también la media geométrica, dado que se está realizando una comparación de dos subcriterios; la literatura indica que el índice de consistencia es de **0**, finalmente se obtiene la matriz de ponderaciones de los sub criterios, después de multiplicar la ponderación de los criterios con cada sub criterio los resultados se presentan en la Tabla 8 (los resultados se muestran en el Anexo D)

Tabla 8. Ponderación de subcriterios con AHP

Costos operativos	0,078417274
Ingresos	0,087724538
Creación de empleo	0,26042144
Aceptación publica	0,239167379
Cantidad de residuos recuperados	0,156533931
Gases de efecto invernadero (GEI) liberados	0,177735438

Fuente: Autores

5.3 APLICACIÓN DE LA HERRAMIENTA ELECTRE

En la siguiente fase se aplica ELECTRE III, como **primer paso**; se aplicó la encuesta realizada a los expertos para hacer una evaluación de cada una de las alternativas propuestas frente a los subcriterios, se debe tener en cuenta que en este caso, cada subcriterio evalúa las alternativas dependiendo su finalidad, es decir, si este busca minimizar o maximizar el subcriterio evaluado, por ende varía el hecho de la ponderación, por tal motivo se realizó una introducción a los expertos a la hora de realizar la encuesta explicando que si el subcriterio busca minimizar el valor optimo será el más bajo, para este caso es 1 y el peor será el más alto. Por otro lado, si en caso contrario el subcriterio busca maximizar seria al revés, el valor óptimo sería 5 y 1 el peor de los casos; para determinar la escala se toma como base la escala que usa Barros y Rendina (Barros et al., 2002), presentada en la Tabla 9.

Tabla 9. Valores Numéricos y simbólicos para la matriz de decisión

VALORES

Simbólico	Numérico
=	1
-	2
0	3
+	4
++	5

Fuente: Barros y Rendina 2002

En la encuesta solo se pidió evaluar a los expertos con valores numéricos y en la herramienta se asignaban sus respectivos valores simbólicos; lo anterior con el fin de obtener la matriz de decisión para aplicar la herramienta híbrida (ver tabla 10).

Tabla 10. Valores Numéricos para la matriz de decisión de gestión de RSU orgánicos

	ECONOMICOS		SOCIALES		AMBIENTALES	
	Costos operativos (min)	Ingresos (Max)	Creación de empleo (Max)	Aceptación publica (Max)	Cantidad de residuos recuperados (Max)	Gases de efecto invernadero (GEI) liberados (min)
Combustible RFD	3	4	4	3	4	2
Biogás	2	4	4	3	4	2
Compostaje	2	4	4	3	4	2
Continuar con el Proceso Actual	3	2	2	2	1	4
PONDERACIONES	0,078417274	0,087724538	0,26042144	0,239167379	0,177735438	0,177735438

Fuente: Autores

En el segundo aspecto se realiza el cálculo de los valores mínimos, máximos y el rango para cada uno de los subcriterios y a partir de esto se construye la matriz normalizada, en donde se realiza una comparativa de las alternativas teniendo en cuenta los valores mínimos, máximos y el rango para cada uno de los criterios, esto con el fin de obtener la matriz de concordancia y el umbral de concordancia igual a **0.5**.

A continuación, se procedió a determinar la matriz ponderada con base en las ponderaciones obtenidas del método de AHP y la matriz de decisión, a partir de esta se realiza la evaluación de cada una de las alternativas en base a los subcriterios para determinar la matriz de discordancia y el umbral de discordancia con un valor de **0,633872972**.

Luego se realizan las matrices de dominancia concordante y discordante haciendo una evaluación de los umbrales de concordancia y discordancia frente a las matrices de concordancia y discordancia, esto con el fin de

desarrollar la matriz de dominancia agregada (Tabla 11) la cual va a determinar la sobre clasificación de cada una de las alternativas y por cual y cuántas están siendo sobre clasificadas.

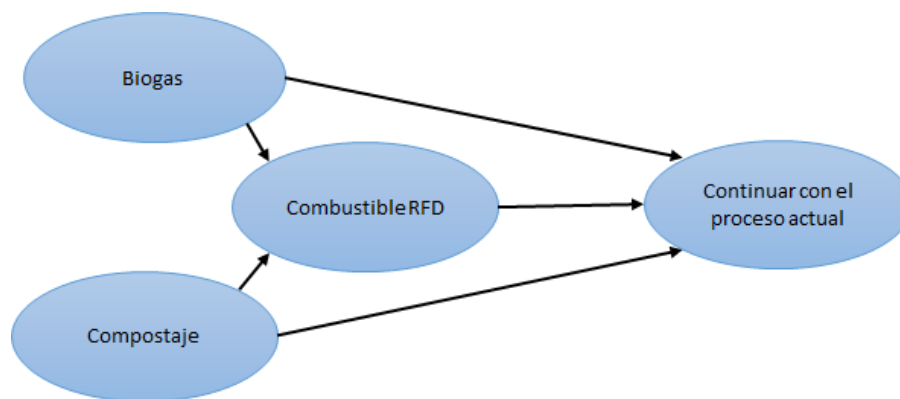
Tabla 11. Matriz de dominancia agregada para la gestión de RSU orgánicos

	Combustible RFD	Biogas	Compostaje	Continuar con el proceso actual	# de alternativas sobre clasificadas
Combustible RFD		0	0	1	1
Biogas	1		0	1	2
Compostaje	1	0		1	2
Continuar con el Proceso Actual	0	0	0		0
# de alternativas que lo sobre clasifican	2	0	0	3	

Fuente: Autores

Por último, a partir de esta matriz se realiza el gráfico de sobre clasificación de las alternativas (Figura 3), en donde de una manera más visual se puede observar qué alternativas sobreclasifica cada una y cuáles la sobreclasifican.

Figura 3. Gráfico de sobre clasificación de las alternativas



Fuente: Autores

Como resultado de la aplicación de la herramienta multicriterio híbrida se obtuvo que las mejores alternativas para su implementación son el biogás y el compostaje las cuales sobre clasifican a las demás alternativas, y que a su vez no muestran una sobre clasificación por parte de ninguna otra alternativa.

5.4 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

Se propone un análisis de sensibilidad que consiste en verificar la estabilidad en el ordenamiento de las alternativas al modificar arbitrariamente en un determinado monto y la ponderación relativa de los criterios de evaluación. (Avalos et al., 2012). De acuerdo a lo establecido, el valor de los criterios se varió en un $\pm 10\%$, con la finalidad de validar la mejor alternativa según el juicio de los expertos se obtuvo los siguientes resultados presentados en la Tabla 12 (Anexo E)

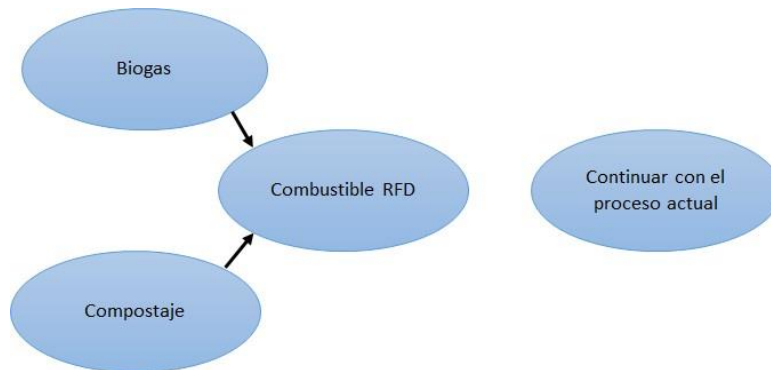
Tabla 12. Valores de la variación del vector de prioridades de la gestión de los RSU orgánicos

	Vector de prioridades	Vector de prioridades +10%	Vector de prioridades -10%	
Ambientales	0,166141812	0,149428344	0,182855281	Económicos
	0,49958882	0,482875351	0,516302288	Sociales
	0,334269368	0,367696305	0,300842432	Ambientales
Económicos	0,166141812	0,182755993	0,149527631	Económicos
	0,49958882	0,491281729	0,50789591	Sociales
	0,334269368	0,325962278	0,342576459	Ambientales
Sociales	0,166141812	0,141162371	0,191121253	Económicos
	0,49958882	0,549547701	0,449629938	Sociales
	0,334269368	0,309289927	0,359248809	Ambientales

Fuente: Autores

Durante las variaciones a los criterios se observa que las alternativas no presentan ningún tipo de cambio, salvo en el caso del aumento del 10% en el criterio ambiental, y la disminución del 10% en el criterio social, donde se presenta una discriminación de la alternativa nula excluyéndola totalmente en la sobre clasificación de la herramienta aplicada la cual se presenta en la figura 4. De esta manera, a pesar de la variación en el valor de los criterios principales, el resultado de las mejores alternativas (biogás y compostaje) a desarrollar cuentan con mayor robustez en su implementación.

Figura 4. Resultado de variación del criterio social en un -10% en la gestión de RSU orgánicos



Fuente: Autores

6 CONCLUSIONES

- Con base en la caracterización realizada en la gestión actual de residuos sólidos residenciales, se logró identificar que los actores que intervienen son la empresa del municipio de Roldanillo, la secretaria de ambiente y la CVC como entidades gubernamentales y reguladoras en los aspectos medioambientales de este proceso; por otra parte, las variables encontradas fueron el vertimiento per capital de residuos orgánicos por parte de las personas y entidades públicas y privadas del municipio.
- A partir de la literatura se logra definir que los criterios económicos, sociales y ambientales son relevantes para la evaluación del caso en cuestión, además se realiza una validación de estos y de sus respectivos subcriterios para tener un soporte en su aplicación como parámetros para determinar la alternativa más adecuada.
- Teniendo en cuenta la importancia de la logística inversa para la gestión de residuos, considerando alternativas relacionadas que determinan su aplicación en la recuperación de residuos sólidos orgánicos, se seleccionan el uso del combustible RFD, el biogás y el compostaje, sin dejar de lado la alternativa nula, la cual sería continuar con el proceso actual; todas fueron validadas por parte los expertos.
- Se estableció que durante el análisis de sensibilidad las alternativas biogás y compostaje, presentan mayor robustez, puesto que al variar los criterios de evaluación se observa los mismos resultados generando mayor confianza a la hora de aplicarlos.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca-Guerrero, L., Maas, G., & Hogland, W. (2015). Desafíos en la gestión de residuos sólidos para las ciudades de países en desarrollo. *Revista Tecnología en Marcha*, 28(2), 141.
<https://doi.org/10.18845/tm.v28i2.2340>
- Aguilar-virgen, Q., Vega, C. A., Taboada-gonzález, P., & Aguilar, X. M. (2010). Potencial de recuperación de residuos sólidos domésticos dispuestos en un relleno sanitario Potential Recovery of Domestic Solid Waste Disposed of in a Landfill. *Revista de Ingeniería*, 16-27.
- Alcaldia de Roldanillo. (2007). *De acuerdo a los lineamientos establecidos por parte de la Organización Mundial de la Salud (OMS), existe suficiente evidencia para indicar que la infección por el coronavirus (COVID-19), se transmite de persona a persona y que el mayor riesgo de mort.* 7, 1-18.
- Assamoi, B., & Lawryshyn, Y. (2012). The environmental comparison of landfilling vs. incineration of MSW accounting for waste diversion. *Waste Management*, 32(5), 1019-1030.
<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.10.023>
- Avalos, V., Dienes, A. H. de, & Rodriguez, J. (2012). *Galletas Sin Azúcar* . 11-13.
- Barros, M. J., Rendina, A. E., & Bargiela, M. F. (2002). Aplicación del Método ELECTRE para la evaluación de alternativas en la realización de un Estudio de Impacto Ambiental. *Revista Facultad de Agronomía*, 22(1), 69-77.
- Cardona, C. A., Sánchez, O., Ramírez, J., & Alzate, L. (2004). Biodegradación de Residuos Orgánicos de Plazas de Mercado. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 6(2), 78-89.
- CONPES, C. N. de P. E. y S. (2016). Política Nacional Para La Gestión Integral De Residuos Solidos. *Departamento Nacional de Planeación*, 73. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Económicos/3874.pdf>
- Don, D., & Doldán, J. C. (2010). *10 N CICA CyT 14.indd.pdf* (pp. 217-224).
https://www.palermo.edu/ingenieria/pdf2012/cyt/numero10/10N_ISEU_CyT14.pdf
- Dutta, P., Mishra, A., Khandelwal, S., & Katthawala, I. (2020). A multiobjective optimization model for sustainable reverse logistics in Indian E-

- commerce market. *Journal of Cleaner Production*, 249, 119348.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119348>
- Franchetti, M., & Kilaru, P. (2012). Modeling the impact of municipal solid waste recycling on greenhouse gas emissions in Ohio, USA. *Resources, Conservation and Recycling*, 58, 107-113.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.11.004>
- Galindo, A. M. (2015). *Reciclaje de residuos orgánicos: La vermicomposta - Blog de ifeel maps*. <https://www.ifeelmaps.com/blog/2015/02/reciclaje-de-residuos-organicos--la-vermicomposta>
- Gómez, E. D., & Pago, C. D. E. (2015). *Empresa de servicios publicos de roldanillo s.a. e.s.p.* 2-10.
- Gruenwald, H. (2016). Waste management - Reverse logistics Thailand preparing for Asean. *Jurnal Teknologi*, 78(5-4), 95-98.
<https://doi.org/10.11113/jt.v78.8557>
- Hammes, G., De Souza, E. D., Taboada Rodriguez, C. M., Rojas Millan, R. H., & Mojica Herazo, J. C. (2020). Evaluation of the reverse logistics performance in civil construction. *Journal of Cleaner Production*, 248.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119212>
- Hokkanen, J., & Salminen, P. (1997). Choosing a solid waste management system using multicriteria decision analysis. *European Journal of Operational Research*, 98(1), 19-36. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(95\)00325-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(95)00325-8)
- Hurtado, T., & Bruno, G. (2005). El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. *Tesis Digitales UNMSM*, 3, 100.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ishizaka, A., & Nemery, P. (2013). *Multi-Criteria Decision Analysis*.
- Maquera, G. (2013). Logística verde e Inversa, Responsabilidad Universitaria Socioambiental Corporativa y Productividad. *Apuntes Universitarios*, 0(1), 31-54. <https://doi.org/10.17162/au.v0i1.16>
- María Moreno-Jiménez, J. (2014). *Selección Multicriterio De Un Sistema Erp Mediante Las Metodologías Ahp Y Anp. July 2014*.
<https://www.researchgate.net/publication/255670564>
- Martowibowo, S., & Riyanto, H. (2011). Suitable multi criteria decision analysis tool for selecting municipal solid waste treatment in the city of

- bandung. *Journal of KONES*, 18(4), 273-280.
- Merrild, H., Larsen, A. W., & Christensen, T. H. (2012). Assessing recycling versus incineration of key materials in municipal waste: The importance of efficient energy recovery and transport distances. *Waste Management*, 32(5), 1009-1018. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.12.025>
- Milutinović, B., Stefanović, G., Dassisti, M., Marković, D., & Vučković, G. (2014). Multi-criteria analysis as a tool for sustainability assessment of a waste management model. *Energy*, 74(C), 190-201. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.05.056>
- Ministerio de Desarrollo Económico y el Ministerio de Medio Ambiente. (2008). *DECRETO 1713 DE 2002*. 49, 69-73.
- Moreno, J. (2002). El Proceso Análítico Jerárquico (AHP). Fundamentos, metodologías y aplicaciones. *Recta monográfico*, 1, 21-53.
- Narayana, T. (2009). Municipal solid waste management in India: From waste disposal to recovery of resources? *Waste Management*, 29(3), 1163-1166. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2008.06.038>
- Pan, X., Xie, Q., & Feng, Y. (2020). Designing recycling networks for construction and demolition waste based on reserve logistics research field. *Journal of Cleaner Production*, 260, 120841. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120841>
- Paz, K. (2007). Media Aritmética Simple. *Facultad de Ingeniería*, 07, 1-13. http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_07_BAS01.pdf
- Penagos Vargas, J. W., Adarraga Buzón, J., Aguas Vergara, D., & Molina, E. (2011). Reducción de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia por medio del Compostaje Líquido. *Ingeniare*, 11, 37. <https://doi.org/10.18041/1909-2458/ingeniare.11.643>
- Pineda, J. (2000). *Problema Ambiental De Basuras, Residuos Solidos*. <https://encolombia.com/medio-ambiente/interes-a/problema-ambiental-basura/>
- Pruppacher, H. R. (1981). Realidad, Impacto y Oportunidades de los Biocombustibles en Guatemala (Sector Productivo). *Clouds: their formation, optical properties, and effects*, 93-186. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-350720-4.50008-9>
- Rentero, A. (2018). *La logística inversa: ¿qué es y para qué sirve?* - Blog de Hiberus Tecnología. Blog.Crecemos.Contigo.

<https://www.hiberus.com/crecemos-contigo/la-logistica-inversa-que-es-y-para-que-sirve/>

- RSU. (2019). Residuos orgánicos - ConsorciorSU. En 2019.
<http://www.consorciorsumalaga.com/5936/residuos-organicos>
- Salvador, A. R. (2013). INCINERACION de RESIDUOS SOLIDOS URBANOS. *Dpto. de Ingeniería Química. Facultad de CC. Químicas. Universidad Complutense de Madrid.*, March, 327-331.
- Savran, V., Piñón, M. R. D., & Palacios, J. S. A. (2012). Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores Production of biogas and biofertilizers from biodigester effluents. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 219-226.
- Sharholly, M., Ahmad, K., Mahmood, G., & Trivedi, R. C. (2008). Municipal solid waste management in Indian cities - A review. *Waste Management*, 28(2), 459-467. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.02.008>
- Superservicios. (2020a). Informe Nacional de Disposición Final de Residuos Sólidos. *Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios*, 142.
- Superservicios. (2020b). *República de Colombia Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios*.
- Taboada-González, P., Aguilar-Virgen, Q., & Márquez-Benavides, L. (2017). Recyclables valorisation as the best strategy for achieving landfill CO₂e emissions abatement from domestic waste: Game theory. *Sustainability (Switzerland)*, 9(7). <https://doi.org/10.3390/su9071154>
- Torres, Á. M. N., González, J. M. T., & Torres, A. P. N. (2017). Gestión de residuos sólidos domiciliarios en la ciudad de Villavicencio. Una mirada desde los grupos de interés: Empresa, estado y comunidad. *Revista Luna Azul*, 44, 177-187. <https://doi.org/10.17151/luaz.2017.44.11>
- Tosarkani, B. M., Amin, S. H., & Zolfagharinia, H. (2020). A scenario-based robust possibilistic model for a multi-objective electronic reverse logistics network. *International Journal of Production Economics*, 224(November 2019), 107557. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.107557>
- Villegas, A. (2019). *APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS EN LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES*.
- Zarbakhshnia, N., Wu, Y., Govindan, K., & Soleimani, H. (2020). A novel hybrid multiple attribute decision-making approach for outsourcing sustainable reverse logistics. *Journal of Cleaner Production*, 242,

118461. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118461>

Zurbrügg, C., Gfrerer, M., Ashadi, H., Brenner, W., & Küper, D. (2012).
Determinants of sustainability in solid waste management - The Gianyar
Waste Recovery Project in Indonesia. *Waste Management*, 32(11), 2126-
2133. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.01.011>

8 ANEXOS

Anexo A [Tabla de criterios y subcriterios encontrados en la literatura](#)

Autores	Costo neto por tonelada	Costos de inversión	Costo permanente	Incrementación en la producción final producida por proyecto, cantidad de diferentes sub-criterios	Costos operativos	Probabilidad de que el proyecto pierda dinero	Predictibilidad de la tecnología	Ingresos	Costo del combustible	Presupuesto	Garantizar la elección en las condiciones de la flota	Incentivo en innovación para facilitar el proceso	Conservación de recursos	Coste total de recicladores	Costo de transporte	Valor actual neto (VAN)	Seguridad del trabajador
(Baklanov & Salminen, 1997)	x																
(Mishchenko et al., 2014)		x			x			x	x								
(Contreras et al., 2009)					x												
(Martovskoy & Paganó, 2011)	x							x									
(Vogel et al., 2010)	x	x			x												
(El-Hachem & El-Zein, 2010)																	
(Matsuo et al., 2008)																	
(Rodríguez et al., 2008)	x	x			x			x	x	x	x	x					
(Diehl et al., 2009)								x					x	x	x		
(Lorenz & Prasad, 2009)																x	
(Bhatnagar, 2009)					x			x		x							
(Larrán et al., 2014)																	
(Chen et al., 2013)																	
(Mendes et al., 2012)										x							
(Wilson et al., 2005)																	
(Phonphoton & ...)	x				x												

Anexo B [Encuesta a expertos sobre la validación de los criterios subcriterios y alternativas](#)

B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
			¿Aplica como	¿Cuál es el nivel de pertinencia?							
			Si	No	1	2	3	4	5		
	SB1	Costos de inversión									
	SB2	Costos operativos									
	SB3	Ingresos									
	SB4	Costo de transporte									
	SB5	Efectos sobre la									
	SB6	Emisiones dispersas en aguas									
	SB7	Reducción del volumen de residuos									
	SB8	Cantidad de residuos recuperados									
	SB9	Gases de efecto invernadero (GEI) liberados									
	SB10	Consumo de energía									
	SB11	Creación de empleo									
	SB12	Aceptación pública									

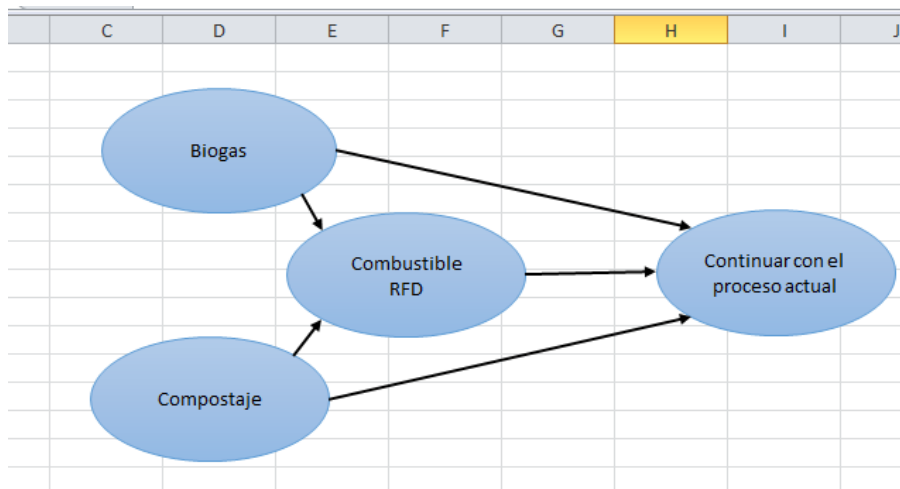
Anexo C Evaluación a expertos sobre los criterios, subcriterios y alternativas

EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS FRENTE A CADA CRITERIO						VALORES	
A partir de la escala de Barros y Rendina (1999), para la evaluación de las diferentes alternativas frente a los diversos subcriterios, se busca otorgar una ponderación en cada comparativa para el desarrollo de la matriz de decisión en base al conocimiento y experiencia de los diferentes expertos. Para la evaluación de cada subcriterio se debe tener en cuenta la finalidad de este, es decir, si se busca minimizarlo el mejor valor para este caso sería en las bajo (1), pero en caso contrario si lo ideal es maximizar el subcriterio el mejor valor sería el mas alto (5).						Simbolico	Numerico
						=	1
						-	2
						0	3
						+	4
						++	5
ECONOMICOS		SOCIALES		AMBIENTALES			
Costos operativos (min)	Ingresos (max)	Creación de empleo (max)	Aceptación publica (max)	Cantidad de residuos recuperados (max)	Gases de efecto invernadero (GEI) liberados (min)		
Combustible RFD							
Biogas							
Compostaje							
Continuar con el Proceso Actual							

[Encuesta Alcides](#)
[Encuesta Fabiola](#)
[Encuesta Knudsen](#)
[Encuesta Luis](#)
[Encuesta Nasly](#)
[Encuesta Rajiv](#)

Anexo D [Herramienta multicriterio hibrida](#)

C	D	E	F	G	H	I	J
ECONOMICOS		SOCIALES		AMBIENTALES			
	Costos operativos (min)	Ingresos (max)	Creación de empleo (max)	Aceptación publica (max)	Cantidad de residuos recuperados (max)	Gases de efecto invernadero (GEI) liberados (min)	
Combustible RFD	3	4	4	3	4	2	
Biogas	2	4	4	3	4	2	
Compostaje	2	4	4	3	4	2	
Continuar con el Proceso Actual	3	2	2	2	1	4	
PONDERACIONES	0,07841727	0,08772454	0,26042144	0,23916738	0,177735438	0,177735438	
ECONOMICOS		SOCIALES		AMBIENTALES			
VALORES	Costos operativos (min)	Ingresos (max)	Creación de empleo (max)	Aceptación publica (max)	Cantidad de residuos recuperados (max)	Gases de efecto invernadero (GEI) liberados (min)	
MINIMOS	2	2	2	2	1	2	
MAXIMOS	3	4	4	3	4	4	
RANGO	1	2	2	1	3	2	



Anexo E [Análisis de sensibilidad](#)

A	B	C	D	E
	Vector de prioridades	Vector de prioridades +10%	Vector de prioridades -10%	
Ambientales	0,166141812	0,149428344	0,182855281	Economicos
	0,49958882	0,482875351	0,516302288	Sociales
	0,334269368	0,367696305	0,300842432	Ambientales
Económicos	0,166141812	0,182755993	0,149527631	Economicos
	0,49958882	0,491281729	0,50789591	Sociales
	0,334269368	0,325962278	0,342576459	Ambientales
Sociales	0,166141812	0,141162371	0,191121253	Economicos
	0,49958882	0,549547701	0,449629938	Sociales
	0,334269368	0,309289927	0,359248809	Ambientales