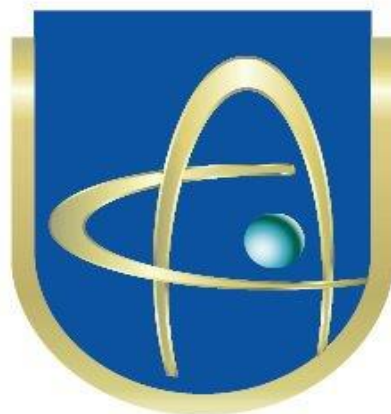


**DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS
SÓLIDOS URBANOS QUE GENERAN LOS MUNICIPIOS DE POPAYÁN Y
TIMBÍO DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA**



**CORPORACION UNIVERSITARIA
AUTONOMA
DEL CAUCA**

OMAR GENTIL GRUESO HURTADO

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA**

POPAYÁN-CAUCA

2017

**DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS
SÓLIDOS URBANOS QUE GENERAN LOS MUNICIPIOS DE POPAYÁN Y
TIMBÍO DEL DEPARTAMENTO DEL CAUCA**



OMAR GENTIL GRUESO HURTADO

Trabajo de Grado modalidad pasantía para optar al título de

INGENIERO AMBIENTAL Y SANITARIO

Director: FABIÁN FERNÁNDEZ

Título: Ingeniero Ambiental

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
POPAYÁN-CAUCA**

2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

El director y los jurados asignados al trabajo de grado modalidad pasantía titulado: **“DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD ENERGÉTICA DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS QUE GENERAN LOS MUNICIPIOS DE POPAYÁN Y TIMBÍO DEL DEPARTAMENTO DEL CUACA”**. Desarrollado por: OMAR GENTIL GRUESO HURTADO, una vez sea revisado el documento final del trabajo y aprobada la sustentación del mismo, autorizan la realización de los trámites pertinentes para optar al título correspondiente de: Profesional en el área de Ingeniería Ambiental y Sanitaria.

Firma del director del Trabajo de Grado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

DEDICATORIA

Primero que todo a DIOS todo Poderoso por permitirme llegar a este mundo y brindarme la oportunidad de alcanzar esta etapa en mi vida.

Una dedicación muy especial de este logro a mis padres LUZ DARY HURTADO GRUESO Y NORMAN GRUESO GRUESO; las personas más espectaculares del mundo que por su inmenso apoyo, motivación y desempeño, inculcaron en mí el valor de la sencillez, humildad, honestidad, el esfuerzo y sacrificio en tener en cuenta para sobresalir adelante con cada una de mis obligaciones y compromisos, buscando siempre solución a las adversidades.

A mis hermanos MARÍA JAKELINE GRUESO HURTADO y MANUEL DAVID GRUESO HURTADO y a mi abuela MATILDE GRUESO HINESTROZA por ese apoyo incondicional y acompañamiento durante este largo camino.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios el todo poderoso por haber permitido llegar a este mundo a aprender y gozar de cosas maravillosas.

Mi congratulación profundamente para mis padres: LUZ DARY HURTADO GRUESO y NORMAN GRUESO GRUESO por ser esos seres tan maravillosos que por su gran amor incondicional forjaron todo el apoyo y sacrificio de su parte para que mi persona pudiera lograr alcanzar una meta más en mi etapa de vida.

A mi abuela MATILDE GRUESO HINESTROZA que siempre me ha consentido y brindado amor, consejos y regaños que me permitieron crecer como persona. También a mis hermanos MANUEL DAVID GRUESO HURTADO y MARIA JACKELINE GRUESO HURTADO por sus confianza y apoyo.

A mis tíos por todo el apeo manifestado para mi persona en toda la etapa de mi formación.

Agradezco a la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca y sus docentes por manifestarme los conocimientos permitiéndome alcanzar la profesión de Ingeniero Ambiental y Sanitario.

Mi gratitud para la empresa ASERHI S.A.S E.S.P. y sus integrantes: El ingeniero YHON ELKIN GIRALDO ARISTIZABAL, la Doctora LEIDY ROCÍO NIÑO CAMACHO, la Doc. FRANCY, la ingeniera SANDRA y demás miembros que la conforma. Por acogerme en la fase final de mi carrera profesional permitiéndome con todo su apoyo desarrollar mi trabajo de grado.

A mis compañeros colegas y amigos por compartir momentos gratos y difíciles donde mutuamente se pudo intercambiar conocimientos.

A FABIÁN FERNÁNDEZ director de este trabajo por su orientación.

CONTENIDO

RESUMEN	15
INTRODUCCIÓN	17
1 CAPÍTULO I: PROBLEMA.....	19
1.1 Planteamiento del problema	19
1.2 Justificación	21
1.3 Objetivos.....	23
1.3.1 Objetivo General.....	23
1.3.2 Objetivos Específicos.....	23
2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL.....	24
2.1 Panorama sobre los residuos sólidos.....	24
2.2 Antecedentes.....	25
2.2.1 Internacionales.....	25
2.2.2 Nacionales	32
2.3 Municipio de Popayán	34
2.3.1 Características del municipio	34
2.3.2 Localización	37
2.3.3 Población	37
2.3.4 Economía de la región	38
2.4 Municipio de Timbío.....	38
2.4.1 Características del municipio	38
2.4.2 Localización	39
2.4.3 Población	39
2.4.4 Economía de la región	40
2.5 Conceptos básicos sobre residuos sólidos	41
2.5.1 Aprovechamiento	41
2.5.2 Desarrollo sostenible	41

2.5.3 Disposición final de residuos sólidos	42
2.5.4 Gestión ambiental	42
2.5.5 Plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS)	43
2.5.6 Producción diaria per cápita.....	43
2.5.7 Reciclaje	43
2.5.8 Residuos sólidos.....	43
2.5.9 Reutilización.....	45
2.6 Bases teóricas y consideraciones generales sobre los residuos sólidos	45
2.6.1 Lugar de trabajo y desarrollo de la pasantía	45
2.6.2 Misión.....	45
2.6.3 Visión	46
2.6.4 Política integrada	46
2.6.5 Gestión Integral de los Residuos Sólidos-GIRS.....	46
2.6.6 Valorización energética de los residuos sólidos.....	52
2.7 Marco normativo relacionado con la gestión de los residuos sólidos urbanos en Colombia	61
2.7.1 Constitución Política de Colombia	61
3 CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	64
3.1 FASE 1: DIAGNÓSTICO AMBIENTAL	64
3.1.1 Actividad 1. Revisión de literatura.....	64
3.1.2 Actividad 2. Socialización del proyecto	65
3.1.3 Actividad 3. Colección de información directa.....	65
3.1.4 Actividad 4. Estimación de la producción per-cápita.....	66
3.2 FASE 2: ESTIPULACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS	67
3.2.1 Actividad 1. Estipular el potencial energético de los residuos.....	67
3.3 FASE 3: FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS	72
3.3.1 Actividad 1. Formular una estructura de aprovechamiento de los desechos sólidos como medida de manejo integral de los mismos.....	72

4	<i>CAPÍTULO IV: RESULTADOS</i>	73
4.1	Resultados del municipio de Popayán	74
4.1.1	Diagnóstico sobre la generación de residuos sólidos	74
4.1.2	Estimación del poder calorífico	82
4.1.3	Capacidad energética mensual de los residuos sólidos urbanos que genera el municipio de Popayán.....	83
4.2	Resultados del municipio de Timbío	86
4.2.1	Diagnóstico sobre la generación de residuos sólidos	86
4.2.2	Estimación del poder calorífico	90
4.2.3	Capacidad energética mensual de los residuos sólidos urbanos que genera el municipio de Timbío.....	92
5	<i>CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS</i>	95
6	<i>CAPÍTULO VI: ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO Y MANEJO CORRECTO DE DESECHOS SÓLIDOS URBANOS</i>	97
7	<i>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	105
7.1	Conclusiones	105
7.2	Recomendaciones	106
8	<i>BIBLIOGRAFÍA</i>	107
9	<i>ANEXOS</i>	112

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1 Gestión de RSU por Estados miembros de la UE (2008)</i>	27
<i>Tabla 2 Generación, recolección y proyección de residuos en África para el año 2012–2025</i>	32
<i>Tabla 3 Proyección de la población del municipio de Timbío 2010 – 2020</i>	40
<i>Tabla 4 Clasificación de los residuos sólidos según la GTC 24 de 2009</i>	50
<i>Tabla 5 Código de colores para la separación en la fuente según la GTC 24 de 2009</i>	51
<i>Tabla 6 Valores típicos del contenido energético de los residuos sólidos domésticos</i>	60
<i>Tabla 7 Normativa Colombiana sobre la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos</i>	62
<i>Tabla 8 Valores Indicativos de la Producción per cápita para municipios colombianos (Kg/hab – día)</i>	67
<i>Tabla 9 Asignación del nivel de complejidad</i>	67
<i>Tabla 10 Análisis próximo y datos energéticos típicos para materiales encontrados en los residuos sólidos domésticos, comerciales e industriales</i>	70
<i>Tabla 11 Valores energéticos para materiales encontrados en los residuos sólidos domésticos, comerciales e industriales</i>	72
<i>Tabla 12 Generación de residuos sólidos en el municipio de Popayán durante septiembre 2015 a septiembre 2016</i>	75
<i>Tabla 13 Composición física de los residuos en el casco urbano de Popayán</i>	76
<i>Tabla 14 Porcentaje por Componentes de residuos sólidos que llegan al sitio de disposición final – Relleno sanitario Los Picachos</i>	77
<i>Tabla 15 Peso seco de los residuos generados en Popayán</i>	79
<i>Tabla 16 Proyección en la generación de residuos sólidos en el casco urbano del municipio de Popayán – Cauca, 2016 – 2028</i>	80
<i>Tabla 17 Producción per cápita de residuos sólidos Municipio de Popayán</i>	80
<i>Tabla 18 Población de Popayán para los últimos tres años (2015 – 2016)</i>	81
<i>Tabla 19 Porcentaje de la composición del peso seco y PCI de los RSU generados diariamente en el municipio de Popayán</i>	82

<i>Tabla 20 Resultados de la capacidad energética de los residuos sólidos urbanos del municipio de Popayán</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 21 Composición física de los residuos sólidos en el casco urbano del municipio de Timbío</i>	<i>87</i>
<i>Tabla 22 Contenido de humedad del material que llega al sitio de disposición de los residuos sólidos generados en el sector urbano de Timbío</i>	<i>88</i>
<i>Tabla 23 Contenido de humedad y porcentaje de la composición seca de los RSU generados en la zona urbana del municipio de Timbío</i>	<i>91</i>
<i>Tabla 24 Estimación del poder calorífico inferior de los desechos sólidos generados en el casco urbano del municipio de Timbío</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 25 Resultados de la capacidad energética de los residuos sólidos urbanos del municipio de Timbío</i>	<i>93</i>

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 Propiedades para la prevención y tratamiento de residuos.....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 2 Alternativas para la recuperación de residuos</i>	<i>29</i>
<i>Figura 3 Localización geográfica del municipio de Popayán.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 4 Localización geográfica del municipio de Timbío</i>	<i>39</i>
<i>Figura 5 Ciclo de los residuos sólidos</i>	<i>47</i>
<i>Figura 6 Ejemplo diagrama de proceso de planta de Pirólisis.....</i>	<i>53</i>
<i>Figura 7 Esquema del proceso de Gasificación</i>	<i>54</i>
<i>Figura 8 Diagrama de bloques de una planta de incineración</i>	<i>55</i>
<i>Figura 9 Esquema de una Planta de Clasificación y Compostaje</i>	<i>100</i>

LISTA DE GRAFICAS

<i>Gráfica 1 Distribución de Sistemas de disposición Final - año 2010.....</i>	<i>33</i>
<i>Gráfica 2 Distribución de Sistemas de disposición Final - año 2014.....</i>	<i>33</i>
<i>Gráfica 3 Variación de la temperatura anual del municipio de Popayán</i>	<i>35</i>
<i>Gráfica 4 Variación de la precipitación anual del municipio de Popayán</i>	<i>36</i>
<i>Gráfica 5 Variación de la humedad relativa anual del municipio de Popayán</i>	<i>36</i>
<i>Gráfica 6 Dinámica poblacional de Popayán.....</i>	<i>38</i>
<i>Gráfica 7 Distribución poblacional municipio de Timbío</i>	<i>40</i>
<i>Gráfica 8 Tendencia de la generación de los residuos sólidos en el casco urbano de Popayán.....</i>	<i>75</i>
<i>Gráfica 9 Composición física por componente de los RSU en el casco urbano de Popayán.....</i>	<i>77</i>
<i>Gráfica 10 Composición en porcentaje de RSU que llegan al relleno sanitario Los Picachos por parte de los 15 municipios que depositan en él.....</i>	<i>78</i>
<i>Gráfica 11 Capacidad del poder calorífico inferior de los residuos sólidos que se generan en el casco urbano de Popayán.....</i>	<i>85</i>
<i>Gráfica 12 Capacidad energética de los residuos sólidos urbanos del municipio de Popayán.....</i>	<i>85</i>
<i>Gráfica 13 Residuos sólidos más representativos que se generan en el sector urbano del municipio de Timbío según resultado de la encuesta.....</i>	<i>86</i>
<i>Gráfica 14 Porcentaje de la composición de los RSU en el casco urbano de Timbío</i>	<i>87</i>
<i>Gráfica 15 Poder calorífico inferior de los residuos sólidos que se generan en el casco urbano de Timbío.....</i>	<i>94</i>
<i>Gráfica 16 Capacidad energética de los residuos sólidos urbanos del municipio de Timbío</i>	<i>94</i>
<i>Gráfica 17 Valores del Poder calorífico de los RSU desechados en los municipios de Timbío vs Popayán.....</i>	<i>96</i>

LISTA DE CUADROS

<i>Cuadro 1 Método para estimar el poder calorífico de la basura.....</i>	<i>68</i>
<i>Cuadro 2 Jerarquía para el correcto manejo de los residuos sólidos urbanos....</i>	<i>102</i>
<i>Cuadro 3 Etapas para el manejo correcto de los residuos sólidos.....</i>	<i>104</i>

LISTA DE ANEXOS

<i>Anexo 1 Formato de encuesta para la recolección de información</i>	<i>112</i>
<i>Anexo 2 Encuestas realizada a la ingeniera Yuli Zapata Flórez residente de los rellenos sanitarios El Ojito y Los Picachos de la ciudad de Popayán.....</i>	<i>116</i>
<i>Anexo 3 Encuesta realizada al técnico operativo de la empresa prestadora del servicio de aseo de Timbío EMTIMBÍO E.S.P.....</i>	<i>119</i>
<i>Anexo 4 Encuestas realizada a persona recuperadora de residuos sólidos aprovechables en el municipio de Timbío</i>	<i>122</i>
<i>Anexo 5 Demanda energética de Popayán según Compañía Energética de Occidente</i>	<i>125</i>
<i>Anexo 6 Registros Fotográficos</i>	<i>127</i>

RESUMEN

La gestión inadecuada de los residuos sólidos urbanos en la actualidad ha dejado preocupaciones por sus innumerables repercusiones para con el ambiente y la sociedad, por ello las políticas de gestión son cada vez más cambiantes pero poca aplicada en el desarrollo de la mismas.

El presente trabajo en modalidad pasantía, se desarrolló con apoyo de la empresa ASERHI S.A.S. E.S.P, quien acogió esta pasantía para con el fin de diagnosticar los municipios del centro y costa pacífica del departamento del Cauca en el campo de la generación y gestión integral de los residuos sólidos urbanos (RSU), y determinar así como trabajo de grado la capacidad energética de los desechos sólidos de los municipios de Timbío y Popayán teniendo claro la visión de establecer una línea base para la prospección de soluciones frente al inadecuado manejo de los RSU mediante la creación de Estaciones de Clasificación y Aprovechamiento de residuos sólidos, ECA, en la cual se clasifiquen los elementos que sean desechados por los habitantes y se dé el paso a la valorización energética de los no re-provechables, no solo en dichos municipios sino en toda la región caucana resaltando de esta manera la importancia y necesidad de aprovechar los materiales que son re-utilizables en sus diferentes maneras como estrategia preventiva, conservadora y uso óptimo de los recursos naturales (RN) que nos apremia a nosotros velar por su conservación y por las generaciones futuras.

Palabras Claves: Residuos sólidos urbanos (RSU), gestión integral de residuos sólidos, poder calorífico inferior (PCI), capacidad calorífica, valorización energética de los residuos sólidos urbanos.

SUMMARY

The inadequate management of urban solid waste today has left concerns because of its innumerable repercussions on the environment and society, so management policies are increasingly changing but little applied in the development of them.

The present work in an internship mode was developed with the support of ASERHI S.A.S. ESP, who hosted this internship in order to diagnose the municipalities of the central and Pacific coast of the Department of Cauca in the field of the generation and integral management of urban solid waste (MSW), and to determine, as well as grade work, the energy capacity of Solid waste from the municipalities of Timbío and Popayan with a clear vision of establishing a baseline for the prospecting of solutions to the inadequate management of (MSW) through the creation of Stations for Classification and Use of Solid Waste, (ECA), in which To classify the elements that are discarded by the inhabitants and to take the step to energy valorization of the non-reusable, not only in these municipalities but throughout the Cauca region, thus highlighting the importance and necessity of taking advantage of materials that are re-usable in their different ways as preventive strategy, conservative and optimal use of the recurs natural (RN) that urges us to watch over its conservation and for future generations.

Key words: *Municipal solid waste (MSW), solid waste management, to lower calorific value (PCI), heat capacity, energy recovery of municipal solid waste.*

INTRODUCCIÓN

Los Residuos Sólidos Urbanos (RSU) han ocasionado perjuicios ambientales y de sanidad por numerosas causas que residen en la calidad de fabricación de los materiales donde se disponen los productos de consumo, el rápido crecimiento demográfico concentrándose en mayoría en las urbes elevando las necesidades básicas de supervivencia que genera alta demanda de consumo, la falta de educación ambiental e interés por la optimización de los Recursos Naturales (RN) y especialmente la inadecuada disposición final que se les otorga a los residuos.

El incremento de los residuos sólidos generados por el hombre se está convirtiendo en un grave problema para la sociedad. Gran parte de esta cantidad de residuos son reciclados o destinados a su depósito en un vertedero controlado. Pero sin embargo existe una alternativa a estos dos procesos que cada año aumenta su presencia e implantación. Se trata de la valorización con recuperación energética de estos residuos; los cuales se someten a ciertos procesos, de forma que se reduce a su volumen y se generan, por un lado, unas pequeñas cantidades de residuos y, a su vez, energía proveniente de los materiales contenidos.[1].

En la actualidad se han tratado de buscar solución a este problema, implementando la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS), de la cual hace parte una integralidad de procesos que van desde: separación en la fuente (orgánico, reciclaje e inservible), transformación para aquellos que los permitan hasta la disposición final de los mismos que no pueden ser reciclados [2], [3]; sin embargo no es esta la única solución a este problema, existen métodos como la incineración la cual permite además de desaparecer los residuos de maneja mejor controlada frente a los impactos que generan estos, la posibilidad de aprovechar su poder calórico con fin energético para la generación de energía eléctrica.

Es el caso de nuestro Departamento del Cauca donde manejar adecuadamente los desechos se han convertido en un verdadero reto humano, ya que estos son causas de la contaminación de los recursos hídricos y con ello generación de epidemias e infecciones, deterioro de los paisajes y demás aspectos que se relacionan directa o indirectamente con el medio ambiente y la salud de las personas. Es por ello que

se pretende desde un enfoque teórico, buscar otra alternativa que además de implicar las políticas de la gestión integral de residuos sólidos (GIRS) ya establecidas, permita optimizar y aprovechar los residuos generados en el día a día como la posibilidad de hacer beneficio energético de los residuos mediante la determinación de la capacidad o valoración energética de los mismos en su incineración, tomando como caso de estudio la generación de RSU de los municipios Caucanos Popayán y Timbío.

Lo anterior atendiendo el compromiso por alcanzar el desarrollo sostenible el cual según la Asamblea General de las Naciones Unidas “*el desarrollo sostenible se define como la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades*” [4].

1 CAPÍTULO I: PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

La existencia de los residuos sólidos en nuestro planeta radica desde el momento en el que hombre apareció en él, hace unos 4.000 millones de años, época donde el problema de los residuos con el ambiente y la humanidad era imperceptible, pues en ese entonces la población era superlativamente pequeña y la frecuencia con la que se generaba los desechos era exigua (diminuta), y además el terreno para su disposición era mayor. Sin embargo, la convicción de los problemas notorios de los residuos inició con el desarrollo de la sociedad moderna, no solo en el aspecto referido a la cantidad de residuos que ésta genera, sino, y de manera importantísima, a la calidad de los mismos [5].

El manejo inadecuado de los residuos sólidos generados por las actividades del hombre y la creciente demanda poblacional en las grandes urbes, han sido una gran preocupación para la humanidad, en donde, actualmente la disposición final de los residuos sólidos urbanos – RSU ha sido y sigue siendo una problemática sin soluciones adecuadas.

El desarrollo económico y la industrialización basado en la explotación inmoderada de los recursos básicos de la tierra, condujo a transformaciones en la vida del campo y a constantes fluctuaciones poblacionales hacia las grandes ciudades que se fueron formando a través de procesos de urbanización alterados [6]; lo que ha conllevado al aumento sostenido del consumo de productos por todas las sociedades del mundo incrementando significativamente el crecimiento del volumen y la composición de los residuos sólidos municipales [7]. Esta tendencia consumista repercute en el aumento de manera significativa en cuanto a cantidad y complejidad de los residuos para su adecuada gestión [6]; lo cual en un principio no era motivo de preocupación, pues su eliminación se originaba de modo más natural.

En Colombia, el 45% de las viviendas ubicadas en las cabeceras urbanas de toda la población, no cuentan con servicio de aseo, utilizando como métodos de disposición final el enterramiento, botaderos a cielo abierto, quemas incontroladas

y vertimientos de los residuos a fuentes hídricas [8]; siendo la gestión de los mismos uno de los problemas más acuciantes de la responsabilidad municipal, que no solamente consumen una gran parte de los recursos municipales, sino que están presentando graves problemas de contaminación por la cada vez mayor demanda de vertederos e incineradoras necesarios para intentar reducir la carga medio-ambiental que están generando los RSU [9].

En el caso del departamento del Cauca en la actualidad cuenta con 42 municipios entre ellos Timbío y la capital Popayán, con poblaciones que van desde los 30.000 mil hasta los 265.000 mil habitantes; esta región caucana en sus actividades económicas se destacan la agricultura, ganadería, la minería, el comercio y el turismo. En razón a esto se evidencia un consumo descontrolado de productos dando origen al aumento del volumen de los residuos sólidos urbanos, debido a la falta de conocimiento e interés por los aspectos ambientales y sanitarios; que, pese a la utilización de rellenos sanitarios que reduce los efectos socio-ambientales, la falta de una gestión integral adecuada para la disposición final de los RSU, ha originado problemas adversos al medio ambiente, como la contaminación a recursos naturales (aire, suelo, agua) al igual que deterioro del paisaje, etc.; que impactan negativamente sobre la comunidad. Ya que se han empleado prácticas como botadero a cielo libre que generan lixiviados producto de la descomposición de los desechos, quemas no controladas que emiten gases como el dióxido de carbono al aire y vertido a fuentes hídricas que reduce el oxígeno disuelto, eutrofización de biomasa y proliferación de algas que provoca causando la muerte de las especies marítimas (peses).

Lo anterior tiene relación con lo expuesto en el Plan de Acción 2016 – 2019, con respecto al manejo de los residuos sólidos en el departamento del Cauca, donde el 95% de los municipios presentan un manejo inadecuado y su estado es crítico, ocasionando impactos significativos sobre el medio ambiente.

1.2 Justificación

El tema del manejo inadecuado y el débil aprovechamiento que se les hace a los residuos sólidos urbanos (RSU), genera una diversidad de problemas adversos tanto ambiental como sanitarios; pues los efectos y riesgos que generan estos residuos son de vital importancia tenerlos presentes para el desarrollo sano de cualquier población y conservación del medio ambiente si no se tratan o disponen de la forma más adecuada.

Por lo tanto, es deber considerarse las mejores prácticas y alternativas posibles que se puedan aplicar para la gestión integral de los residuos sólidos que son desechados, especialmente en las regiones donde los servicios de aseo son de poca aplicación; recordando que “la gestión de los residuos involucra aspectos que van desde su generación, manejo, tratamiento y disposición final con el fin de minimizar el impacto hacia el medio ambiente” [10].

Centrando al caso de estudio, en el departamento del Cauca a pesar de que actualmente (año 2016) en la mayoría de las municipalidades se están actualizando los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) con fin de conocer el volumen y tipo de residuo que se están generando para poder implementar las distintas alternativas en su gestión y disposición final de los mismos, no existe un aprovechamiento oportuno de los residuos sólidos urbanos (RSU) o Municipal Solid Waste (MSW) por su sigla en inglés, lo que implica la disposición de los mismos en su mayoría en vertederos o botaderos a cielo abierto sin ningún control técnico u otras fuentes no adecuadas como entierro, quemas o disponer en las fuentes hídricas siendo estas últimas el caso común de las zonas rurales donde el servicio de aseo es difícil su prestación; causando así de esta manera el rompimiento del equilibrio ecológico y dinámico del ambiente.

Esta situación no solamente presenta repercusiones ambientales y sanitarias, sino que además promueve a seguir explotando recursos naturales que son utilizados como combustibles, puesto que en la región no existe la pericia de identificación del poder calorífico que tienen los residuos sólidos urbanos que sirven como fuente alterna para producir energía. Por ello que la empresa ASERHI S.A.S. E.S.P. de la

ciudad de Popayán, quiere ser pioneros en modernizar al departamento Caucaño en el tema de la gestión y aprovechamiento de los RSU mediante la implementación de estrategias innovadoras como estaciones de clasificación y aprovechamiento de residuos sólidos (ECA) y generación de energía eléctrica a través de procesos combinados de cogeneración a partir del beneficio energético que constituyen los residuos sólidos que no son susceptibles de ser reincorporado al ciclo de vida mediante el reciclaje; de esta manera buscar sustituir o reducir el uso de los vertederos sanitarios.

Por lo tanto, la importancia del desarrollo de este estudio es brindar un enfoque para dar manejo ecológico a los desechos generados por las municipalidades complementando la gestión integral de residuos sólidos (GIRS), con el beneficio de aprovechar el contenido energético que contienen estos para la generación de energía con el fin conservar el equilibrio dinámico de los recursos naturales del medio ambiente y la integridad de supervivencia de las personas. En relación a lo anterior se determina la capacidad calorífica de los residuos sólidos urbanos que generan los municipios de Timbío y Popayán como alternativa de su posible aprovechamiento energético mediante la tecnología más apropiada y sana para la conservación del medio ambiente y la salud de las personas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Determinar la capacidad energética de los residuos sólidos urbanos que se generan en los municipios de Popayán, y Timbío del departamento del Cauca.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Realizar un diagnóstico en cada municipio para conocer la cantidad, porcentaje y gestión de los residuos sólidos urbanos generados.
2. Efectuar modelos paramétricos para conocer o apreciar el poder calorífico de los residuos sólidos urbanos.
3. Formular alternativas de aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos como medida alterna de reducción de los mismos.

2 CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO Y REFERENCIAL

2.1 Panorama sobre los residuos sólidos

Los residuos sólidos incluyen todos los materiales sólidos o semisólidos que el poseedor ya no considera de suficiente valor como para ser retenidos; la generación de éstos tiene triple repercusión medioambiental: contaminación, desperdicio de recursos y necesidad de espacios para su disposición final. En cuanto a su gestión es la preocupación de todas las actividades englobadas en el manejo de los mismos bien sea a nivel de planificación local, regional o estatal. Dicha gestión en muchos países ha alcanzado un alto rango de importancia, respondiendo a los llamados internacionales por alcanzar la sustentabilidad del medio ambiente y proteger la salud pública, desde un enfoque de la economía y de los recursos naturales (RN) [11], [12].

A través de la historia, el hombre ha utilizado RN sin considerar las posibles afectaciones al entorno, hasta entonces la naturaleza había sido capaz de recuperarse de los daños que le ocasionaba [10]. De igual manera en la actualidad la sociedad moderna sigue con el mismo comportamiento sobre la explotación de los RN y aumento acelerado en el consumo de plásticos que se estima crece un 4% anual [13], al mismo tiempo se ha sumado también la falta de conciencia sobre los impactos que ocasionan los residuos en el ambiente, considerando que la población aumenta con el paso del tiempo y por tanto la cantidad de desechos crece de la misma manera acumulándose simultáneamente permitiendo de esta manera que la naturaleza se recupere difícilmente de los impactos adversos [10].

De la generación de desechos, panorámicamente a nivel mundial se producen unos 10.000 millones de toneladas anuales de residuos sólidos, de los cuales el 50% de ellos recibe un tratamiento adecuado de disposición final; por tanto, el porcentaje no tratado genera al igual que la incineración de los mismos emisiones al aire principalmente CO_2 (Dióxido de Carbono), CH_4 (Metano), N_2O (Óxido Nitroso), y NH_3 (Amoniaco), que son causantes del aumento de la temperatura en el planeta,

generando cambio climático y contaminación de las aguas superficiales y subterráneas, pérdida de calidad del suelo, etc. [14], [15].

2.2 Antecedentes

El modelo con el que la sociedad moderna convive e interactúa con el medio ambiente, tiene un gran escenario de repercusiones tanto positivas (desarrollo tecnológico e industrial, facilidad de vida, etc.) como negativas (sobre-explotación y uso desmedido de los recursos naturales, contaminación y daño al medioambiente a causa de la generación cada vez más de los desechos sólidos y su pobre manejo adecuado), siendo esta última la más relevante de cara a la conservación del medio ambiente.

Partiendo de que, en Colombia como a nivel mundial, el manejo de los residuos se asocia a la problemática del alto crecimiento poblacional, al desarrollo industrial y agroalimentario y a los hábitos de consumo de las personas [16]; y además la falta de aprovechamiento que se les hace, es necesario tener presente los siguientes antecedentes para dar cabalidad y apoyo al presente trabajo.

2.2.1 Internacionales

Cada vez hay más comprensión, a nivel mundial, de los impactos negativos que los residuos pueden tener sobre el medio ambiente local (aire, agua, tierra) y la salud humana, etc. La creciente complejidad, costos y la coordinación que implica la gestión adecuada de los residuos, requiere de las partes interesadas en la participación de las múltiples etapas del proceso. La gestión de los residuos es generalmente uno de los servicios públicos más complejos y de mayor coste, incluso cuando está bien organizada y funciona adecuadamente. En los países en desarrollo, la gestión de residuos tiene la mayor participación en los presupuestos de las municipalidades, pasando del 20% al 50% de su presupuesto disponible para la gestión de residuos sólidos. Una parte importante (hasta un 80% - 90%) del presupuesto para la gestión de residuos sólidos se utiliza para la recogida; sin embargo, el servicio suele cubrir sólo alrededor del 40 – 70% de todos los residuos

sólidos urbanos, siendo el resto sin recoger y menos del 50% de la población atendida [17].

En los países de alta potencia por su industrialización como son Rusia, Japón, Alemania y (EE.UU), con un gran universo de habitantes, utilizan aproximadamente el 80% de los recursos naturales del planeta, producto de su necesidades y exigencias propias del desarrollo tecnológico; los cuales, demandan grandes cantidades de recursos y energía para lograr la transformación de la materia que suple sus penurias, pero como el proceso de transformación no se da en forma total, deja generalmente una gran variedad de residuos no asimilables que impactan negativamente al medio ambiente y también a la población en general [18].

A pesar de todos los esfuerzos para reducir, reciclar y reutilizar los residuos, hay una creciente cantidad de éstos que deben ser desechados o eliminados en vertederos. Hay varias opciones disponibles y la elección de la más adecuada debe tener en cuenta las condiciones locales específicas. La incineración de residuos podría ser una opción para la eliminación de residuos, pero los problemas técnicos y económicos impiden el despliegue a gran escala de residuos a las instalaciones de energía, especialmente en los países en desarrollo [17].

- **Europa**

A nivel europeo en materia de gestión de residuos puede ayudar a romper otra de las ideas preconcebidas que suelen condicionar el desarrollo de la valorización energética, que es la consideración que el reciclado y la valorización energética son opciones de gestión contrarias. Sin embargo, la tabla 1 permite concluir que no solo son herramientas antagónicas, sino que son complementarias [1].

Tabla 1 Gestión de RSU por Estados miembros de la UE (2008)

PAÍS	RSU GENERADOS (Kg/persona)	RSU TRATADOS (%)			
		VERTEDERO	INCINERACIÓN	RECICLADO	COMPOSTAJE
UE-27	524	40	20	23	17
Bélgica	493	5	36	35	25
Bulgaria	467	100	0	0	0
República Checa	306	83	13	2	2
Dinamarca	802	4	54	24	18
Alemania	581	1	35	48	17
Estonia	515	75	0	18	8
Irlanda	733	62	3	32	3
Grecia	453	77	0	21	2
España	575	57	9	14	20
Francia	543	36	32	18	15
Italia	561	44	11	11	34
Chipre	770	87	0	13	0
Luxemburgo	701	19	36	25	20
Hungría	453	74	9	15	2
Holanda	622	1	39	32	27
Austria	601	3	27	29	40
Polonia	320	87	1	9	4
Portugal	477	65	19	9	8
Rumanía	382	99	0	1	0
Eslovenia	459	66	1	3	2
Eslovaquia	328	83	10	3	5
Finlandia	522	50	17	25	8
Suecia	515	3	49	35	13
Reino Unido	565	55	10	23	12

Fuente: Guía de valorización energética de residuos Madrid, 2010

En el año 2010 en todo el mundo al menos existían ya más de 600 instalaciones de plantas de conversión de residuos en energía, la mayoría de ellas en Europa (472 en la Unión Europea, Suiza y Noruega), Japón (100) y los EE.UU. (86). En la Unión Europea (EU), la recuperación de energía mediante la incineración de residuos sólidos urbanos produjo más de 8,0 millones de toneladas de petróleo equivalente en 2010, con 73 millones de toneladas de capacidad de tratamiento de residuos. Y se espera que esta capacidad aumente a 85 millones de toneladas a finales de 2016 y a 94 millones de toneladas en 2020 [17].

Según “Guía Sobre Gestión Energética Municipal” de Madrid España, históricamente se han empleado la incineración de residuos sólidos como sistema de eliminación, puesto que unos de los problemas que generaban los residuos al ser vertidos era la provocación de incendios como consecuencia de la combustión espontánea, debido a la fermentación de la materia orgánica de las basuras; a pesar de que dentro de la estrategia europea de gestión de residuos, la incineración, como opción de aprovechamiento energético, representa una opción menor frente a la prevención o aprovechamiento, sigue representando una de las alternativa más consideradas en su gestión [19].

En cuanto a la fuente de energía renovable de los RSU, la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. (EPA) los considera como una fuente de energía renovable en el sentido que, si no se reutilizan como beneficio energético, serán enviados a rellenos sanitarios desperdiciando su poder energético. Por otro lado, el Departamento de Energía de los EE.UU. incluye a los RSU como fuente renovable de energía, siempre y cuando el contenido calorífico del combustible provenga principalmente de materiales biológicos. Por su parte, las políticas europeas establecen unas prioridades para la prevención y tratamiento de los residuos, las cuales se representan en las siguiente figura: [20].

Figura 1 Propiedades para la prevención y tratamiento de residuos



Fuente: Converting Municipal Solid Waste into energy [20]

De manera más concisa, la Comisión Europea para el Medio Ambiente plantea una jerarquía en cuanto a la gestión de residuos. En primer lugar, busca reducir la generación en la fuente, a través de que las comunidades reciclen la mayor cantidad de materiales posibles para su aprovechamiento; de igual manera en la figura 2, se plantea las distintas alternativas para gestión de los RSU. Dentro de la recuperación, una de las soluciones pretendidas se encuentra las tecnologías para conversión de residuos en energía que se pueden dar de diferentes formas, como ser: la incineración directa, la gasificación y combustión [20].

Figura 2 Alternativas para la recuperación de residuos



Fuente: Converting Municipal Solid Waste into energy [20]

- **Brasil**

En algunas ciudades de Brasil, la gestión de los RSU es un problema a pesar de tener un gran potencial para generar energía a partir de los desechos que podría aumentar el suministro de energía en el país a 50 millones de Megavatios-hora por año, lo que representa más del 15% de la totalidad disponible en la actualidad o alrededor de una cuarta parte de lo que genera la central hidroeléctrica de Itaipú [21].

- **Uruguay**

En Uruguay las principales fuentes energéticas son a través de centrales hidráulicas y térmicas a partir de combustibles fósiles, por lo cual fue importante considerar otras fuentes de energía como el recurso energético de los residuos. La Recuperación de Energía de los Residuos o Waste-to-Energy (WTE), por su sigla en inglés, es un sistema de gestión para la disposición de los residuos sólidos urbanos (MSW, Municipal Solid Waste) que permite un uso adecuado y sostenible de los residuos que no pueden ser eficientemente reciclados o reutilizados [20].

- **África**

Según el artículo investigativo *“Evaluation of energy potential of Municipal Solid Waste from African urban áreas”*, traducéndolo al español *“Evaluación del potencial energético de los residuos sólidos urbanos de las zonas urbanas de África”* realizado por (N. Scarlat, V. Motola, J.F. Dallemand, F. Monforti-Ferrario & Linus Mofor); en los países del continente africano, muchas ciudades se enfrentan a importantes dificultades relacionadas con la gestión de residuos sólidos urbanos, (recogida y eliminación); pues el aumento del tamaño de la ciudad plantea grandes problemas relacionados con el incremento de la población y el área de la ciudad, así como la falta de desarrollo de la infraestructura.

Dicho estudio indica que la pobre gestión de los residuos en esta región tiene importantes consecuencias para la eliminación de los desechos no recogidos en los vertederos y los graves problemas medioambientales y sanitarios conexos. Por lo tanto, requiere de un enfoque integrado de gestión de residuos sólidos con el fin de permitir a las autoridades locales/nacionales poder reducir la cantidad total de

desechos generados y recuperar materiales valiosos para el reciclaje y para la generación de energía; lo cual se busca desde de la evaluación del papel que podría desempeñar los residuos en el suministro de energía mediante la estimación del potencial total de energía a partir de la incineración de los mismos y de gas de relleno sanitario (GRS) teniendo en cuenta la generación y recogida de RSU en todos los países africano para el año 2012 donde se generó un total de 330.374×10^3 toneladas/año y de ellas se recolectaron 171.917×10^3 toneladas/año y las estimaciones para el 2025 cuya generación fue estimada en 659.852×10^3 y la recolección en 440.784×10^3 toneladas/año [17].

Los resultados muestran que de considerarse la recogida total de los residuos se podría alcanzar un potencial energético mediante la incineración de 1.125 PJ (peta Joule) en el 2012 y estimado en 2.198 PJ para el 2025 sin considerar la energía de soporte de combustible adicional en las plantas de energía. Sin embargo teniendo en cuenta las tasas reales de recaudación de residuos, el potencial energético de los residuos recogidos se estimó en aproximadamente 613 PJ en 2012 y 1508 PJ para el 2015. Y si todos los residuos que se genera está recogido y depositado en vertederos controlados, aproximadamente 283 PJ podría haberse recuperado del biogás en el año 2012 y 530 PJ podría ser recuperada en 2025; pero teniendo en cuenta los recogidos en realidad, unos 155 PJ del GRS en 2012 y 363 PJ para el 2025 [17].

Por lo tanto, la producción de electricidad a partir de los residuos totales generados podría alcanzar los 62,5 TWh (Terra Watt hour) en 2012 y 122,2 TWh en 2025, en comparación con el consumo de electricidad total de 661,5 TWh a nivel continental en 2010; pero la producción de electricidad a partir de residuos recogidos en realidad se estimó en 34,1 TWh en 2012 y 83,8 TWh en 2025. Y del biogás, a partir de todos los residuos generados en 27,5 TWh en 2012 y 51,5 TWh en 2025, pero a partir de los residuos en realidad recogido se cuantificó a niveles mucho más bajos, 12.9 TWh en 2012 y 30,3 TWh en 2025. Lo anterior se considera como un potencial teórico de electricidad a partir de la incineración de residuos en África [17].

Tabla 2 Generación, recolección y proyección de residuos en África para el año 2012–2025

2012			2025		
Generación (kg/cápita)	Producción (10 ³ t/año)	Colección (10 ³ t/año)	Generación (kg/cápita)	Generación (10 ³ t/año)	Colección (10 ³ t/año)
16.848	330.374	171.917	21.851	659.852	440.784

Fuente: Evaluation of energy potential of Municipal Solid Waste from African urban areas, 2015. Modificación propia.

2.2.2 Nacionales

2.2.2.1 Gestión Integral de Residuos en Colombia

En Colombia como a nivel mundial, el manejo de los residuos se asocia a la problemática del alto crecimiento poblacional, al desarrollo industrial y agroalimentario y a los hábitos de consumo de las personas [16].

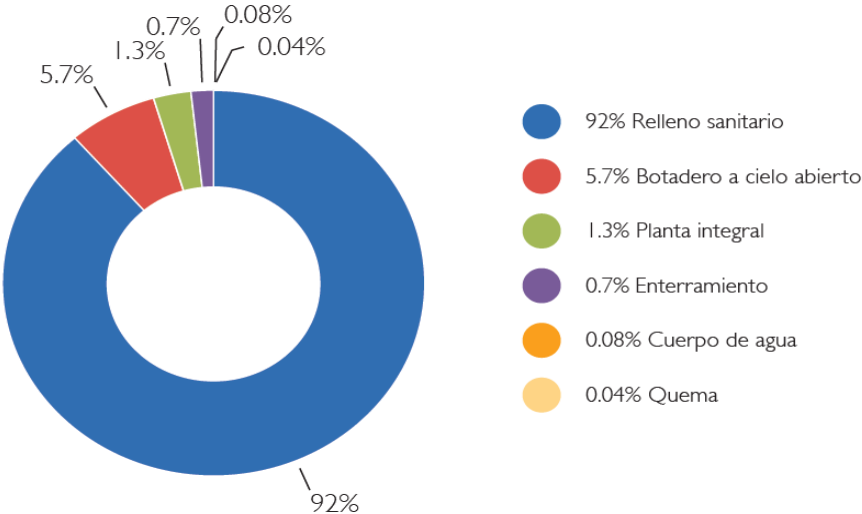
Según informe realizado en el año 2011 por Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios – SSPD, la cantidad de toneladas dispuestas por 1.098 municipios de los 1.102 del territorio nacional, en el año 2010 se generó un promedio diario de 26.537 toneladas de residuos sólidos [22] y para el año 2014 el promedio diario fue de 26.528 Ton/día de residuos sólidos sin tener en cuenta 186 municipios que no contaban con información para ese período [23].

En el estudio sectorial de aseo 2006 – 2009, la SSPD indicó que el incremento anual en la cantidad de toneladas dispuestas en el país durante los cuatros años había sido del 4%. En el año 2.011 este porcentaje aumentó ampliamente debido principalmente a las acciones de vigilancias y control adelantadas por la SSPD, para lograr un mayor reporte de información al Sistema de Único de Información – SUI de la actividad de disposición final [22].

Con relación a los sistemas de disposición final de residuos sólidos usados, en el año 2010 el 79% de los municipios disponían sus residuos en sitios adecuados, como rellenos sanitarios y plantas integrales, lo que corresponde a 25.091 Ton/día; mientras el 21% restante (1.446 toneladas diarias) lo hacía en sitios inadecuados, como botaderos a cielo abierto, enterramientos, cuerpos de agua y quemas [22].

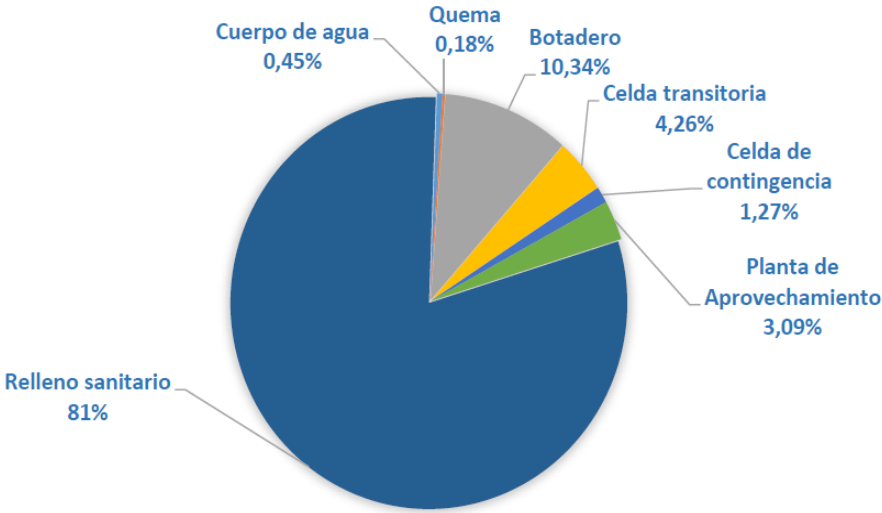
Para el año 2014 los municipios del país disponían sus residuos sólidos en 364 sitios de disposición final desagregados en 7 tipos de sistemas (3 autorizados y 4 no autorizados por las autoridades ambientales), en su distribución el 81% de los 1102 municipios disponen sus residuos sólidos en rellenos sanitarios como lo muestra la gráfica 2. Adicionalmente se observa, que persiste la disposición en sitios como botaderos, celdas transitorias, vertimiento de residuos a cuerpos de agua y quemas [23].

Gráfica 1 Distribución de Sistemas de disposición Final - año 2010



Fuente: Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios – SSPD, 2011

Gráfica 2 Distribución de Sistemas de disposición Final - año 2014



Fuente: Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios – SSPD, 2015

Por su parte, en cuestión de aprovechamiento de los residuos sólidos de las ciudades de Colombia y en América Latina, hasta el momento se han limitado a los materiales que se denominan reciclables, y no se ha realizado un trabajo extensivo hacia los demás materiales diferente al de la combustión controlada de estos ya sea por pirólisis, combustión dual o por sistemas de gasificación, o la obtención de abonos orgánicos mediante la fermentación con obtención del bio-compost. La materia orgánica, (sentido químico) presente por encima del 75% de los residuos sólidos, puede ser de manera segura y contenida, convertida en gases energéticamente aprovechables (CH₄), y transformados mediante procesos combinados de cogeneración en energía [24].

En la ciudad de Bogotá capital de Colombia ha sido complejo el manejo de los residuos sólidos, pues estudios realizados en el 2015 para el relleno sanitario Doña Juana, menciona que Bogotá es una ciudad de alta generación de residuos sólidos y de poco aprovechamiento especialmente de orgánico, lo cual son enterrados causando dificultad en el manejo, el cual, de no realizarse las modificaciones necesarias, los costos para la ciudad serán altos y difíciles de corregir [25].

El actual sistema de gestión de los residuos sólidos en la ciudad, en particular en lo relacionado con la disposición final en el relleno sanitario de Doña Juana presenta costos ambientales y económicos en términos de “consumo de ciudad” que hacen de aquel un proceso insostenible y no sustentable. De hecho, como una forma de reducción de los impactos ambientales negativos, particularmente por efectos de los lixiviados y de la producción de gases con efecto invernadero, se ha introducido recientemente el proceso de valoración energética de los residuos sólidos enterrados en el relleno, mediante el aprovechamiento del biogás con propósitos de generación de energía [25].

2.3 Municipio de Popayán

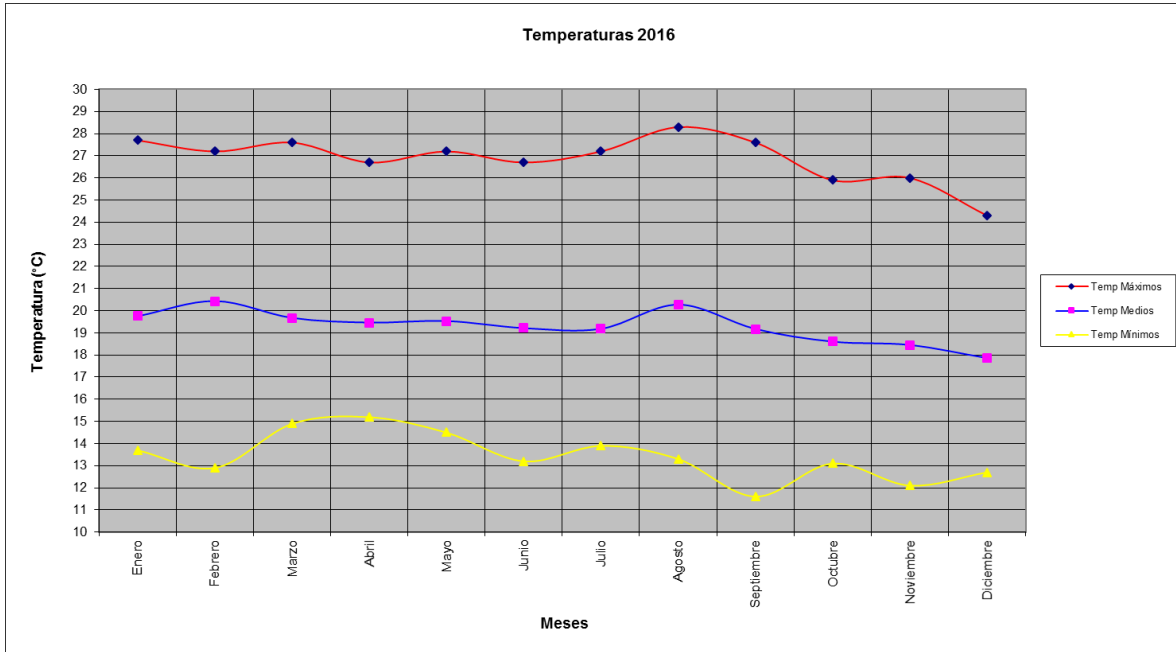
2.3.1 Características del municipio

La ciudad de Popayán se levanta en el denominado Valle de Pubenza en las márgenes del río Molino, cuenta con cerca de cinco siglos de historia colonial y

republicana. Una parte del territorio es montañoso y su relieve corresponde a las cordilleras Occidental y Central, cuenta con una zona de valle y meseta surcada por las riberas del río Cauca [26].

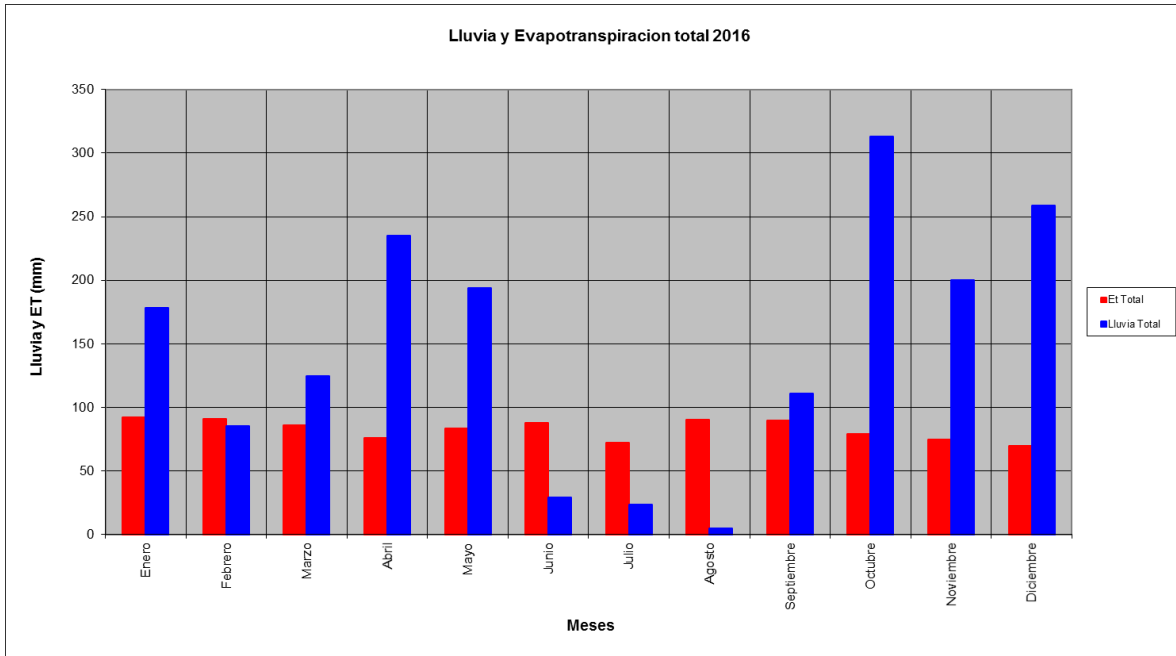
Popayán registra temperatura media de 18°C a 19°C durante todo el año, correspondiendo a un clima templado, alcanzando temperaturas máximas en los meses de julio, agosto y septiembre en horas del mediodía, hasta 29 °C y mínimas de 10 °C en horas de la madrugada en verano. Con precipitaciones significativas que según datos del IDEAM incluso en el mes más seco (julio) hay mucha lluvia. En consecuencia el promedio de lluvia total anual en Popayán es alrededor de 1941 a 2040 mm de precipitaciones [26], [27]. Las gráficas 3, 4 y 5 muestran una representación del comportamiento de la temperatura, precipitación y la humedad relativa respectivamente del municipio de Popayán durante todo el año según el estudio realizado por la estación meteorológica de la Universidad del Cauca para el año 2016.

Gráfica 3 Variación de la temperatura anual del municipio de Popayán



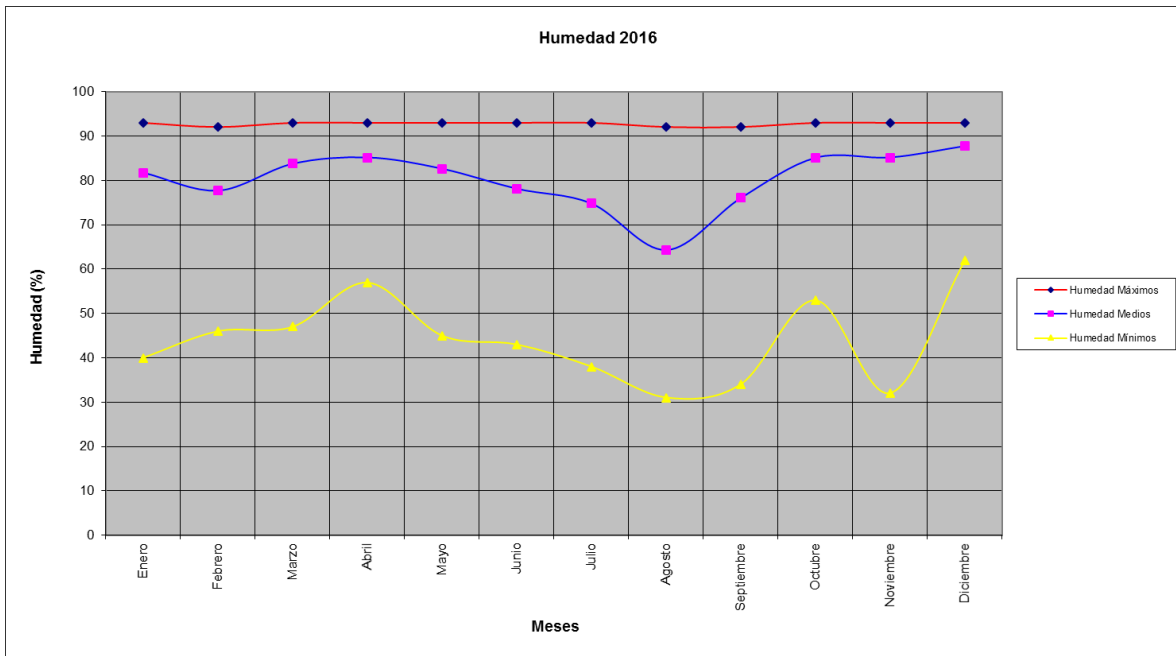
Fuente: Estación meteorológica Universidad del Cauca. FIC, 2016

Gráfica 4 Variación de la precipitación anual del municipio de Popayán



Fuente: Estación meteorológica Universidad del Cauca. FIC, 2016

Gráfica 5 Variación de la humedad relativa anual del municipio de Popayán

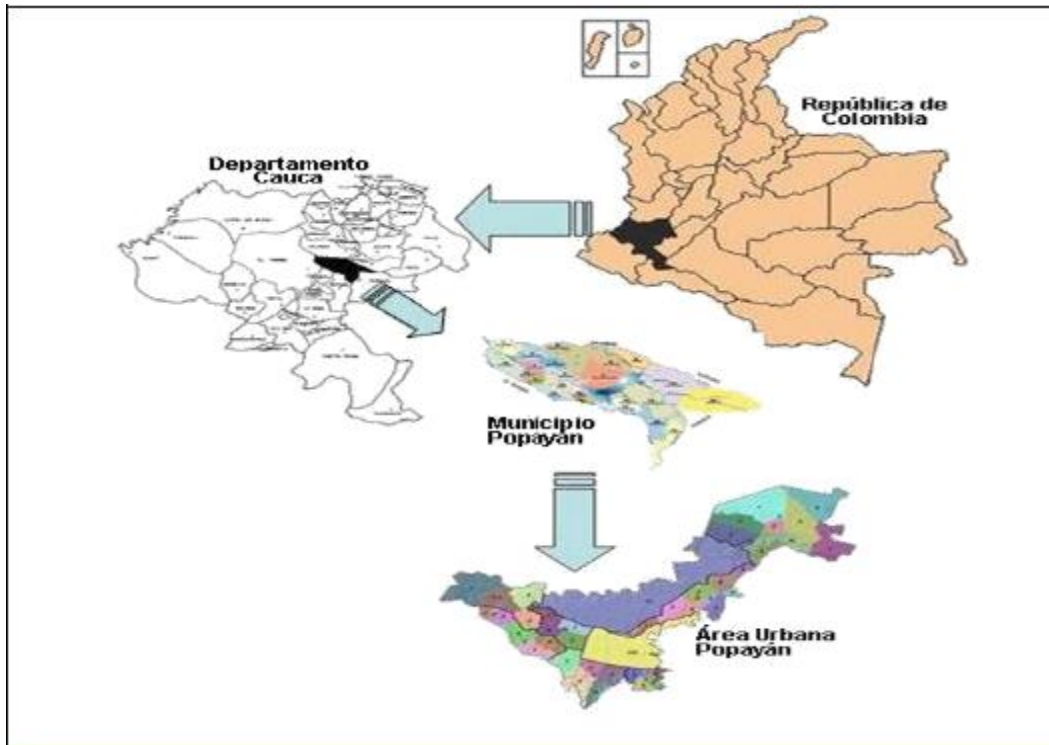


Fuente: Estación meteorológica Universidad del Cauca. FIC, 2016

2.3.2 Localización

Su localización está a los 2°27' de latitud norte y 76°37' de longitud al oeste de Greenwich, en el centro del departamento del Cauca y al suroccidente de la república de Colombia con una altura sobre el nivel del mar de 1.738 mts, [26], [27].

Figura 3 Localización geográfica del municipio de Popayán

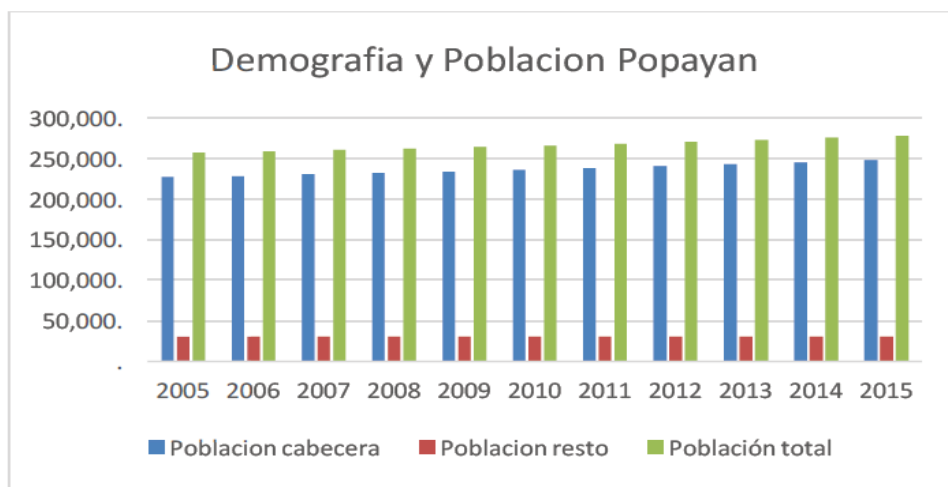


Fuente: Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS, Popayán 2016

2.3.3 Población

El municipio de Popayán y ciudad capital del departamento del Cauca, en toda su área territorial correspondiente a 464 km² aproximadamente, registró un total poblacional de 277.540 habitantes para el año 2015 [26]; de lo cual en el sector urbano se haya 247.512 personas y el resto (30.028 personas) habitan en las zonas rurales según datos de las proyecciones del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas – DANE 2005. Para el siguiente año (2016) se estima que la población es de 280.107 habitantes y de ello 250.103 están concentrados en la franja urbana del municipio, dejando así 30.004 en la zona rural [27].

Gráfica 6 Dinámica poblacional de Popayán



Fuente: Plan de Desarrollo Municipal. Popayán, 2016 – 2019

2.3.4 Economía de la región

Las actividades económicas del municipio, son generadas principalmente por el sector público-estatal, además, el municipio cuenta con la comercialización de productos industriales provenientes de otras regiones como la centro y sur del país y de productos del sector primario a los que no se aplica valor agregado. El sector agropecuario se desarrolla de forma tradicional, con cultivos de pancoger como Maíz, Fríjol, Yuca, Arracacha en menor proporción, Hortalizas y Frutales y ganadería especializada y extensiva para autoconsumo y en poca cantidad para comercialización [27].

2.4 Municipio de Timbío

2.4.1 Características del municipio

El municipio de Timbío ubicado en la zona centro del departamento del Cauca cuenta con una extensión total de 205 km²; de lo cual tan solo 1,3 km² corresponde a la zona urbana, la cual tiene una altura referente al mar de 1.500 m.s.n.m., y registra temperatura entre los 18 °C y 24 °C, precipitación promedio anual de 2026,5 mm con una humedad relativa del 76%, lo cual es debido a la existencia de pisos térmicos: cálido, templado, y frío. Timbío está ubicado entre la zona intertropical y

cuenta con un clima tropical caracterizado por dos épocas de lluvia y dos relativamente secas durante todo el año [28], [29].

2.4.2 Localización

El municipio de Timbío se ubica en la parte suroccidental de la República de Colombia, en la zona centro del departamento del Cauca, sobre la vertiente occidental de la cordillera central y hace parte del Macizo colombiano conocido como meseta de Popayán o valle de interandino de Pubenza. Su sector urbano se localiza en las coordenadas 02° 21' 22" de latitud norte y 76° 41' 16" de longitud oeste, cuya distancia de Popayán la capital del departamento caucano es de 13 km.

Figura 4 Localización geográfica del municipio de Timbío



Fuente: Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS, Timbío 2016

2.4.3 Población

Timbío cuenta con nueve distritos, siete de ellos son corregimientos en su zona rural y dos en sector urbano agrupados en barrios. Su población en el año 2015 fue de

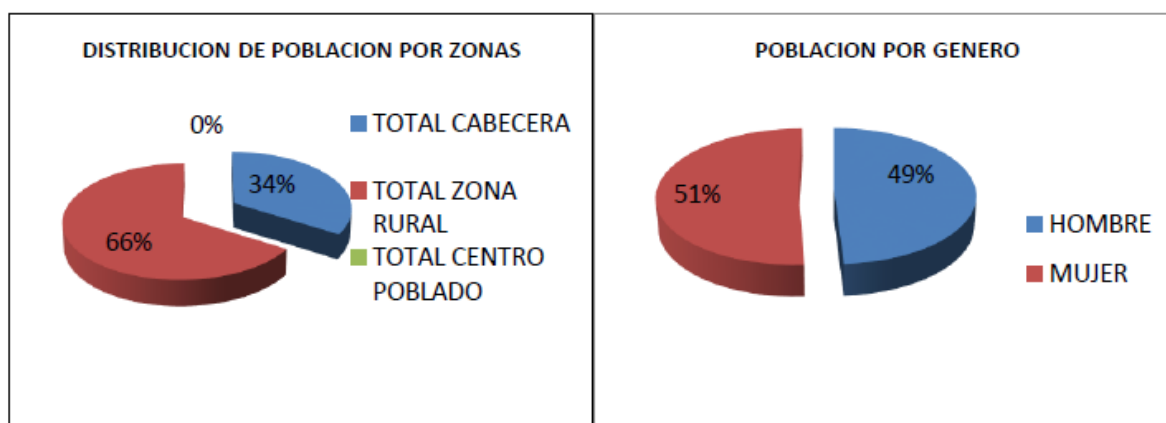
33.883 habitantes de lo cual el 39,16% correspondiente a 13.269 personas se concentran en la franja urbana y el 60,83% es decir, 20.614 personas en el sector rural [29].

Tabla 3 Proyección de la población del municipio de Timbío 2010 – 2020

Sector	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Urbano	13.269	13.492	13.709	13.909	14.105	14.287
Rural	20.614	20.830	21.048	21.251	21.459	21.656
Total	33.883	34.322	34.757	35.160	35.564	35.943

Fuente: Plan de Desarrollo Municipal 2016 – 2019 Timbío

Gráfica 7 Distribución poblacional municipio de Timbío



Fuente: Plan de Desarrollo Municipal 2016 – 2019 Timbío

2.4.4 Economía de la región

Según el Plan de Desarrollo Municipal 2016 – 2019 “únete al progreso”, y el Plan Básico de Ordenamiento Territorial de Timbío, la economía de la región está ampliamente implicada principalmente por el sector agropecuario, en el cual los pequeños productores tienen como actividades económicas el predominio de cultivos del café, plátano, yuca y maíz también el cacao, aguacate y otros cultivos transitorios y frutales para el autoconsumo con pocos excedentes para la comercialización, lo cual es una situación que afecta la generación de ingresos para la región. En segunda instancia está las actividades pecuarias especialmente la explotación de vacunos, y en menor escala la explotación de arcillas, el comercio y las artesanías [29], [30].

2.5 Conceptos básicos sobre residuos sólidos

Es de gran ayuda contar con referentes conceptuales para dar amplitud de comprensión al tema sobre gestión y aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos.

2.5.1 Aprovechamiento

El aprovechamiento implica la separación y recogida de materiales residuales en el lugar de su origen; además la preparación de estos con fin de su reutilización, reprocesamiento, transformación en nuevos productos, y la recuperación de productos de conversión (por ejemplo, compost y energía en forma de calor y biogás combustible). Su acción es un factor importante para ayudar a conservar y reducir la demanda de recursos naturales, disminuir el consumo de energía, preservar los sitios de disposición final y reducir la contaminación ambiental. Además, tiene un potencial económico, pues ya que los materiales recuperados son representados como materias primas que pueden ser comercializadas [31].

En el marco de la gestión integral de residuos sólidos (GIRS), el aprovechamiento “es el proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitario, ambientales, sociales y/o económicos” [32].

2.5.2 Desarrollo sostenible

Definido como el desarrollo que conduce al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de los recursos naturales renovables en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades [33].

2.5.3 Disposición final de residuos sólidos

Es el proceso de aislar y confinar los residuos sólidos en especial los no aprovechables, en forma definitiva, en lugares especialmente seleccionados y diseñados para evitar la contaminación, y los daños o riesgos a la salud humana y al medio ambiente [34].

2.5.4 Gestión ambiental

Para Ernest Guhl (2000), en su artículo denominado “vida y región”, la gestión ambiental es entendida como “el manejo participativo de las situaciones ambientales de una región por los diversos actores, mediante el uso y la aplicación de instrumentos jurídicos, de planeación, tecnológicos, económicos, financieros y administrativos, para lograr el funcionamiento adecuado de los ecosistemas y el mejoramiento de la calidad de vida de la población dentro de un marco de sostenibilidad” [35].

Por su parte para Esperanza González (2001), en su artículo denominado “gestión ambiental en pequeños municipios”, la gestión ambiental es un proceso técnico-administrativo, financiero y político, por medio del cual las autoridades encargadas organizan un conjunto de recursos de diversa índole, que tienen como finalidad la protección, manejo, y preservación del ambiente y de los recursos naturales renovables, en un territorio específico [35].

En dicho caso, el autor de este trabajo define gestión ambiental, como la articulación de un conjunto de planes, mecanismos, actividades y acciones que se fundamentan para responder al qué hacer y dar respuesta al desarrollo sostenible mediante el equilibrio entre la optimización del uso de los recursos naturales y, la protección y conservación de la naturaleza frente a los impactos negativos que puede causar las faenas cotidianas que el hombre desarrolla para su sostenibilidad.

Lo anterior, relacionado con el concepto de gestión ambiental que dictamina la Red de Desarrollo Sostenible de Colombia, para la cual *gestión ambiental* se entiende como “el proceso que está orientado a resolver, mitigar y/o prevenir los problemas de carácter ambiental, con el propósito de lograr un desarrollo sostenible, entendido

éste como aquel que le permite al hombre el desenvolvimiento de sus potencialidades y su patrimonio biofísico y cultural y, garantizando su permanencia en el tiempo y en el espacio [36].

2.5.5 Plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS)

Es el instrumento de planeación municipal o regional que contiene un conjunto ordenado de objetivos, metas, programas, proyectos, actividades y recursos definidos por uno o más entes territoriales para el manejo de los residuos, fundamentados en la política de gestión integral de los mismos, el cual se ejecutará durante un período determinado, basándose en un diagnóstico inicial, en su proyección hacia el futuro y en un plan financiero viable que permita garantizar el mejoramiento continuo del manejo de residuos sólidos y la prestación del servicio de aseo a nivel municipal o regional, evaluado a través de la medición permanente de resultados [37].

2.5.6 Producción diaria per cápita

Cantidad de residuos sólidos generada por una persona, expresada en términos de kg/hab-día o unidades equivalentes, de acuerdo con los aforos y el número de personas por hogar estimado por el DANE [32].

2.5.7 Reciclaje

Es el proceso mediante el cual se aprovechan y transforman los residuos sólidos recuperados y se devuelve a los materiales su potencialidad de reincorporación como materia prima para la fabricación de nuevos productos [32].

2.5.8 Residuos sólidos

Los residuos sólidos también conocido como desechos, “es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o 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” [32].

En un sentido más amplio, el término *residuos sólidos* incluye todos los materiales sólidos desechados de actividades municipales, industriales o agrícolas; y se definen como aquellos desperdicios que han sido rechazados porque ya no se van a utilizar [38]. Lo anterior citado, se puede englobar al término de que los residuos sólidos son aquellos que son responsabilidad de un municipio y que usualmente son recolectados por él.

2.5.8.1 Residuos sólidos urbanos

En el tema de los residuos sólidos municipales se aplican términos más específicos a los residuos de alimentos putrescibles (biodegradables), llamados *basura*, y a los residuos no putrescibles, los cuales se designan simplemente como *desechos*. Los desechos incluyen diversos materiales que pueden ser combustibles (papel, plásticos, textiles, etc.) o no combustibles (vidrio, metal, mampostería, etc.). La mayor parte de estos residuos se desechan con regularidad desde localidades específicas [38]; es decir, son aquellos que se generan en los espacios urbanizados, como consecuencia de las actividades de consumo y gestión de actividades domésticas (viviendas), servicios (hostelería, hospitales, oficinas, mercados, etc.) y tráfico viario (papeleras y residuos viarios de pequeño y gran tamaño) [39].

Según Tchobanoglous, la porción municipal de los residuos sólidos totales generados representa sólo el 5%, pero es objeto de la máxima atención en virtud del efecto que su eliminación incorrecta puede tener en la salud pública y en el abasto de aguas tanto superficiales como subterráneas [38].

2.5.8.2 Residuo sólido aprovechable

Es cualquier material, objeto, sustancia o elemento sólido que no tiene valor de uso directo o indirecto para quien lo genere, pero que es susceptible de incorporación a un proceso productivo [32].

2.5.8.3 Residuo sólido no aprovechable

Es todo material o sustancia sólida o semisólida de origen orgánico e inorgánico, putrescible o no, proveniente de actividades domésticas industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que no ofrece ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o reincorporación en un proceso productivo. Son residuos sólidos que no tienen ningún valor comercial, requieren tratamiento y disposición final y por lo tanto generan costos de disposición [32].

2.5.9 Reutilización

Es la prolongación y adecuación de la vida útil de los residuos sólidos recuperados y que mediante procesos, operaciones o técnicas devuelven a los materiales su posibilidad de utilización en su función original o en alguna relacionada, sin que para ello requieran procesos adicionales de transformación [32].

2.6 Bases teóricas y consideraciones generales sobre los residuos sólidos

2.6.1 Lugar de trabajo y desarrollo de la pasantía

El desarrollo de la pasantía como trabajo de grado se logró realizar en la empresa ASERHI S.A.S. E.S.P., constituida el 22 de septiembre de 2004 de origen Caucaño que nace como resultado de la necesaria interacción entre el generador de residuos y un prestador del servicio público especial de aseo que lo apoye en el cumplimiento de los lineamientos normativos, además de la adecuada gestión administrativa entre las partes para mejorar los procesos y la calidad en la prestación del servicio que garantice y viabilice económicamente el manejo ambiental de los residuos en la región Caucaña.

2.6.2 Misión

ASERHI S.A.S. E.S.P. es una organización líder en soluciones ambientales con proyección internacional que presta servicios de recolección, transporte, valoración, recuperación, aprovechamiento y tratamiento de residuos peligrosos y no peligrosos, asesorías ambientales en planes de gestión de residuos, manejo

ambiental, producción más limpia, sistemas integrados de gestión y diseños industriales para la implementación de nuevas tecnologías que permitan mejorar la calidad de vida de las comunidades con las que interactuamos y fomentar el desarrollo regional.

2.6.3 Visión

ASERHI S.A.S. E.S.P. como especialistas en servicios e innovaciones ambientales será en 2021 una organización líder en el contexto nacional en la implementación de soluciones ambientales para todos los sectores productivos con énfasis en investigación, desarrollo tecnológico e innovación, con alto compromiso social y responsabilidad solidaria.

2.6.4 Política integrada

ASERHI S.A.S. E.S.P. es una organización de carácter ambiental la cual a través de un excelente grupo de trabajo con elevada vocación de servicio asume un compromiso permanente con sus clientes, el ambiente y la salud de sus colaboradores; busca continuamente satisfacer las necesidades de sus usuarios ofreciendo soluciones e innovaciones ambientales basada en criterios de calidad, gestión ambiental y seguridad y salud en el trabajo. El desarrollo de las actividades ejecutadas en ASERHI SAS ESP está enmarcado por el mejoramiento continuo de sus procesos, la protección del ambiente, la minimización de sus impactos ambientales y la prevención de las lesiones y enfermedades en las personas con el compromiso de cumplir los requisitos identificados dentro de la organización y la aplicación de sus principios organizacionales.

2.6.5 Gestión Integral de los Residuos Sólidos-GIRS

La Gestión Integral de los Residuos Sólidos hace referencia a todo un conjunto de operaciones y disposiciones encaminadas a dar a los residuos el destino global más adecuado desde el punto de vista ambiental, en especial lo que concierne a los aspectos sanitarios, de acuerdo con sus características, volumen, procedencia, costos de tratamiento, posibilidades de recuperación, aprovechamiento,

comercialización y directrices administrativas relacionadas con este campo [32], [40].

Por otra parte, la Gestión Integral de RSU puede ser definida como la selección y aplicación de técnicas, tecnologías y programas de manejo acordes con objetivos y metas específicos de gerenciamiento de residuos sólidos. Tales objetivos, que básicamente se encuadran en los postulados enunciados anteriormente, configuran una guía tanto para los responsables municipales a cargo de la toma de decisiones relativas a sistemas de residuos sólidos como para los gerentes industriales, en los aspectos que les son pertinentes [41].

2.6.5.1 Ciclo vital de los residuos sólidos

El ciclo de los desechos sólidos está influenciado por la dinámica de cada región, es decir por sus características climatológicas y también de su poder económico que puede permitir la reducción del tiempo de éstos desde su generación hasta su eliminación. La siguiente figura fue tomada de la guía de valorización energética de residuos sólidos de la ciudad de Madrid España con el fin de dar una imaginación real del ciclo de generación de residuos sólidos.

Figura 5 Ciclo de los residuos sólidos

Guía de valorización energética de residuos



Fuente: Guía de valorización energética de residuos. Madrid, 2010

2.6.5.2 *Características y/o propiedades de los residuos sólidos*

Los residuos sólidos presentan una variedad de características tanto físico-químicas como biológicas, que permiten orientar para la selección de alternativas técnicas de recolección, transporte, tratamiento y para la disposición final. A continuación, se muestra una descripción de éstas:

- **Características físicas:** son la composición gravimétrica (porcentaje de cada componente presente en una muestra), el peso específico (peso de una muestra en función al volumen que ella ocupa expresado en t/m^3 o kg/cm^3), la humedad (la proporción de agua de la muestra en relación a su volumen de residuos sólidos, volumen seco, expresada en %), la comprensibilidad (grado de compactación, reducción de volumen que una masa puede sufrir cuando es sometida a presión), la generación per cápita (cantidad de residuos generada por persona en una unidad de tiempo, la cual es variable según el poder adquisitivo, educación y hábitos de las comunidades y varía de 0,4 kg hasta sobre 1,5 kg por día) [42].
- **Características químicas:** el poder calorífico (la capacidad potencial de cada material en desprender calor cuando se quema), el pH – potencial de hidrógeno (indicador de acidez), el contenido de ceniza, materia orgánica, carbono, nitrógeno, potasio, calcio, metales pesados, los residuos minerales y las grasas solubles [42].
- **Características biológicas:** esta se refiere a los agentes microbianos (virus, bacterias y protozoarios) presentes en la basura, que bajo determinadas condiciones se tornan patógenos y causadores de enfermedades como hepatitis, fiebre tifoidea, malaria, entre otras, que se encuentran en las basuras [42].

Estas características de los componentes de los residuos, especialmente las físicas y químicas son importante tenerla en cuenta; pues permiten conocer el valor calórico de los mismos a partir de tecnologías como la incineración.

- **Composición de los residuos sólidos urbanos**

La composición de los RSU, conocidos también como residuos pos-consumo, varía de país en país en función de muchas variables. Entre estas se cuentan las características del consumo de bienes y el poder adquisitivo de la población, la conciencia sobre la importancia de no contaminar el medio ambiente, la cultura ciudadana existente para el manejo de los residuos, la existencia de programas de separación en la fuente y de recolección selectiva de residuos sólidos y también los procedimientos y/o tecnologías aplicadas para el tratamiento de los residuos urbanos (incineración, reciclaje y otras alternativas) [43].

- **Nivel de vida de la población:** El estatus socioeconómico o social y tecnológico de la municipalidad, es uno de los factores más selectos no solo en la generación de desechos sólidos, sino que además en su composición.
- **Actividad de la población:** los hábitos de consumo o costumbres propias y adquiridas durante la etapa de crecimiento y madurez, es también un causante representativo a la hora de generar desechos y su composición, pues estas actividades se ven influenciadas en la dinámica de los residuos sólidos. Ejemplo de ello son los productos alimentarios ya preparados con presentaciones y empaques prácticos que producen más residuos inorgánicos y menos de alimentos crudos [6].
- **Climatología de la zona:** el clima es un factor de gran influencia en la composición de los residuos; pues en regiones cálidas, suelen consumir más productos perecederos (frutas y verduras); mientras en lugares fríos se generan más escorias y cenizas, se adopta por productos enlatados, que se puedan conservar mayor tiempo [6].

En los países menos desarrollados los desechos sólidos contienen una mayor proporción de material orgánico biodegradable con un alto contenido de humedad y densidad comparado con los países más avanzados. Esta característica es importante para considerar algunos métodos de reducción de volúmenes, tales como la compactación de desechos, que normalmente no es apropiada en el caso de residuos con un alto contenido orgánico y humedad o cuando se considera la alternativa de compostaje para tratar la parte orgánica de los desechos sólidos [42].

2.6.5.3 Clasificación de los residuos sólidos urbanos y criterios para la separación en la fuente

Los residuos sólidos han sido clasificados de distintas maneras. Estructuralmente mantienen ciertas características desde su origen hasta su disposición final. Los diferentes usos de los materiales, su biodegradabilidad, combustibilidad, reciclabilidad, etc., juegan un papel importante en la percepción de quien los clasifica [12].

Por otra parte, teniendo en cuenta lo que dictamina la guía técnica colombiana GTC 24 de 2009 que trata de la gestión ambiental de los residuos sólidos, la separación en la fuente es una alternativa que debe realizar el generador de los residuos con fin de permitir seleccionarlos y almacenarlos en recipientes o contenedores para facilitar su posterior transporte, aprovechamiento, tratamiento o disposición; de tal manera que admita garantizar la calidad de los desechos que pueden ser susceptibles de ser aprovechados y facilitar al instante de la clasificación de los mismos, por lo que los recipientes o contenedores empleados deberían ser claramente diferenciables, bien sea por color, identificación o localización [34].

Tabla 4 Clasificación de los residuos sólidos según la GTC 24 de 2009

Tipo de residuo	Clasificación	Ejemplo	Manejo
No peligrosos	Aprovechables	-Cartón y papel (hojas, plegadiza, periódico, carpetas, kraft). -Vidrio -Plásticos (bolsas, tapas, pet) -Metales -Textiles	-Reciclaje -Reutilización
	No aprovechables	-Papel tissue (papel higiénico, paños húmedos, toallas sanitarias) -Material de barrido	-Disposición final
	Orgánicos biodegradables	-Restos de comida -Cortes y podas de materiales vegetales	-Compostaje -Lombricultivo
		-Químicos (aerosoles inflamables, solventes,	

Peligrosos	plaguicidas, fertilizantes, aceites y lubricantes usados) -Pilas y baterías -RAEE-residuos eléctricos y electrónicos -Residuos con Riesgo Biológico (elementos que han entrado en contacto con bacterias, virus o microorganismos patógenos como agujas, cuchillas, entre otros). -Medicamentos vencidos	-Tratamiento -Incineración -Disposición en celda de seguridad
Especiales	-Escombros -Llantas usadas -Muebles, estanterías, electrodomésticos. -Colchones	Servicio especial de recolección
Nota 1. Para que los residuos no sean clasificados como peligrosos no pueden estar impregnados o haber estado en contacto con sustancias clasificadas como peligrosas.		

Fuente: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).

Guía para la separación en la fuente GTC 24 de 2009

Tabla 5 Código de colores para la separación en la fuente según la GTC 24 de 2009

Sector	Tipo de residuo	Color
Doméstico	Aprovechables	Blanco
	No aprovechables	Negro
	Orgánicos biodegradables	Verde
Industrial, comercial institucional y de servicios	Cartón y papel	Gris
	Plásticos	Azul
	Vidrio	Blanco
	Orgánicos	Crema
	Residuos metálicos	Café oscuro
	Madera	Naranja
	Ordinarios	Verde
Nota 1. Se recomienda que cada generador establezca un código de colores particular para aquellos residuos no incluidos en la tabla.		
Nota 2. Se recomienda consultar la legislación local vigente para verificar si existe algún código de colores establecidos por la autoridad competente.		

Nota 3. Para residuos peligrosos se establecerá el código de colores e iconos en la guía para residuos peligrosos.

Nota 4. Los colores establecidos en la tabla obedecen a la normativa aplicable.

Fuente: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).

Guía para la separación en la fuente GTC 24 de 2009

2.6.6 Valorización energética de los residuos sólidos

La “valorización” es cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular, o que el residuo sea preparado para cumplir esa función, en la instalación o en la economía en general [44].

La valorización energética consiste en la utilización del poder calorífico de sustancias o materiales susceptibles de ser incorporados a un proceso industrial y que posibiliten la sustitución parcial de los combustibles fósiles tradicionales como el carbón, petróleo o gas [35]. En otras palabras, la valorización es referida al mecanismo mediante el cual se le da un valor económico adicional al residuo de acuerdo a la técnica de aprovechamiento que se implementará en él y a la función que tendrá en el nuevo ciclo productivo [34].

Para la valorización energética, la utilización principal de los residuos será como combustible u otro modo de producir energía [44]. Por ello es necesario tener en cuenta los tipos de tecnología para dicha valorización.

Tecnologías de recuperación para la valorización energética de los residuos:

Se pueden separar los procesos de recuperación de la energía de los residuos en dos grupos: conversión biológica y conversión térmica.

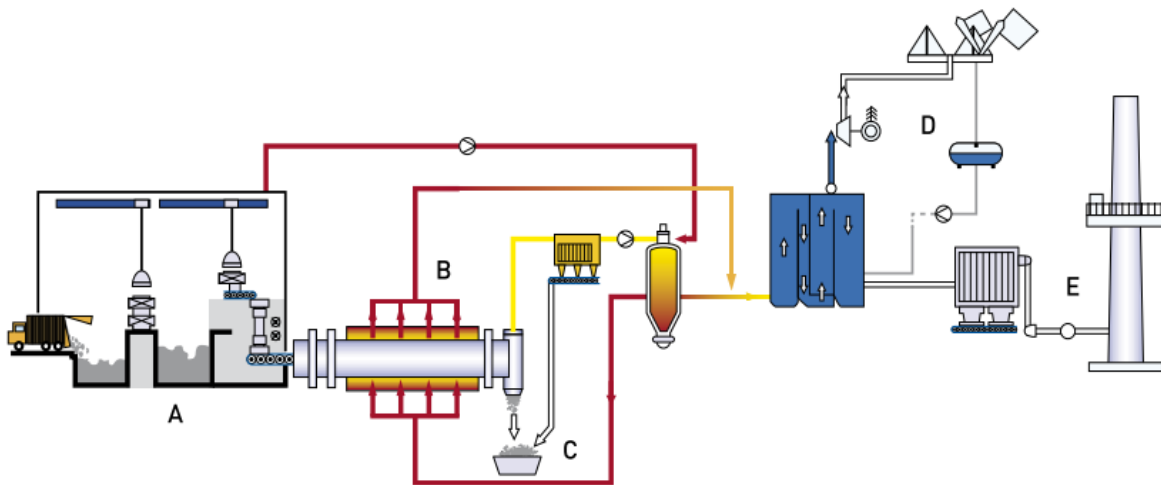
Conversión Biológica: Este proceso es efectuado por bacterias mediante el proceso de digestión anaerobia, donde la fracción orgánica de los residuos se descompone de manera natural en ausencia de aire. Este proceso ocurre en rellenos sanitarios (algunos controlados y otros no) donde se genera una mezcla de gases, conocida como biogás, cuyos dos componentes principales son el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂) [20].

Conversión Térmica: El proceso térmico consiste en la conversión de los MSW en productos gaseosos, líquidos y sólidos mediante reacciones químicas inorgánicas [20].

La conversión térmica de los residuos puede darse de tres formas diferentes: combustión o incineración, gasificación y pirólisis. En la combustión y en la gasificación la reacción química que se produce es exotérmica, lo que significa que se libera energía directamente. Sin embargo, en la gasificación se obtiene un producto gaseoso con un poder calorífico remanente que luego podrá ser aprovechado en una combustión posterior. En la pirólisis, la reacción es endotérmica, pero se obtiene un gas derivado cuyo poder calorífico también puede aprovecharse en una combustión posterior [20].

- **Pirólisis:** La pirólisis es una degradación térmica de una sustancia en ausencia de oxígeno añadido, por lo que dichas sustancias se descomponen mediante calor, sin que se produzcan las reacciones de combustión [44]. Consiste en someter los residuos a temperaturas en torno a 800 – 1100 °C para que se produzca una reacción con déficit de aire global, por combustión de una parte del residuo con aire. El aire producto resultante de esa reacción es un gas compuesto por metano, hidrógeno, monóxido de carbono, nitrógeno, agua y un residuo inerte [1].

Figura 6 Ejemplo diagrama de proceso de planta de Pirólisis

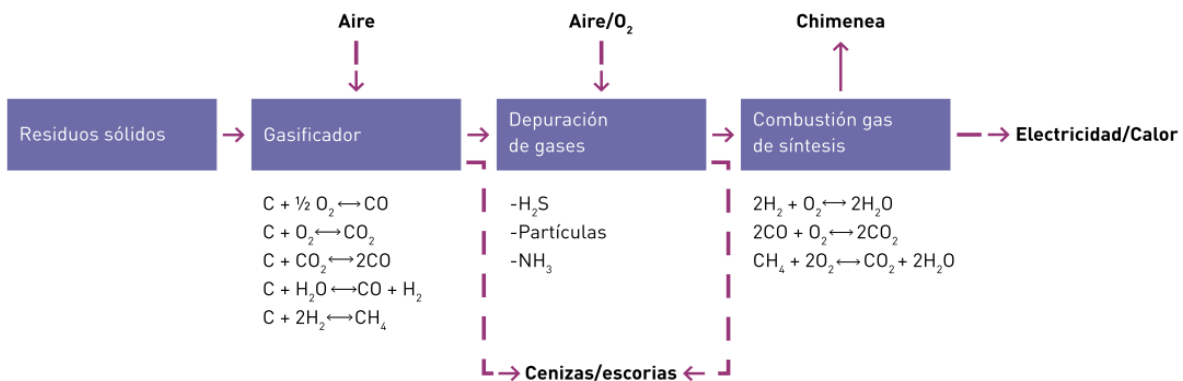


- A: Es la zona de descarga y trituración
- B: Pirólisis
- C: Recogida y selección de residuos procedentes del sistema
- D: Recuperación de energía
- E: Depuración de gases

Fuente: WasteGen [44]

- **Gasificación:** Es un proceso de oxidación parcial de la materia, en presencia de cantidades de oxígeno inferiores a las requeridas estequiométricamente. Se usa aire, oxígeno, o vapor de agua como fuente de oxígeno, y en ocasiones como portador en eliminación de los productos de reacción y la temperatura de trabajo es típicamente superior a los 750 °C [44].

Figura 7 Esquema del proceso de Gasificación



Fuente: Situación y potencial de valorización energética directa de residuos. IDEA, 2011

- **Incineración:** La incineración, es en la actualidad el tratamiento más usual de destrucción térmica de los residuos municipales, y consiste en un proceso de combustión en medio oxidante a una temperatura de 850 – 1100 °C, con objeto de destruir los componentes peligrosos, reduciendo simultáneamente de forma importante en su peso y su volumen. Con la incineración se pueden alcanzar porcentajes de reducción del 90 % en volumen, y del 65 % en peso [19].

Figura 8 Diagrama de bloques de una planta de incineración



Fuente: Tomada de la Guía sobre Gestión Energética Municipal – Madrid Ahorra con Energía. Madrid, 2006

Para el aprovechamiento o valorización energética de los residuos sólidos urbanos, el primer factor que debe analizarse es su potencial energético. Dicho factor se mide por el valor del poder calorífico inferior (PCI) [45].

Teniendo presente que el poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía (KJ o Kcal) que produce la combinación de 1 kilo del mismo [45], es necesario lograr diferenciar el poder calorífico del combustible (materiales de desechos sólidos); el cual se presenta de dos formas: *Poder calorífico superior (PCS)* y *poder calorífico inferior (PCI)* [46].

El PCS, se define suponiendo que todos los elementos de la combustión (combustible y aire) son tomados a 0°C y los productos (gases de combustión) son llevados también a 0°C después de la combustión, por lo que el vapor de agua que proviene de la humedad propia del combustible y del agua formada por la combustión del hidrógeno del combustible se hallará totalmente condensado. Mientras que el PCI, considera que el vapor de agua contenido en los gases de la combustión no condensa [46]; es decir solo existe desprendimiento de calor por la oxidación de los combustibles y no por aportes adicionales por condensación de la humedad o vapor de agua. Básicamente la diferencia entre ambos está en la

energía asociada a la condensación del vapor de agua contenido en los gases de la combustión [20].

Para la determinación del potencial energético que presentan los residuos sólidos urbanos como son residuos de comida, papel, cartón, residuos de jardín, textiles, vidrio, plásticos, entre otros; se puede estimar de dos maneras; ya sea por el método analítico o por el método práctico [46].

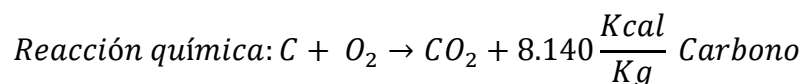
2.6.6.1 Método analítico

Consiste en sumar los poderes calóricos de los elementos principales que forman la muestra de basura, ponderados por su fracción en peso, descontando de la cantidad de hidrógeno total la que se encuentra ya combinada con el oxígeno [20]. Es decir, el método analítico consiste en aplicar el principio de la conservación de la energía, que expresa: “el poder calorífico de un cuerpo compuesto es igual a la suma de los poderes calóricos de los elementos simples que lo conforman, multiplicados por la cantidad centesimal en que intervienen, descontando de la cantidad de hidrógeno total del combustible la que se encuentra ya combinada con el oxígeno del mismo” [46].

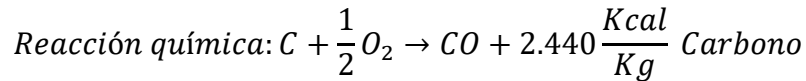
Por lo tanto, para la aplicación del presente procedimiento es necesario efectuar previamente un análisis elemental del combustible cuyo poder calorífico se desea determinar cómo es el porcentaje de carbono, hidrógeno, oxígeno, azufre y la humedad del mismo [46].

- **Poder calorífico del carbono:** si el carbono (C) se combina con suficiente cantidad de oxígeno quema totalmente formando anhídrido carbónico con desprendimiento de calor [46].

La reacción química de la combustión completa del carbono es la siguiente:

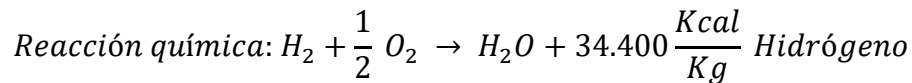


Si el oxígeno disponible para la combustión no fuera suficiente, el carbono se oxida formando monóxido de carbono con liberación de calor en mucho menos cantidad, según la reacción siguiente [46]:



➤ **Poder calorífico del hidrógeno:**

- **Poder calorífico superior:** el hidrógeno se combina con el oxígeno en forma total, dando como resultado agua con desprendimiento de calor [46].



Este valor incluye el calor cedido por la condensación del vapor de agua formado en la combustión, por lo que, de acuerdo a lo explicado anterior, corresponde al valor calorífico superior del hidrógeno [46]:

$$PCS = 34.400 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \text{ Hidrógeno}$$

- **Poder calorífico inferior:** en el caso de que no se pueda aprovechar ese calor de condensación, al calor liberado en la oxidación del hidrógeno habrá que descontarle el calor que pierde al no condensar el vapor de agua, con lo cual se obtendría el poder calorífico inferior del hidrógeno [46].

$$PCI = PCS - 600 \times (9H + H_2O)$$

Considerando:

H₂O = 0, por considerar que no existe humedad en el combustible

H = 1 Kg hidrógeno

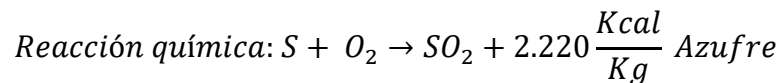
Resulta:

$$PCI = 34.400 - 600 \times 9$$

$$PCI = 34.400 - 5.400$$

$$PCI = 29.000 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \text{Hidrógeno}$$

- **Poder calorífico del azufre:** el azufre es un contaminante del combustible y su presencia es indeseable. No obstante, cuando éste elemento está presente y se oxida libera calor de acuerdo a la siguiente reacción química [46]:



Fórmula de Dulong:

- *Poder calorífico superior de un combustible seco.*

Por el principio de conservación de la energía, el químico y físico francés *Pierre Louis Dulong*, expresa que el poder calorífico superior (PCS) de un combustible seco, sólido o líquido, que contenga carbono, hidrógeno, y azufre en su composición, por la siguiente expresión [46]:

$$PCS \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \right) = 8.140 \times C + 34.400 \times \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2.220 \times S$$

Donde:

C: cantidad centesimal de carbono en peso por kilogramo de combustible

H: cantidad centesimal de hidrógeno total en peso por kilogramo de combustible

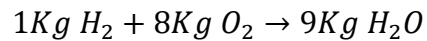
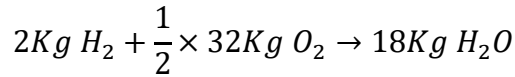
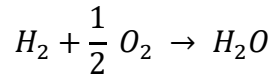
O: cantidad centesimal de oxígeno en peso por kilogramo de combustible

S: cantidad centesimal de azufre en peso por kilogramo de combustible

O/8: cantidad centesimal de hidrógeno en peso que se encuentra combinado con el oxígeno del mismo combustible dando “agua de combinación”

(H – O/8): cantidad centesimal de “hidrógeno disponible”, en peso realmente disponible para que se oxide con el oxígeno del aire, dando “agua en formación”

Es importante recordar la oxidación del hidrógeno como se representa en la reacción siguiente:



Dicha ecuación nos dice que, 8 kilogramo de oxígeno se van a combinar con un kilogramo de hidrógeno para formar 9 Kg de agua.

- *Poder calorífico inferior de un combustible seco*

$$PCI \left(\frac{Kcal}{Kg} \right) = 8.140 \times C + 29.000 \times \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2.220 \times S$$

- *Poder calorífico inferior de un combustible húmedo*

$$PCI \left(\frac{Kcal}{Kg} \right) = 8.140 \times C + 29.000 \times \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2.220 \times S - 600 \times H_2O$$

Fórmula de Hutte:

$$PCI \left(\frac{Kcal}{Kg} \right) = 8.100 \times C + 29.000 \times \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2.500 \times S - 600 \times H_2O$$

Fórmula de la asociación de ingenieros alemanes:

$$PCI \left(\frac{Kcal}{Kg} \right) = 8.080 \times C + 29.000 \times \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2.500 \times S - 600 \times H_2O$$

2.6.6.2 Método práctico

El método práctico consiste en el empleo de “calorímetros” mediante los cuales se puede determinar en forma directa en el laboratorio el poder calorífico de los combustibles (desechos o materiales sólidos). Estas técnicas de calorímetros consisten en quemar una cierta cantidad de combustible y medir la cantidad de calor producida a través de la energía térmica ganada por un líquido conocido (agua), el que, de acuerdo el método a utilizar puede estar contenida en un recipiente, o permanecer en continua circulación durante el proceso [46].

El RAS 2000 en su título F incluye tres maneras mediante las cuales se puede determinar el contenido energético de las fracciones de los residuos sólidos:

1. Utilizando una caldera a escala real como calorímetro
2. Con una bomba calorimétrica de laboratorio y
3. Por cálculo, si se conoce la composición elemental.

Por las dificultades que existen para instrumentar una caldera a escala real, la mayoría de los datos sobre el contenido de energía de los componentes orgánicos de los RSU están basados en los resultados de ensayos con una bomba calorímetro que se muestran en la tabla 6; los cuales están en una base referida a los tipos de residuos desechados y que se pueden convertir a una base seca mediante la ecuación según el RAS 2000:

$$\frac{Kj}{Kg} (base\ seca) = \frac{Kj}{Kg} (residuos\ desechados) \times \left(\frac{100}{100\% \text{ humedad} - \% \text{ ceniza}} \right)$$

Tabla 6 Valores típicos del contenido energético de los residuos sólidos domésticos

Tipo de residuo	Componentes de residuos	Energía (Kcal/kg)	
		Rango	Típico
Orgánicos	Residuos de comida	833 – 1.667	1.111
	Papel	2.778 – 4.444	4.000
	Cartón	3.333 – 4.167	3.889
	Plásticos	6.667 – 8.889	7.778
	Textiles	3.611 – 4.722	4.167
	Goma	5.000 – 6.667	5.556
	Cuero	3.611 – 4.722	4.167
	Residuos de jardín	556 – 4.444	1.556
	Madera	4.167 – 4.722	4.444
	Orgánicos misceláneos	-	-
Inorgánicos	Vidrio	28 – 56	33
	Latas de hoja lata	56 – 278	167
	Aluminio	-	-
	Otros metales	56 – 278	167
	Suciedad, cenizas, etc.	556 – 2.778	1.667
Residuos sólidos urbanos		2.222 – 3.333	2.778

Fuente: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000. Título F: Sistema de Aseo Urbano

2.7 Marco normativo relacionado con la gestión de los residuos sólidos urbanos en Colombia

En el marco de la Constitución Política de Colombia en su apartado 3 “**de los derechos colectivos y del ambiente**”, en su Art. 79 se enaltece que todas las personas tienen el derecho de gozar de un ambiente sano, y es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines [47], por su parte la Ley 99 de 1993, creó el Ministerio del Medio Ambiente, como organismo rector de la gestión del medio ambiente y de los recursos naturales renovables y se organizó el Sistema Nacional Ambiental (SINA) [48], el cual es un conjunto de orientaciones, normas, programas, y demás que permiten la puesta en marcha de los principios generales ambientales orientados hacia el desarrollo sostenible [49].

2.7.1 Constitución Política de Colombia

La cual elevó a norma constitucional la consideración, manejo y conservación de los recursos naturales y el medio ambiente, a través de los siguientes principios fundamentales:

- ✓ **Derecho a un ambiente sano:** Consagra en su Art. 79 “que todas las personas tienen derecho en gozar de un ambiente sano, para lo cual es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines” [33], [47].
- ✓ **El medio ambiente como patrimonio común:** La Constitución Nacional (CN) incorpora este principio en el Art. 8 al imponer al Estado y las personas la obligación de proteger las riquezas culturales y naturales de la Nación [33].
- ✓ **Desarrollo sostenible:** En el desarrollo de este principio la CN, en su Art. 80 consagra que “el Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores

de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados” [33], [47].

Tabla 7 Normativa Colombiana sobre la Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos

Norma	Emite	Descripción
Constitución Política de Colombia de 1991	Congreso Nacional de Colombia	En su Art. 49 reglamentado por la ley 1787 de 2016 se garantiza el saneamiento ambiental como un servicio público a cargo del estado. y consagra en el capítulo 3 de los derechos colectivos y del ambiente en su Art. 79 que toda persona tiene derecho en gozar de un ambiente sano, para lo cual es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente.
Ley 09 de 1979 Código Sanitario Nacional	Ministerio de Salud	Establece las normas sanitarias en lo que relaciona a la salud humana y los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de las descargas de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del ambiente.
Ley 99 de 1993	Congreso Nacional de Colombia	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Publico encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental SINA, y se dictan otras disposiciones.
Ley 142 de 1994	Ministerio de Desarrollo Económico	Dicta el régimen de servicios públicos domiciliarios.
Decreto Ley 2811 de 1974	Presidencia de la República	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente. En sus Art. 34 al 38 establece lo relacionado con la gestión para el manejo de los residuos sólidos, la obligación de los municipios a organizar los servicios adecuados desde la recolección hasta la disposición final.
Documento CONPES 2750 de 1994	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Política sobre el manejo de residuos sólidos.

Decreto 1713 de 2002	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Reglamenta la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001. En cuanto a relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos.
Decreto 388 de 2005	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre la disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.
Decreto 2981 de 2013	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por el cual se regula la prestación del servicio público de aseo, del que trata la ley 142 de 1994.
Decreto 1077 de 2015	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Por el cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio; que dentro de los objetivos el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio tiene que velar por la prestación de los servicios de saneamiento básico.
Decreto 596 de 2016	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio	Modifica y adiciona el Decreto 1077 de 2015 en lo relativo con el esquema de la actividad de aprovechamiento del servicio público de aseo y el régimen transitorio para la formalización de los recicladores de oficio, y se dictan otras disposiciones.
Resolución 0754 de 2014	Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	Por la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

Fuente: Autor

3 CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

Desde un punto de vista innovador y sano se pretende buscar a partir de una descripción teórica mediante la determinación del poder calórico de los desechos sólidos y su posible generación de energía, una alternativa de mejor manejo y aprovechamiento de estos desechos que son generados en los municipios de Popayán y Timbío del departamento del Cauca, y que sirva de modelo para cualquier municipalidad o región del país.

Teniendo claro lo que genera el manejo poco adecuado de los residuos sólidos y los objetivos de este trabajo, se dio paso a implementar tres fases metodológicas para lograr dar cumplimiento oportuno de los objetivos establecidos con fin de poder elaborar una propuesta práctica y desde un enfoque multidisciplinar que permita responder eficientemente a estas necesidades en la que responde el tema de la gestión de los residuos sólidos convencionales que son generados en las municipalidades de Popayán y Timbío del Departamento del Cauca.

A continuación, se hace una descripción de la metodología empleada:

3.1 FASE 1: DIAGNÓSTICO AMBIENTAL

Inicialmente se incurrió a realizar un diagnóstico en cada uno de los municipios, previo al desarrollo del trabajo en el cual se establecieron cuatro actividades fundamentales para lograr el levantamiento de la información base requerida que permitiera el enrutamiento y la continuidad del trabajo.

3.1.1 Actividad 1. Revisión de literatura

En esta primera parte del trabajo como tal, se realizó una indagación de literatura bibliográfica y normativa en fuentes como: libros, artículos, revistas, en bases de datos tanto a nivel local (universidad) como nacional e internacional, sobre la evolución de la generación de los residuos como de su gestión y los problemas que a lo largo de su existencia han ocasionado al medio ambiente y la salud de las personas. Lo anterior con el objeto pleno de reciclar la información base y pertinente para lograr llevar a cabo de la mejor manera el cumplimiento de los objetivos y

actividades plasmadas en la articulación del proyecto; también se procedió a buscar información sobre las características socio-económicas, culturales y demográficas de las zonas de estudio para comprender y de tallar al momento de analizar los resultados posibles.

3.1.2 Actividad 2. Socialización del proyecto

Al momento de hacer cumplimiento de la actividad número tres (recolección de información directa), previo a ésta se dio a conocer mediante reuniones y las salidas de campo el objeto y finalidad del desarrollo del trabajo a las partes interesadas, encargadas e involucradas directa o indirectamente con en el compromiso de la prestación de los servicios públicos municipales en especial y exclusivamente con la parte de saneamiento básico (aseo), incluido además los personajes más representativos que se dedican a realizar la actividad de recuperación y comercialización de los residuos sólidos aprovechables que tienden a ser desechados en las basuras pero que representan algún valor económico.

3.1.3 Actividad 3. Colección de información directa

La recolección de la información es un módulo fundamental en el momento de analizar y desarrollar los objetivos principales de cualquier investigación o meta que se tiene en plan; por ello en el desarrollo de esta actividad se recurrió al uso metodológico de encuestas y entrevistas a personas y/o entidades como alcaldía, empresas prestadoras del servicio de aseo urbano, centros de reciclajes de materiales aprovechables; que de cualquier manera ya sea desde la parte administrativa o laboral están relacionados con la gestión de los residuos sólidos que se generan en la municipalidad.

En el anexo número 1 se presenta el formato de la encuesta que se utilizó para la recolección de la información.

Por otra parte, se recurrió a recolectar datos de los planes de desarrollo municipales (PDM) y planes de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS), con objetivo de apoyar la información recolectada en campo y dar inicio al desarrollo de la actividad número 1 de la fase 2 donde se describe la manera como se determina teóricamente

la capacidad energética que tienen los residuos sólidos urbanos de los municipios de Popayán y Timbío.

Lo anterior mencionado, es con fin de conocer la dinámica de generación y gestión integral de los desechos generados que se dan en estos municipios.

3.1.4 Actividad 4. Estimación de la producción per-cápita

Apreciar la producción diaria per-cápita se conoce como la cantidad de residuos sólidos que una persona alcanza a generar en un día, y se puede expresar en términos de kilogramos habitantes días (Kg/hab-día) o unidades equivalentes de acuerdo con los aforos realizados o estimación del Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas – DANE, así lo determina el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000; el cual tiene como objetivo dentro del marco del sistema de aseo urbano, brindar las herramientas necesarias para dar manejo integral a los residuos sólidos municipales [50].

En vista de que el trabajo de campo sólo consistió en recolectar información mediante unos parámetros que fueron mencionados en la actividad número tres de la fase número 1 de la secuencia metodológica; para la estimación de la producción per cápita de los municipios de Popayán y Timbío, el cálculo de la PPC fue basado en la metodología que establece el RAS 2000 en su título F “Sistemas de Aseo Urbano” en el apartado F1.4.1.1; en donde establece los valores típicos de la producción per-cápita para municipios colombianos según el Nivel de Complejidad del Sistema.

- ✓ Fórmula utilizada para el cálculo de la producción per cápita diaria de los residuos sólidos:

$$PPC = \frac{\text{Cantidad de residuos generados } \left(\frac{kg}{día}\right)}{\text{número de habitantes}}$$

3.1.4.1 Valores típicos de la producción per cápita

El RAS 2000 en su título F (Sistema de Aseo Urbano) determina que, si no se ha realizado un estudio de campo para la determinar la generación per cápita en el

área para la cual se desea conocer, pueden considerarse los rangos que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 8 Valores Indicativos de la Producción per cápita para municipios colombianos (Kg/hab – día)

Nivel de complejidad	Valor mínimo	Valor máximo	Valor promedio
Bajo	0.30	0.75	0.45
Medio	0.30	0.95	0.45
Medio alto	0.30	1.00	0.53
Alto	0.44	1.10	0.79

Fuente: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000. Título F: Sistema de Aseo Urbano

Tabla 9 Asignación del nivel de complejidad

Nivel de complejidad	Población en la zona urbana (habitantes)	Capacidad económica de los usuarios
Bajo	> 2500	Baja
Medio	2501 a 12500	Baja
Medio alto	12501 a 60000	Media
Alto	> 60000	Alta

Fuente: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS 2000. Título A: Aspectos Generales de los Sistemas de Agua Potable y Saneamiento Básico

3.2 FASE 2: ESTIPULACIÓN DEL POTENCIAL ENERGÉTICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS

Para esta fase número dos se describe una sola actividad fundamental en la cual se describe metodológicamente la forma de cómo se efectuó el cálculo para conocer la capacidad de energía que representan los desechos sólidos urbanos generados en los municipios de Timbío y de Popayán capital del departamento del Cauca, mediante la estimación del poder calorífico de cada componente.

3.2.1 Actividad 1. Estipular el potencial energético de los residuos

El término de “capacidad de calorífica” o “valor calórico” de un cuerpo hace referencia a la razón de la cantidad de calor que se le cede a dicho cuerpo en una transformación cualquiera con la correspondiente variación de temperatura. La

capacidad calorífica depende de la masa del cuerpo, de su composición química, de su estado termodinámico y del tipo de transformación durante la cual se le cede el calor [51]. En palabras más simples, la capacidad calorífica quiere decir; la magnitud física que determina el calor que es necesario proporcionar un cuerpo para producir un hecho.

Para la estimación del poder calorífico de los materiales sólidos desechados por la población de los municipios de dicho estudio de acuerdo a los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS 2016 y a lo descrito en la actividad número tres de la primera fase de la metodología establecida, se hizo uso del “*método sencillo del análisis de residuos sólidos*” establecido por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS y la Organización Panamericana de la Salud – OPS.

Cuadro 1 Método para estimar el poder calorífico de la basura

$$PCS = \frac{(a + b + c + d) - W}{100} \times \text{valor calórico del componente} \left(\frac{Kcal}{kg} \right)$$

$$PCI \frac{Kcal}{Kg} = PCS - \frac{W}{100} \times 600 = PCS - 6 \times W$$

Donde:

a + b + c + d: Composición húmeda de los residuos (%)

a + b + c + d – w: Composición seca de los residuos (%)

W: Humedad de cada componente

Por lo que entonces se adaptó la siguiente ecuación:

$$PCI \frac{Kcal}{Kg} = \frac{\% \text{componente seco}}{100} \times PCI \text{ teórico de cada componente}$$

Fuente: Método sencillo del análisis de residuos sólidos, CEPIS/OPS. Autor

Este método propone adoptar en primer lugar los valores del poder calóricos de cada componente seco. Luego, descontando la humedad de la basura de cada componente se calcula el poder calorífico superior PCS.

En los procesos industriales no se aprovecha el calor de condensación del vapor, puesto que los gases se evacúan a una temperatura superior al punto de rocío. De ahí que en la práctica se use el poder calorífico inferior PCI. Obviamente, en los combustibles exentos de hidrógeno el PCS y el PCI coinciden [45].

Con base a lo anterior y tomando cada componente en composición seca de acuerdo a los PEGIRS se calculó el poder calorífico inferior de los desechos a partir de los valores calóricos teóricos de cada componente de los RSU establecidos en la tabla 12, la cual fue tomada de la tabla 11 sobre el análisis próximo y datos energéticos típicos para materiales encontrados en los residuos domésticos, comerciales e industriales propuesta por “George Tchobanoglous”.

Tabla 10 Análisis próximo y datos energéticos típicos para materiales encontrados en los residuos sólidos domésticos, comerciales e industriales

Tipo de residuos	Análisis próximo, porcentaje en peso				Contenido energético (Kcal/Kg)		
	Humedad	Materia volátil	Carbono fijo	No combustible	Como recogidos	Seco	Seco y libre de cenizas
Comidas							
Grasas	2,0	95,3	2,5	0,2	8.964	9.148	9.353
Residuos de comida (mezclados)	70,0	21,4	3,6	5,0	998	3.324	3.989
Residuos de frutas	78,7	16,6	4,0	0,7	948	4.452	4.603
Residuos de carne	38,8	56,4	1,8	3,1	4.235	6.919	7.289
Productos de papel							
Cartón	5,2	77,5	12,3	5,0	3.912	4.127	4.357
Revistas	4,1	66,4	7,0	22,5	2.919	3.043	3.976
Papel de periódico	6,0	81,1	11,5	1,4	4.431	4.713	4.784
Papel (mezclado)	10,2	75,9	8,4	5,4	3.777	4.206	4.476
Cartones encerados	3,4	90,9	4,5	1,2	6.292	6.513	6.596
Plásticos							
Plásticos (mezclados)	0,2	95,8	2,0	2,0	7.834	7.995	8.902
Poliétileno	0,2	98,5	<0,1	1,2	10.382	10.402	10.529
Poliestireno	0,2	98,7	0,7	0,5	9.122	9.140	9.128
Poliuretano	0,2	87,1	8,3	4,4	6.224	6.237	6.524
Policloruro de vinilo	0,2	86,9	10,8	2,1	5.419	5.430	5.547
Textiles, goma, cuero							
Textiles	10,0	66,0	17,5	6,5	4.422	4.913	5.459
Goma	1,2	83,9	4,9	9,9	6.050	6.123	6.806
Cuero	10,0	68,5	12,5	9,0	4.167	4.467	4.990
Madera, árboles, etc.							
Residuos de jardín	60,0	30,0	9,5	0,5	1.445	3.613	3.658
Madera (madera verde)	50,0	42,3	7,3	0,4	1.167	2.333	2.352

Maderas duras	12,0	75,1	12,4	0,5	4.084	4.641	4.668
Madera (mezclada)	20,0	68,1	11,3	0,6	3.689	4.620	4.657
Vidrio, metales, etc.							
Vidrio y mineral	2,0	-	-	96- 99+	47	48	33
Metal, latas de hojalata	5,0	-	-	94- 99+	167	177	176
Metal férreo	2,0	-	-	96- 99+	-	-	-
Metal no férreo	2,0	-	-	94- 99+	-	-	-
Misceláneas							
Barreduras de oficina	3,2	20,5	6,3	70,0	2.038	2.106	-
RSU doméstico	210 (15-40)	52,0 (40-60)	7,0 (4-15)	200 (10-30)	2.778	3.472	4.629
RSU comercial	15,0 (10-30)	-	-		3.056	3.594	
RSU	20,0 (10-30)	-	-		2.556	3.194	

Fuente: Tchobanoglous, 1994

Tabla 11 Valores energéticos para materiales encontrados en los residuos sólidos domésticos, comerciales e industriales

Tipo de residuos	Contenido energético (Kcal/Kg)		
	Como se recogen	En peso seco	Seco y libre de cenizas
Residuos de comida	998	3.324	3.989
Cartón	3.912	4.127	4.357
Papel	3.777	4.206	4.476
Plásticos	7.834	7.995	8.902
Textiles	4.422	4.913	5.459
Goma	6.050	6.123	6.806
Cuero	4.167	4.467	4.990
Residuos de jardín	1.445	3.613	3.658
Madera	3.689	4.620	4.657
Vidrio y mineral	47	48	33
Metal, latas de hojalata	167	177	176

Fuente: Adaptada de Tchobanoglous, 1994

3.3 FASE 3: FORMULACIÓN DE ALTERNATIVAS

En esta fase a la cual corresponde la formulación de las alternativas, previo a ésta, se analizó la información que fue obtenida de las anteriores fases.

3.3.1 Actividad 1. Formular una estructura de aprovechamiento de los desechos sólidos como medida de manejo integral de los mismos

Luego de tener toda la información pertinente y consolidada del desarrollo del trabajo, se dio camino a establecer y proponer una estructura de manejo integral de los desechos sólidos generados no solo en las franjas urbanas del municipio de Popayán y Timbío, sino para cualquier municipalidad con el fin de contribuir al mejoramiento en la parte de aprovechamiento de los desechos reutilizables, donde se involucre la práctica de educación ambiental con énfasis en la reformación y conservación del paisaje junto con los recursos naturales; Además involucre metodología de separación de los RSU en la fuente. Lo anterior, con fin de contribuir a la mitigación de los impactos medio-ambientales y sanitarios que están causando a escala apresurada la inadecuada gestión de los residuos sólidos urbanos en el

entorno medio ambiental y al hábitat de los seres vivos especialmente los humanos poniendo en riesgo su integridad y supervivencia.

4 CAPÍTULO IV: RESULTADOS

Acorde a la estructura metodología descrita y empleada en el desarrollo de este trabajo para el cumplimiento de los objetivos establecidos, se logró obtener los siguientes resultados:

- Del primer objetivo específico planteado en el cual consistió en realizar un diagnóstico en cada uno de los municipios, en función de lograr conocer la capacidad de generación, y gestión final de los residuos sólidos urbanos generados, se logró lo siguiente:

De la revisión bibliográfica y/o de literatura frente al tema sobre el manejo integral de los residuos sólidos municipales, la gestión de éstos RSU implica una serie de componentes tales como la responsabilidad de parte de las municipalidades que tienen y deben asumir por obligación normativa (Decreto Ley 2811 de 1974), brindar de la mejor manera posible la prestación de los servicios de aseo y tratamiento final de los residuos sólidos urbanos; haciendo énfasis a la importancia de poner en práctica el uso de la regla de las tres erres (3R) reducir, reutilizar y reciclar los materiales que de una u otra forma son despojados por sus generadores considerados por la mayoría de los mismos no tener algún valor agregado o de reincorporarse al ciclo de utilidad, pues recordando que uno de los problemas principales de generación del cambio climático se le atribuye a los gases emitidos por los desechos no tratados adecuadamente y que también son causas de contaminación paisajística, acuíferas (superficial y subterráneas) al igual de repercutir negativamente en la salud de las personas que residen en su alrededor.

Por otra parte, en esta fase de diagnóstico con el objetivo de realizar la exploración mediante el uso de las encuestas y entrevistas planteadas, como también de los planes de desarrollo municipal – PDM y planes de gestión integral de residuos sólidos – PGIRS; se logró obtener información que relaciona la generación de los desechos convencionales como de su gestión o etapas de tratamiento para la

reducción de los impactos adversos al medio ambiente y población que generan éstos en los municipios de Popayán y Timbío del Departamento Caucaño.

4.1 Resultados del municipio de Popayán

4.1.1 Diagnóstico sobre la generación de residuos sólidos

En consideración a la encuesta realizada a la ingeniera Yuli Zapata Flórez residente de los rellenos sanitarios El Ojito el cual está en proceso de clausura y Los picachos actualmente en operación con vida útil de 30 años (2014 – 2043) y, también a lo consultado en el PGIRS de 2016; en el sector urbano del municipio de Popayán se generan residuos sólidos de tipo residencial, comercial, industrial, institucional, adicionalmente residuos de las plazas de mercado, materiales de barrido manual de calles y áreas públicas, residuos de poda y corte de césped, residuos especiales como escombros, entre otros; teniendo como empresa de aseo a Serviaseo Popayán S.A E.S.P., quien presta los servicios desde la recolección hasta la disposición final en el relleno sanitario Los Picachos ubicado en la vereda La Yunga a 25 km del centro de la ciudad.

Dicho servicio de disposición final no sólo se presta para los residuos generados en el municipio de Popayán, sino que también están integrados 15 municipios del departamento incluido Popayán: (Popayán, Piendamó, Timbío, Cajibío, El Tambo, Puracé, La Sierra, Rosas, Totoró, Caldono, Inzá, Patía, Silvia, Sotará y Suárez); los cuales, disponen en el relleno sanitario *Los Picachos* entre 200 y 250 toneladas diarias de residuos sólidos, equivalentes a un promedio de 6.750 toneladas mensual según la ingeniera Yuli Zapata Flórez.

En caso específico del municipio de Popayán, durante el período comprendido entre septiembre del 2015 hasta septiembre del 2016 se hizo la recolección de residuos según la Unión Temporal Triple A Suroccidente II y la interventoría N° 16 para la actualización y representación en el PGIRS 2016. En ese período de tiempo, en el casco urbano del municipio con un promedio poblacional de 248.760 habitantes se generó un total de 82.394,6 toneladas de residuos sólidos con promedio mensual

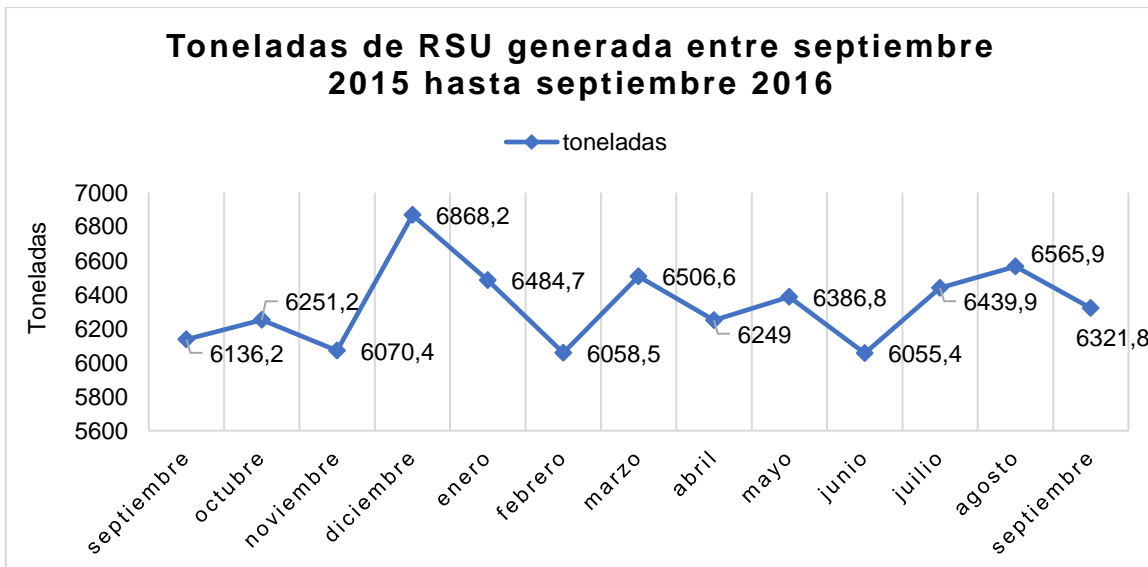
de 6.338,05 toneladas. En la tabla 12 y la gráfica 8 se muestra la dinámica de generación de residuos por mes durante dicho período.

Tabla 12 Generación de residuos sólidos en el municipio de Popayán durante septiembre 2015 a septiembre 2016

Generación de RS en el sector urbano de Popayán	Año 2015	Mes	Generación (Ton)	Diferencia (Ton)
		Sep.	6.136,2	141,9
		Oct.	6.251,2	115,0
		Nov.	6.070,4	-180,8
	Año 2016	Dic.	6.868,2	797,8
		Ene.	6.484,7	-383,5
		Feb.	6.058,5	-426,2
		Mar.	6.506,6	448,1
		Abr.	6.249,0	-257,6
		May.	6.386,8	137,8
		Jun.	6.055,4	-331,4
		Jul.	6.439,9	384,5
		Ago.	6.565,9	126
		Sep.	6.321,8	-244,1

Fuente: Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS, Popayán 2016

Gráfica 8 Tendencia de la generación de los residuos sólidos en el casco urbano de Popayán



Fuente: Autor

Según el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos, la caracterización de los residuos sólidos de las diferentes comunas del sector urbano del municipio de

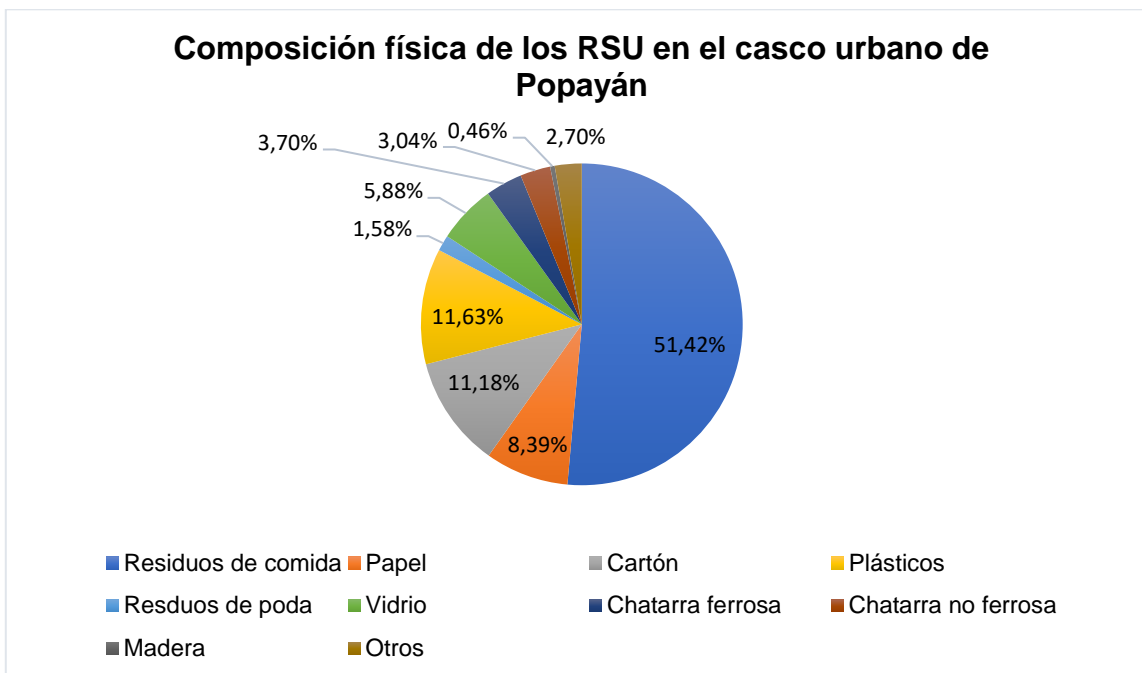
Popayán realizada bajo los criterios establecidos por la guía metodológica del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS, 2005) y parámetros de la Resolución 0754 de 2014, referidos a determinar la composición, propiedades y producciones de los residuos del sector urbano y rural; se presentan a continuación las características físicas de la composición de los residuos sólidos que se generan en el casco urbano de Popayán; como también, los contenidos de peso de humedad y peso seco de los mismos conforme a los muestreos de cada comuna [27]; los cuales se tuvieron en cuenta para poder efectuar el cálculo de determinación de la capacidad energética de cada componente de desechos sólidos generado en el municipio.

Tabla 13 Composición física de los residuos en el casco urbano de Popayán

CARACTERIZACION FISICA RSU EN EL CASCO URBANO DE POPAYAN					
Material	Kg/día	Promedio %	Kg/mes	Ton/mes	
Papel	17.917,50	8,39	537.524,96	537,52	
Cartón	23.874,67	11,18	716.239,99	716,24	
Vidrio	12.566,53	5,88	376.995,89	377	
Plásticos	24.842,79	11,63	745.283,75	745,28	
Chatarra ferrosa	7.911,49	3,7	237.344,77	237,34	
Chatarra no ferrosa	Aluminio	6.491,86	3,04	194.755,78	194,76
	Cobre	0	-	-	0
Residuos de construcción y demolición (RCD)	0	-	-	0	
Otros	5.765,80	2,7	172.973,88	172,97	
Residuos de comida	109.806,38	51,42	3.294.191,45	3.294,19	
Residuos de poda	3.383,70	1,58	101.511,04	101,5	
Madera	982,32	0,46	29.469,62	29,47	
TOTAL	213.548,00	100	6.406.291,12	6.406,29	

Fuente: Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS, Popayán 2016

Gráfica 9 Composición física por componente de los RSU en el casco urbano de Popayán



Fuente: Autor

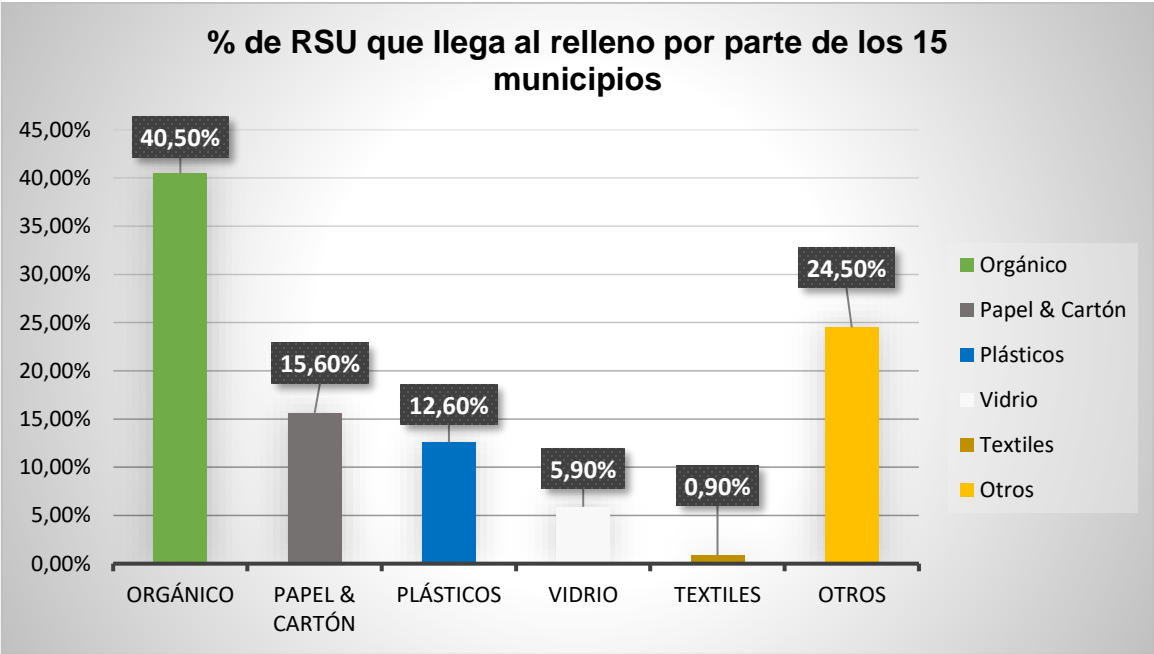
Tabla 14 Porcentaje por Componentes de residuos sólidos que llegan al sitio de disposición final – Relleno sanitario Los Picachos

COMPONENTE	Porcentaje (%)
Papel	6,34
Cartón	5,28
Plástico	21,48
Textiles	2,46
Goma	1,06
Cuero	0,7
Madera	2,11
Vidrio	2,46
Latas de Aluminio	1,06
Metales	1,41
Corte de césped y poda de árboles	7,75
Cerámica, Escombros, Cenizas Y Rocas	5,22
Residuos Orgánicos	38,73
Higiénico Sanitarios	2,17
Otros	1,77
Total	100

Fuente: Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS, Popayán 2016

Por otra parte, teniendo presente la entrevista que se le realizó a la ingeniera residente de los rellenos sanitarios de Popayán (El Ojito en fase de clausura y Los Picachos aún con vida útil de 26 años 2017-2043) Yuli Zapata Flórez; la composición en porcentaje de los residuos que más llegan al destino final en el relleno Los Picachos de parte de los 15 municipios que depositan en este, se representa en la siguiente gráfica:

Gráfica 10 Composición en porcentaje de RSU que llegan al relleno sanitario Los Picachos por parte de los 15 municipios que depositan en él



Fuente: Autor

Tabla 15 Peso seco de los residuos generados en Popayán

Tipo de residuo	PESO SECO RESIDENCIAL POR COMUNA									Total Kg/día
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Materia Orgánica	1623,72	5065,41	4691,75	2881,65	944,82	2814,61	2669,38	4016,95	2232,14	26940,43
Madera, follaje	14,86	613,75	75,64	43,3	18,99	269,19	141,51	30,91	18,12	1226,27
Papel	453,9	4588,7	1407,89	1476,02	530,88	233,76	822,41	704,6	303,45	10521,61
Cartón	459,6	4366,22	1034,3	1128,75	494,13	538,43	929,96	553,16	462,13	9966,68
Vidrio	88,74	3552,15	1404,79	567,54	405,4	588,28	1508,96	1009,58	718,26	9843,70
Plástico PET	523,85	2875,96	861,69	2123,21	414,96	646,96	860,5	246,36	406,42	8959,91
Plástico duro	15,04	1667,56	879,34	449,73	127,13	96,01	451,36	331,59	242,08	4259,84
Bolsas	283,36	3067,73	1265,6	1402,86	1029,39	377,95	1056,33	663,71	555,62	9702,55
Tecnopor y similares	19,54	1464,13	252,36	220,64	196,22	38,92	140,27	78,76	128,77	2539,61
Aluminio	181,43	1994,45	83,84	369,97	13,66	293,96	46,59	130,01	34,43	3148,34
Metales ferrosos	96,7	2462,1	78,44	116,48	447,83	422,76	69,36	115,33	0	3809,00
Telas, textiles	6,93	2948,95	192,89	75,43	91,27	121,14	0	192,62	81,54	3710,77
Caucho, cuero, jebe	4,06	478,87	56,73	4,73	0	5,77	5,85	16,05	116,48	688,54
Pilas	0	961,95	0	10,92	0	0	0	0	65,49	1038,36
Restos de medicinas, focos	9,49	1445,28	5,8	101,66	7,86	0	0	103,45	5,44	1678,98
Residuos de servicios higiénicos	66,55	1913,98	945,71	201,95	39,12	137,14	294,22	1968,67	603,52	6170,86
Otros (especificar)	0	1963,74	150,78	14,89	0	0	59,8	0	0	2189,21
Total, generación día										106394,66

Fuente: Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS, Popayán 2016. Autor

Tabla 16 Proyección en la generación de residuos sólidos en el casco urbano del municipio de Popayán – Cauca, 2016 – 2028

Año	Habitantes	Producción (Kg/hab-día)	Producción de Residuos Ordinarios (Kg/año)	Producción total (Ton/año)
2016	250.103	0,85	77.594.456	77.594,5
2017	252.570	0,86	79.135.605	79.135,6
2018	254.966	0,87	80.613.301	80.613,3
2019	256.972	0,87	81.630.025	81.630,0
2020	258.651	0,87	82.353.312	82.353,3
2021	261.853	0,89	84.751.786	84.751,8
2022	265.054	0,89	86.517.023	86.517,0
2023	268.256	0,90	88.306.476	88.306,5
2024	271.457	0,91	90.119.766	90.119,8
2025	274.659	0,92	91.957.837	91.957,8
2026	277.860	0,93	93.820.306	93.820,3
2027	281.062	0,93	95.708.134	95.708,1
2028	284.263	0,94	97.620.933	97.620,9

Fuente: Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS, Popayán 2016

4.1.1.1 Determinación de la generación per-cápita

De la producción per cápita de la ciudad, de acuerdo a los reportes realizados por Serviaseo Popayán al Sistema Único de Información – SUI y las proyecciones de población oficiales del DANE (250.103 habitantes) para el año 2016, se tiene que el promedio de generación de residuos diario por habitante de la ciudad es de 0,85 kg/hab-día. En la siguiente tabla se especifica la PPC correspondiente a cada mes para los dos últimos años (2015 – 2016), a excepción del último mes del 2016.

Tabla 17 Producción per cápita de residuos sólidos Municipio de Popayán

Periodo	Año 2015		Año 2016	
	Producción promedio (Ton/día)	PPC (Kg/hab-día)	Producción promedio (Ton/día)	PPC (Kg/hab-día)
Enero	208,25	0,84	216,16	0,86
Febrero	192,77	0,78	201,95	0,81
Marzo	210,97	0,85	216,89	0,87
Abril	215,32	0,87	208,30	0,83
Mayo	215,20	0,87	212,89	0,85
Junio	206,99	0,84	201,84	0,81
Julio	213,31	0,86	214,66	0,86

Agosto	199,81	0,81	218,86	0,88
Septiembre	204,54	0,83	210,73	0,84
Octubre	208,37	0,84	219,24	0,88
Noviembre	202,35	0,82	227,50	0,91
Diciembre	228,94	0,93	Sin información	Sin información
Promedio	208,90	0,84	213,55	0,85

Fuente: Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS, Popayán 2016

Es de notar que, en el año 2016 en el sector urbano de Popayán se asentaba el 89,29% de la población total del municipio, es decir, 250.103 habitantes; lo cual, le pertenece un nivel de complejidad alto según las consideraciones del RAS 2000. Por lo tanto, de acuerdo lo establecido en la actividad 4 de la fase 1 de este trabajo, la estimación de la producción per cápita corresponde al mismo valor típico adoptado del Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico establecidos en su título F tabla F.1.1., y se demuestra a continuación:

Tabla 18 Población de Popayán para los últimos tres años (2015 – 2016)

Año	Población urbana	Población rural	Población total
2015	247.512	30.028	277.540
2016	250.103	30.004	280.107
2017	252.457	29.996	282.453

Fuente: Autor. DANE, 2005

$$PPC = \frac{\text{Cantidad de residuos generados } \left(\frac{kg}{\text{día}}\right)}{\text{número de habitantes}}$$

$$\text{Cantidad de RS (2016)} = \text{número de habitantes} \times 0,79 \frac{kg}{\text{hab} - \text{día}}$$

$$\text{Cantidad de RS} = 250.103 \text{ hab} \times 0,79 \frac{kg}{\text{hab} - \text{día}} = 197581,37 \text{ kg/día}$$

$$PPC = \frac{197581,37 \text{ kg/día}}{250.103 \text{ hab}} = 0,79 \frac{kg}{\text{hab} - \text{día}}$$

4.1.2 Estimación del poder calorífico

- Del segundo objetivo establecido, “efectuar modelos paramétricos para conocer o apreciar el poder calorífico de los residuos sólidos urbanos”, se tiene que:

El cálculo del poder calorífico inferior de los desechos se efectuó de acuerdo a la ecuación del cuadro 1 (método para estimar el poder calorífico de la basura) de la siguiente manera como se describió en la false 2.

La tabla 15 muestra la composición el peso seco de cada componente de los RSU, en vista a esto se procedió a determinar el porcentaje de dicha composición seca en kilogramo día de cada elemento y luego se halló la capacidad del PCI de los mismos considerando los valores del PCI teórico de los elementos establecidos en el cuadro 1 de este trabajo.

$$\% \text{ composición del peso seco} = \frac{\text{Kg/día}}{\text{total Kg/día}} \times 100\%$$

$$\% \text{ composición}_{\text{Materia Orgánica}} = \frac{26.940,43}{88.359,91} \times 100 = 30,49\%$$

Por lo tanto:

$$PCI_{MO} \left(\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \right) = \frac{30,49}{100} \times 3.324 = 841,64 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

Tabla 19 Porcentaje de la composición del peso seco y PCI de los RSU generados diariamente en el municipio de Popayán

Tipo de residuo	Peso seco (Kg/día)	Composición (%)	PCI teórico (Kcal/kg)	PCI (Kcal/kg)
Materia Orgánica	26.940,43	25,32	3.324	841,64
Madera, follaje	1.226,27	1,15	4.620	53,13
Papel	10.521,61	9,89	4.206	415,97
Cartón	9.966,68	9,37	4.127	386,70
Vidrio	9.843,70	9,25	48	4,44
Plástico	25.461,91	23,93	7.995	1913,20
Telas, textiles	3.710,77	3,49	4.913	171,46
Caucho, cuero, jebe	688,54	0,65	4.467	29,04
Aluminio	3.148,34	2,96	-	-

Metales ferrosos	3.809,00	3,58	-	-
Pilas	1.038,36	0,98	-	-
Restos de medicinas, focos	1.678,98	1,58	-	-
Residuos de servicios higiénicos	6.170,86	5,80	-	-
Otros (especificar)	2.189,21	2,06	-	-
Total	106.394,66	100,00	-	3.815,58

Fuente: Autor

4.1.3 Capacidad energética mensual de los residuos sólidos urbanos que genera el municipio de Popayán

Luego de conocer los valores del poder calorífico inferior de cada elemento expresado en kilocaloría por kilogramo (Kcal/kg), se calculó la proyección mensual de la capacidad energética o cantidad de energía en kilovatios hora (kWh) que puede generar los residuos sólidos de acuerdo a la cantidad de generación de los mismos considerando su valor en peso seco.

Dicha capacidad energética se determinó multiplicando los valores del PCI de cada componente por la cantidad de generación en términos de mes y su factor de conversión de (1 Kcal \rightarrow 1,163 \times 10⁻³ kWh).

$$Cap. Energética = PCI \frac{Kcal}{kg} \times \frac{Kg}{mes} \times 0,001163 \frac{kWh}{Kcal}$$

Entonces efectuando la anterior ecuación como ejemplo para la materia orgánica se tiene que:

$$Cap. Energética_{MO} = 841,64 \frac{Kcal}{kg} \times 26.940,43 \frac{Kg}{día} \times 30 \frac{días}{mes} \times 0,001163 \frac{kWh}{Kcal}$$

$$Cap. Energética_{MO} = 791.100,87 \frac{kWh}{mes}$$

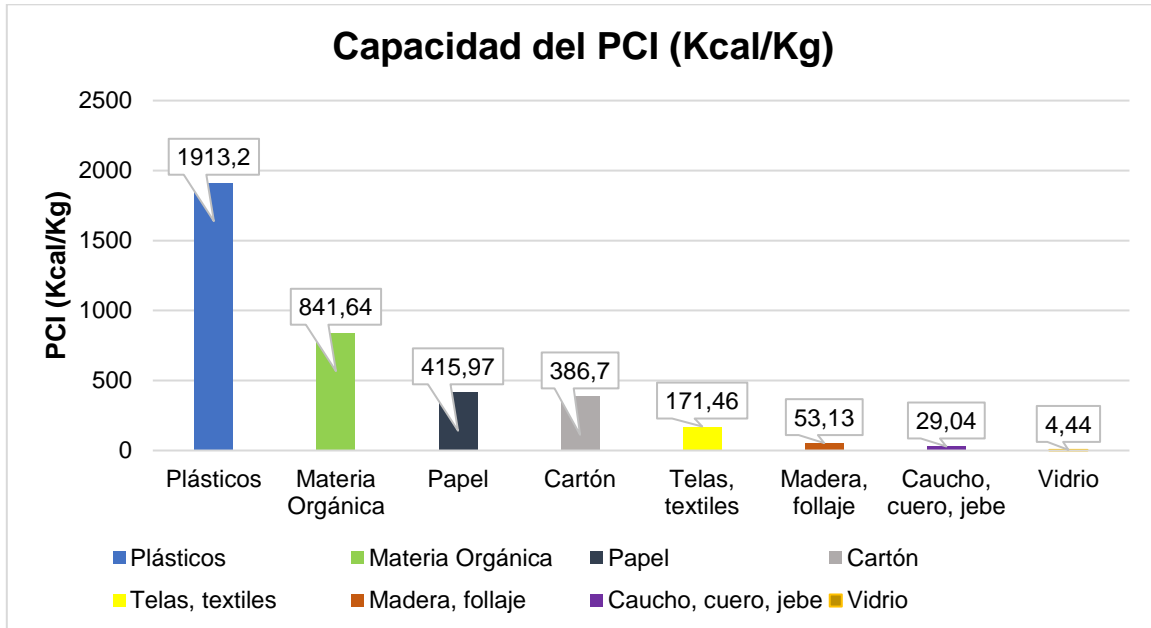
De la misma manera se determinó la capacidad energética de los demás elementos de la composición de los residuos sólidos urbanos del casco urbano de Popayán.

Tabla 20 Resultados de la capacidad energética de los residuos sólidos urbanos del municipio de Popayán

GENERACIÓN DE RSU Y CAPACIDAD ENERGÉTICA MENSUAL					
Tipo de residuo	Peso seco (kg/día)	Composición (%)	PCI teórico (Kcal/kg)	PCI (Kcal/kg)	Kilovatio hora (kWh)- mensual
Materia Orgánica	26.940,43	25,32	3.324	841,64	791.100,87
Madera, follaje	1.226,27	1,15	4.620	53,13	2.273,14
Papel	10.521,61	9,89	4.206	415,97	152.702,16
Cartón	9.966,68	9,37	4.127	386,70	134.470,08
Vidrio	9.843,70	9,25	48	4,44	1.524,90
Plástico	25.461,91	23,93	7.995	1913,20	1'699.621,91
Telas, textiles	3.710,77	3,49	4.913	171,46	22.198,71
Caucho, cuero, jebe	688,54	0,65	4.467	29,04	697,63
Aluminio	3.148,34	2,96	-	-	-
Metales ferrosos	3.809,00	3,58	-	-	-
Pilas	1.038,36	0,98	-	-	-
Restos de medicinas, focos	1.678,98	1,58	-	-	-
Residuos de servicios higiénicos	6.170,86	5,80	-	-	-
Otros	2.189,21	2,06	-	-	-
Total	106.394,66	100,00	-	3.815,58	2'804.589,41

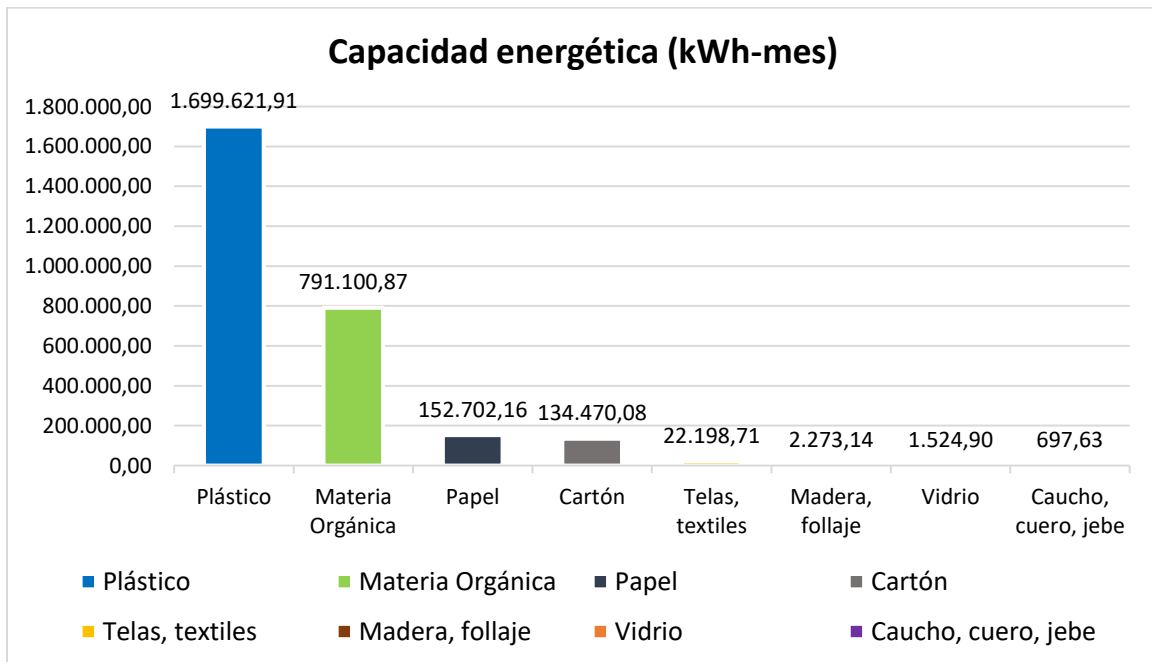
Fuente: Autor

Gráfica 11 Capacidad del poder calorífico inferior de los residuos sólidos que se generan en el casco urbano de Popayán



Fuente: Autor

Gráfica 12 Capacidad energética de los residuos sólidos urbanos del municipio de Popayán



Fuente: Autor

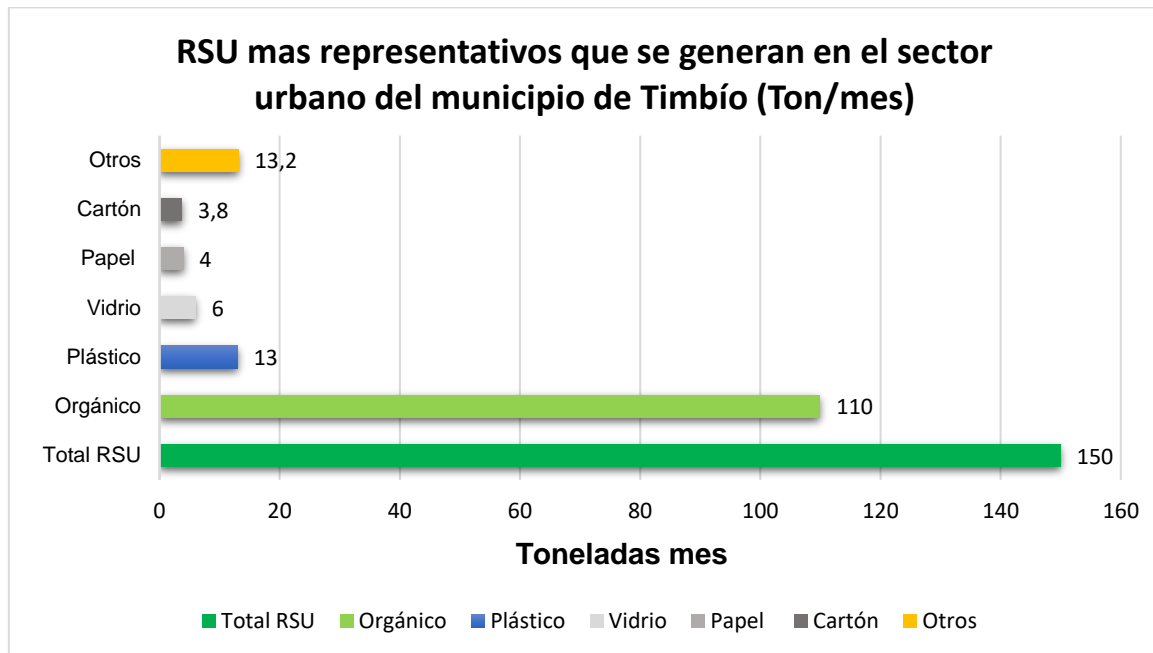
4.2 Resultados del municipio de Timbío

4.2.1 Diagnóstico sobre la generación de residuos sólidos

De acuerdo a lo establecido en el PGIRS 2016, la generación promedio de residuos sólidos en el área urbana del municipio está en 150,8 toneladas mensual; lo cual, coordina con lo dicho por el técnico operativo de la empresa prestadora del servicio de aseo (EMTIMBIO E.S.P.) el señor Carlos Ortiz Alegría cuando respondió a la encuesta que se le realizó, que en el sector urbano del municipio de Timbío se generan en la actualidad (2016) 150 toneladas al mes de residuos sólidos; de lo cual, 110 toneladas corresponden a material orgánico, 13 toneladas a plásticos y en menor proporción cerca de 8 toneladas entre material de papel y cartón.

En la siguiente gráfica se hace la representación de dichos materiales que tienen mayor representación tanto en volumen como en peso de los desechos que son generados por la población del municipio correspondiente al periodo final del año 2016 según lo dicho por el técnico operativo de la empresa de aseo.

Gráfica 13 Residuos sólidos más representativos que se generan en el sector urbano del municipio de Timbío según resultado de la encuesta



Fuente: Autor

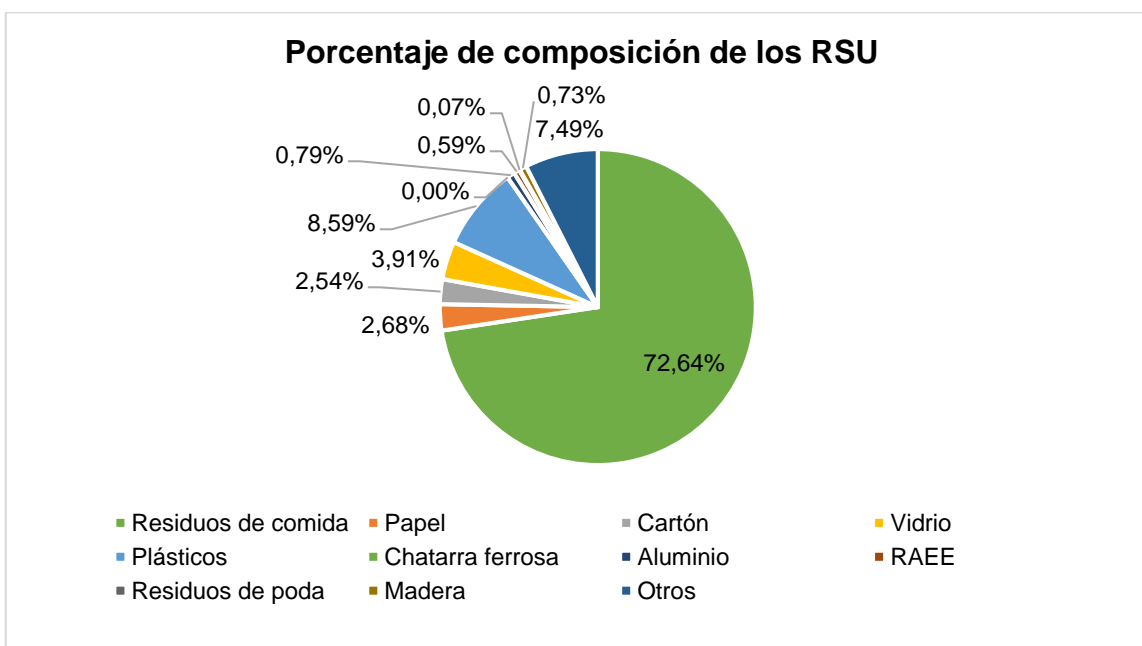
En consideración al PGIRS 2016 del municipio de Timbío, la composición de los residuos sólidos generados en el sector urbano se presenta en la siguiente tabla, de la cual se tomaron los componentes para determinar posteriormente el poder calorífico de los desechos generados en dicha región.

Tabla 21 Composición física de los residuos sólidos en el casco urbano del municipio de Timbío

Tipo de residuo	Kg/día	%	Kg/mes	Ton/mes
Papel	134,69	2,68	4.040,66	4,04
Cartón	127,85	2,54	3.835,63	3,84
Vidrio	196,81	3,91	5.904,15	5,90
Plástico	431,74	8,59	12.952,15	12,95
Chatarra ferrosa	0,00	0,00	0,00	0,00
Aluminio	38,09	0,76	1.142,73	1,14
RAEE	29,47	0,59	884,12	0,88
Residuos de comida	3.651,63	72,64	109.548,86	109,55
Residuos de poda	3,60	0,07	107,91	0,11
Madera	36,80	0,73	1.104,03	1,10
Otros	376,31	7,49	11.289,22	11,29
Total	5.026,99	100	150.809,46	150,8

Fuente: Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS, Timbío 2016.

Gráfica 14 Porcentaje de la composición de los RSU en el casco urbano de Timbío



Fuente: Autor

En cuanto al contenido de la humedad de los desechos la tabla 22 muestra dicho contenido, pero solamente de los desechos que son llevados al sitio de disposición final.

Tabla 22 Contenido de humedad del material que llega al sitio de disposición de los residuos sólidos generados en el sector urbano de Timbío

Material	Contenido de humedad (%)	Peso caracterización (kg/día)	Humedad (kg)	Peso seco (kg/día)
Papel	6	121,04	7,26	113,78
Cartón	5	98,27	4,91	93,36
Vidrio	2	174,23	3,48	170,75
Plástico	2	344,11	6,88	337,23
Chatarra ferrosa	3	0	0,00	0,00
Chatarra no ferrosa	2	38,09	0,76	37,33
Otros	2	29,47	0,59	28,88
Residuos de comida	70	3528,90	2470,23	1058,67
Residuos de poda	60	3,41	2,05	1,36
Madera	20	31,72	6,34	25,38
Otros	8	359,56	28,76	330,80

Fuente: Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS, Timbío 2016

El porcentaje total de humedad de todos estos desechos sólidos según el PGIRS, corresponde a al 31% [28].

Es claro mencionar que, para la gestión de residuos sólidos, el casco urbano del municipio tiene como empresa de servicios públicos legalmente constituida a EMTIMBIO E.S.P., quien se encarga de brindar los servicios de aseos desde su recolección con una cobertura aproximadamente del 96% hasta de su entrega en el relleno sanitario regional Los Picachos en la vereda La Yunga del municipio de Popayán para su tratamiento final.

Sin embargo, estos materiales que por su valor de utilidad despreciado por los habitantes del sector urbano de dicho municipio, la empresa prestadora del servicio de aseo con fin de disminuir el volumen de desechos y costos para la disposición

final en el relleno sanitario Los Picachos, se encarga de realizar labores específicas de recolección de residuos orgánicos a través de liderar campañas pedagógicas hacia la comunidad, donde los habitantes y/o usuarios realizan segregación en la fuente del componente orgánico permitiendo la facilidad de recolección para su posible transformación en abono orgánico mediante la práctica del bio-compostaje; que según el técnico operativo, la misma empresa cuenta con una caseta donde se realiza todo el proceso de almacenaje, clasificación, trituración del componente orgánico para luego realizar el proceso de transformación en abono orgánico.

Por otro lado, se resalta que el reciclaje de lo inorgánico aprovechable es realizado por diferentes personas particulares, al menos 22 recicladores o recuperadores en lo que se destaca el señor Lucio Botina quien contó durante la realización de la encuesta que se le hizo, ser pionero en ejercer la actividad de reciclar en el municipio ya que cuenta con más de 25 años realizando esta labor siendo él el más representativo pues es el único actual que tiene un centro de acopio para la compra y almacenaje temporal de los materiales reciclables.

4.2.1.1 Determinación de la generación per-cápita

De acuerdo a la generación de residuos sólidos en el sector urbanístico del municipio de Timbío, la cual es de 150,8 toneladas (150.800 Kg) mensual y una población de 13.492 habitantes para el año 2016, la producción per-cápita es de 0,37 kg/habitante-día.

$$PPC = \frac{\text{Cantidad de residuos generados } \left(\frac{kg}{día}\right)}{\text{número de habitantes}}$$

$$PPC = \frac{150.800 \text{ kg/mes}}{13.492 \text{ hab}} \times \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} = 0,37 \frac{kg}{\text{hab} - \text{día}}$$

Sin embargo, tomando referencia a lo que establece el RAS 2000, Timbío presenta un nivel de complejidad medio-alto debido a que su población supera los 12.500 habitantes en la franja urbana y se encuentra por debajo de los 60.000; por lo tanto, teniendo en cuenta la tabla 3 correspondiente a la proyección poblacional del

municipio se estimó la generación per cápita, la cual será el mismo valor típico que indica el RAS (0,53 kg/habitante-día).

$$\text{Cantidad de RS (2016)} = \text{número de habitantes} \times 0,53 \frac{\text{kg}}{\text{hab} - \text{día}}$$

$$\text{Cantidad de RS} = 13.492 \text{ hab} \times 0,53 \frac{\text{kg}}{\text{hab} - \text{día}} = 7.150,76 \text{ kg/día}$$

$$\text{PPC} = \frac{7.150,76 \text{ kg/día}}{13.492 \text{ hab}} = 0,53 \frac{\text{kg}}{\text{hab} - \text{día}}$$

4.2.2 Estimación del poder calorífico

Debido a que según información del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016 del municipio, la tabla 22 representa el contenido de humedad solo de la caracterización de los desechos que llegan al sitio de disposición final, en la cual se considera que previo al traslado de los desechos al relleno existe un porcentaje de material que ha sido reciclado por la comunidad; se procedió a calcular de la misma manera que en el PGIRS el contenido de humedad de la composición física de los residuos sólidos que son generados en el sector urbano mostrados en la tabla 21 según la caracterización del PGIRS, en la cual no hay consideración de materiales que hayan sido aprovechados o reciclados antes de ésta.

El contenido de humedad de cada componente se calculó efectuando la multiplicación del peso de cada componente de la caracterización por el porcentaje de humedad típico de cada elemento según George Tchobanoglous.

$$H_{(kg)} = A \times \frac{\%h}{100}$$

Donde:

H: Es el contenido de humedad en kilogramo.

%h: Es el porcentaje de humedad típico de cada componente según Tchobanoglous

A: Es el peso de la caracterización en kilogramo/día de cada componente.

Luego se dio paso a determinar el porcentaje de composición del peso seco de cada uno de los componentes, finalizando con la estimación del poder calorífico inferior para conocer el contenido energético de los mismos. Para conocer el peso seco basta restar el contenido de humedad (H) al peso de la caracterización de dicho componente (A).

$$Humedad_{(papel)} = 134,69 \frac{Kg}{día} \times \frac{6}{100} = 8,08 \text{ kg}$$

$$Peso \text{ seco}_{(papel)} = 134,69 - 8,08 = 126,61 \frac{Kg}{día}$$

$$\% \text{ composición seco}_{(papel)} = \frac{126,61}{2.402,84} \times 100 = 5,27 \%$$

Tabla 23 Contenido de humedad y porcentaje de la composición seca de los RSU generados en la zona urbana del municipio de Timbío

Material	Humedad típica (%)	Peso caracterización (kg/día)	Humedad (kg)	Peso seco (kg/día)	Composición peso seco (%)
Papel	6	134,69	8,08	126,61	5,27
Cartón	5	127,85	6,39	121,46	5,05
Vidrio	2	196,81	3,94	192,87	8,03
Plástico	2	431,74	8,63	423,11	17,61
Aluminio	2	38,09	0,76	37,33	1,55
RAEE	2	29,47	0,59	28,88	1,20
Residuos de comida	70	3.651,63	2.556,14	1.095,49	45,59
Residuos de poda	60	3,6	2,16	1,44	0,06
Madera	20	36,8	7,36	29,44	1,23
Otros	8	376,31	30,10	346,21	14,41
Total		5.026,99	2.624,15	2.402,84	100,00

Fuente: Autor

De acuerdo a los porcentajes de la composición seca de los componentes sólidos de la tabla anterior y lo datos de la tabla 11 (valores energéticos para materiales encontrados en los residuos sólidos domésticos, comerciales e industriales), se

determinó el poder calorífico inferior de los desechos sólidos generados en la franja urbana del municipio de Timbío como sigue:

$$PCI_{papel} \left(\frac{Kcal}{Kg} \right) = \frac{5,27}{100} \times 4.206 = 221,67 \frac{Kcal}{Kg}$$

Tabla 24 Estimación del poder calorífico inferior de los desechos sólidos generados en el casco urbano del municipio de Timbío

Material	Peso caracterización (kg/día)	Peso seco (kg/día)	Composición peso seco (%)	PCI teórico (Kcal/kg)	PCI (Kcal/Kg-día)
Papel	134,69	126,61	5,27	4.206	221,66
Cartón	127,85	121,46	5,05	4.127	208,41
Vidrio	196,81	192,87	8,03	48	3,85
Plástico	431,74	423,11	17,61	7.995	1.407,92
Aluminio	38,09	37,33	1,55	-	-
RAEE	29,47	28,88	1,20	-	-
Residuos de comida	3.651,63	1.095,49	45,59	3.324	1.515,41
Residuos de poda	3,6	1,44	0,06	3.613	2,17
Madera	36,8	29,44	1,23	4.620	56,83
Otros	376,31	346,21	14,41	-	-
Total	5.026,99	2.402,84	100,00	-	3.416,25

Fuente: Autor

4.2.3 Capacidad energética mensual de los residuos sólidos urbanos que genera el municipio de Timbío.

Al igual que en el municipio de Popayán, luego de tener establecido el PCI de cada componente de residuo sólidos se calculó la capacidad de energía de los mismos en términos de mes.

$$Cap. Energética = PCI \frac{Kcal}{kg} \times \frac{Kg}{mes} \times 0,001163 \frac{kWh}{Kcal}$$

$$Cap. Energética_{papel} = 221,66 \frac{Kcal}{kg} \times 126,61 \frac{Kg}{día} \times 30 \frac{días}{mes} \times 0,001163 \frac{kWh}{Kcal}$$

$$Cap. Energética_{papel} = 979.17 \frac{kWh}{mes}$$

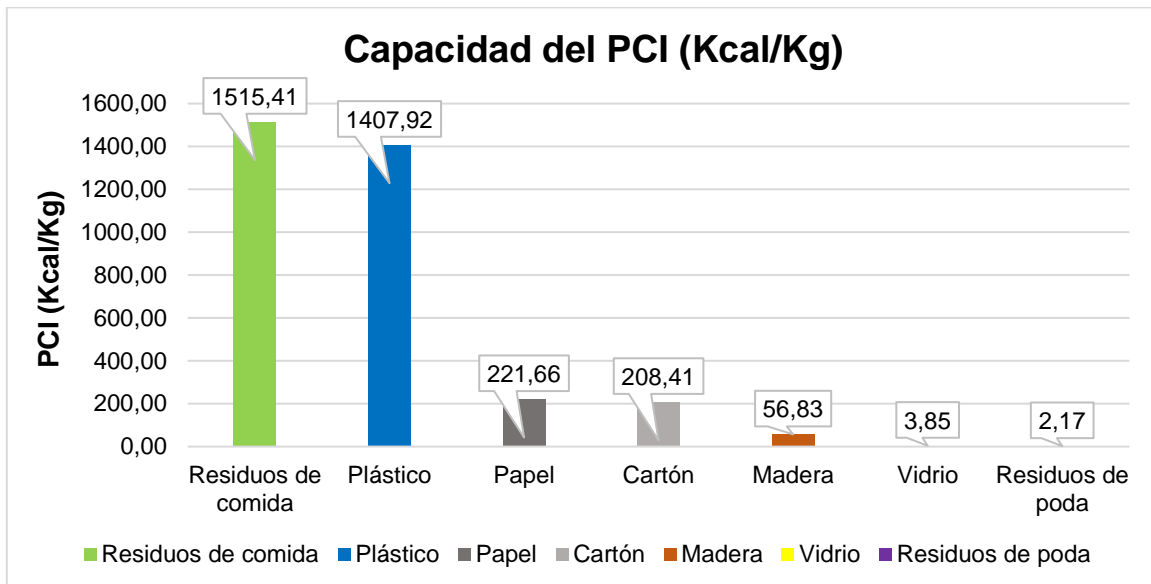
Para conocer la capacidad energética mensual de los componentes, se efectuó la conversión de kilocalorías a kilovatio-hora: 1 Kcal \rightarrow 1,163 \times 10⁻³ kWh.

Tabla 25 Resultados de la capacidad energética de los residuos sólidos urbanos del municipio de Timbío

GENERACIÓN DE RSU Y CAPACIDAD ENERGÉTICA MENSUAL					
Material	Peso seco (kg/día)	Composición (%)	PCI teórico (Kcal/kg)	PCI (Kcal/k)	Kilovatio hora (kWh)
Papel	126,61	5,27	4.206	221,66	979,17
Cartón	121,46	5,05	4.127	208,41	883,19
Vidrio	192,87	8,03	48	3,85	25,91
Plástico	423,11	17,61	7.995	1.407,92	20.784,15
Aluminio	37,33	1,55	-	-	-
RAEE	28,88	1,20	-	-	-
Residuos de comida	1.095,49	45,59	3.324	1.515,41	57.921,46
Residuos de poda	1,44	0,06	3.613	2,17	0,11
Madera	29,44	1,23	4.620	56,83	58,37
Otros	346,21	14,41	-	-	-
Total	2.402,84	100,00	-	3.416,25	80.652,36

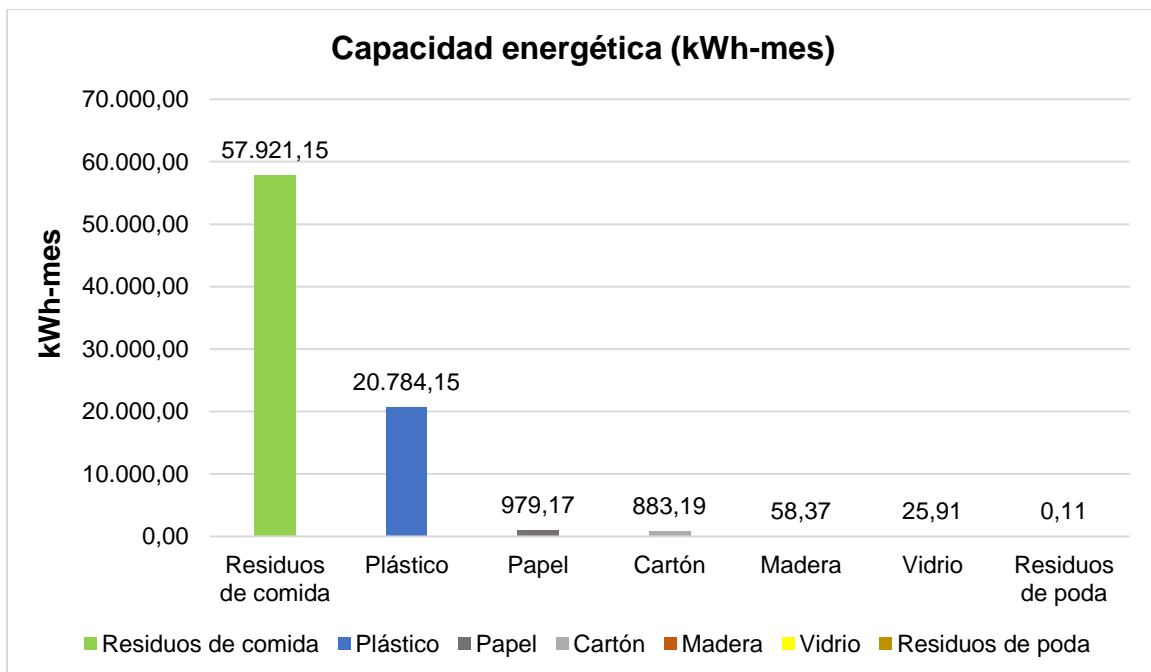
Fuente: Autor

Gráfica 15 Poder calorífico inferior de los residuos sólidos que se generan en el casco urbano de Timbío



Fuente: Autor

Gráfica 16 Capacidad energética de los residuos sólidos urbanos del municipio de Timbío



Fuente: Autor

5 CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Las tablas 20 y 25 muestran resumidamente los valores del estudio realizado en cuanto al poder calórico que de cada material y la capacidad de energía que pueden desprender en términos de mes los residuos sólidos urbanos de ambos municipios.

En la tabla 20 correspondiente al municipio de Popayán, se evidencia que el valor del poder calorífico inferior calculado del porcentaje de composición de los desechos sólidos generados en el casco urbano es de 3.815,58 kilocalorías por kilogramo. Por lo tanto, la capacidad energética de estos desechos la cual fue determinada por cada uno de los elementos en términos de un mes, muestra un potencial total de energía de 2'804.589,41 kilovatio-hora (kWh) que contiene y puede ser aprovechada de los residuos generados los cuales se estima que al menos un 80 % de la cantidad total generada van a parar en el vertedero sanitario Los Picachos desperdiciando de tal manera dicha capacidad de generar energía mediante cualquier tipo de tecnología de co-generación; el resto de los RSU es reciclado o tiene destino distinto a los demás.

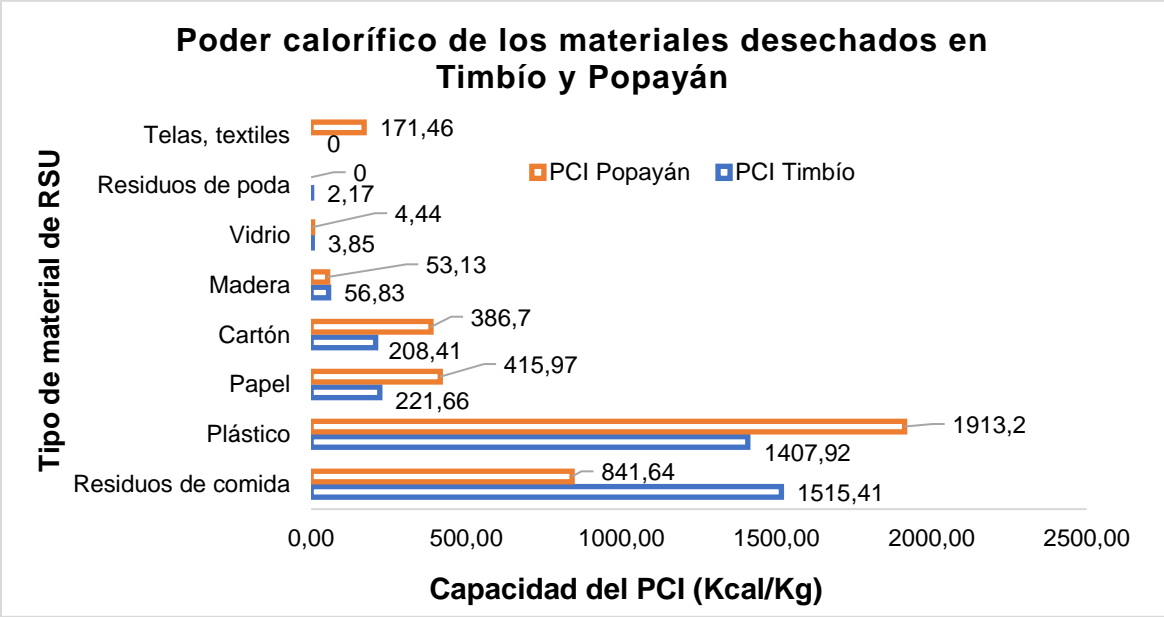
Dicha capacidad energética (2.804.589,41 kWh-mes) es supremamente inferior a la demanda actual de energía en el municipio de Popayán; que, según datos de la Compañía Energética de Occidente S.A.S. E.S.P. de la ciudad, el municipio durante el año 2016 tuvo una demanda energética promedio de 16.003.020 kWh mensual, cuyo comportamiento actualmente (2017) es el mismo. Sin embargo, éste potencial que alcanza los RSU puede representar respuesta al sustituto de algunos combustibles para la generación de energía a partir de estos.

Por su parte los valores de la tabla 25 responden a los residuos sólidos generados por el municipio de Timbío, los cuales arrojaron una capacidad calorífica inferior de 3.416,25 Kcal/Kg, similar al de Popayán que fue de 3.815,58 Kcal/Kg. Sin embargo, el potencial de energía que podría alcanzar en un período de un mes es de 80.652,36 kWh superlativamente inferior comparado con el de Popayán; es decir solo el 2,88% de lo que podría alcanzar el municipio payanés.

Esta gran diferencia parte de que el municipio de Popayán es ampliamente mayor en cuanto a la cantidad de generación de RSU, lo cual, se debe a su voluminosa población residente y flotante que se concentran en la ciudad buscando establecer oportunidades de desarrollo y mejor calidad de vida dejando de esta manera una pequeña fracción de la población distribuida en los cascos rurales. Contrario al municipio de Timbío en el que su mayor población se halla en las afueras del centro urbano a causa de los bajos recursos económicos y a las actividades cotidianas del campo para el cubrimiento de sus necesidades básicas.

La comparación del PCI de cada tipo de material de los desechos generados en cada municipio se ilustra en la gráfica 17 en la que se observa que los residuos de plásticos, materia orgánica, papel y cartón son los que mayor capacidad calorífica representan debido a su composición química. Por otra parte, el PCI de estos elementos es superior en los RSU del municipio de Popayán con excepción de la materia orgánica; lo cual obedece a que el porcentaje de composición de este material es mayor en el municipio de Timbío con el 72,64% del resto de materiales y para Popayán el componente orgánico es del 51,42% según datos de los PGIRS.

Gráfica 17 Valores del Poder calorífico de los RSU desechados en los municipios de Timbío vs Popayán



Fuente: Autor

6 CAPÍTULO VI: ALTERNATIVAS DE APROVECHAMIENTO Y MANEJO CORRECTO DE DESECHOS SÓLIDOS URBANOS

El aprovechamiento y la valorización energética de los RSU son estrategias de gestión de los mismos que pretenden la prevención de los impactos ambientales y sociales que representa la incontrolada disposición de los residuos sólidos urbanos. El aprovechamiento se encamina a las labores de recuperación de todo tipo de material que es susceptible de ser regresado nuevamente al ciclo productivo; por su parte la valorización energética busca que los materiales sirvan como base combustible para generar energía.

Los resultados de este trabajo sobre la capacidad calorífica neta de los RSU de Popayán y Timbío ilustrados en la gráfica 17, los cuales en términos de energía alcanzaría un potencial de 2'804.589,41 y 80.652,36 kilovatio hora mensual para ambos municipios respectivamente; muestran que utilizar la alternativa de incineración de residuos sólidos urbanos como la medida de manejo más adecuada con recuperación de energía de los mismos, no sería la opción más útil de modo que en primer lugar se requiere de altos costos económicos para su construcción como también de tiempo de diseño e implementación y en segundo lugar la cantidad de residuos generada por los municipios la cual se estima en 78.600 ton/año no es la suficiente para alimentar el sistema ni siguiera del orden pequeño ya que se requiere de una producción mínima de 90.000 ton/año aproximadamente y su costo de inversión es del orden de 53 millones de dólares y operacional de 80 dólares por tonelada aproximadamente según el Manual Técnico Administrativo para el Servicio de Limpia Municipal propuesto por la Secretaria de Desarrollo Social de México (SEDESOL).

Por consiguiente, se plantean tener en cuenta las siguientes alternativas desde un enfoque ambiental y económico para dar manejo adecuado a los residuos sólidos.

Alternativa de tratamiento por Pirólisis

Para la disposición sanitaria y ecológica de los RSU disminuyendo su volumen se propone utilizar el tratamiento por Pirólisis considerando la totalidad de residuos que

llegan al relleno sanitario Los Picachos que según reporte por la empresa de aseo de Popayán se disponen diariamente entre 200 y 250 ton/día de 16 municipio incluido Popayán y Timbío, cantidad que alcanzaría para alimentar el sistema.

El proceso por pirólisis como se describió en el capítulo 2, es un proceso fisicoquímico de degradación térmica de una sustancia que a diferencia de la incineración se da sin presencia de oxígeno y que ofrece al transformar los materiales en sólidos más pequeños, líquidos y gaseosos un potencial de energético o materias primas que puede ser usado en diversos procesos industriales. Los residuos sólidos procedentes de la pirólisis pueden contener carbono, en una proporción superior al 40%, conteniendo una fracción significativa de energía del residuo de entrada. Por lo tanto, la recuperación energética del horno es importante para la eficiencia energética la cual se puede llevar a cabo de varias maneras [44]:

- Combustión de gases y aceites obtenidos mediante un ciclo de vapor para la reducción de energía eléctrica.
- Aplicación como etapa previa de un proceso de gasificación.
- Uso del producto sólido como combustibles en instalaciones industriales.

Para efectuar este proceso se deben someter los residuos a temperaturas superiores a 300°C y menores a los 1000°C dando como efecto de la reacción un gas compuesto básicamente por metano (CH_4), hidrógeno (H_2), monóxido de carbono (CO), nitrógeno (N), vapor de agua (H_2O) [1], [44]. De los residuos líquido básicamente son compuestos por hidrocarburos de cadena largas como alquitranes, aceites, fenoles, o ceras, formados al condensar a temperatura ambiente; y de los sólidos por todo aquellos materiales no combustibles, los cuales o bien no han sido transformados o proceden de una condensación molecular con alto contenido de carbón metales pesados y otros componentes inertes [44].

Ventajas del sistema:

- Al igual que la incineración reducir el volumen de los residuos sólidos urbanos generando una fracción líquida fácil de manejar.

- A pesar de elevados costos de inversión, es autosuficiente con respecto a la energía, es decir, se recupera energía eléctrica usando motores de gas o turbinas de gas para la generación, en lugar de calderas de vapor.
- La posibilidad de recuperar fracciones orgánicas como por ejemplo el metanol.
- No genera gases contaminantes como óxido de nitrógeno y azufre, los que se produce en la combustión de la incineración.

Desventajas del sistema:

- Requiere de costos similares a la de una planta de incineración para la instalación, sin embargo, se puede recuperar por la utilización de los subproductos como combustibles en la generación de electricidad.
- Requiere de un pretratamiento de los residuos sólidos urbanos y su volumen de reducción es menor que la de la combustión directa (incineración).
- Requiere de un buen control de operación (mano de obra altamente calificada).

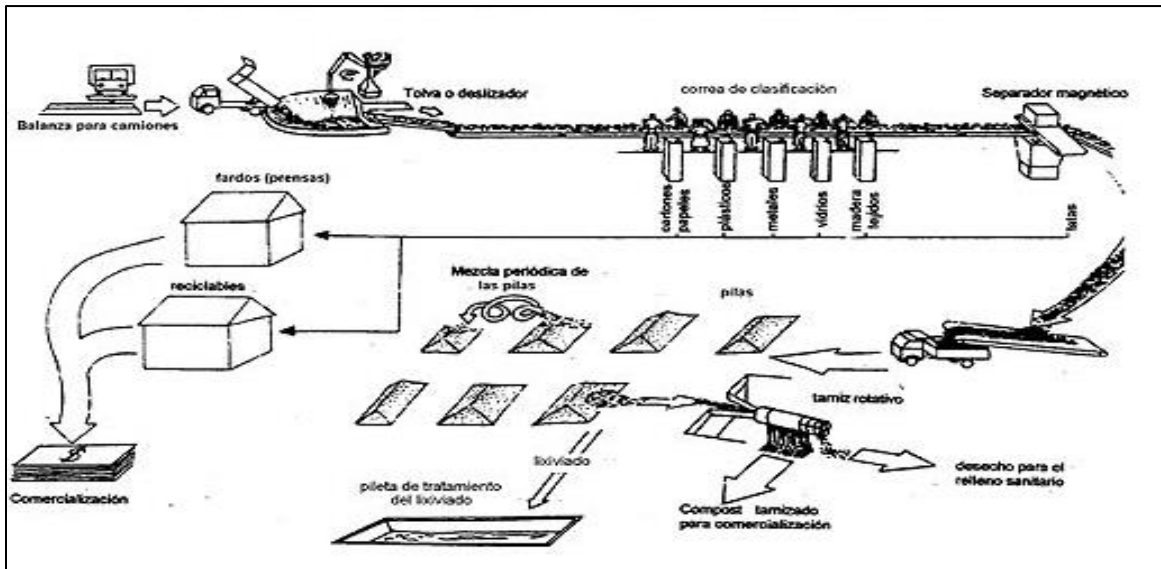
Para que el proceso tenga un mejor rendimiento es vital contar con una separación de los materiales con mayor contenido energético para lo cual se plantea el uso de una Estación de Clasificación y Aprovechamiento (ECA) en la cual todos los RSU que lleguen a esta unidad sean clasificados permitiendo devolver al ciclo productivo los residuos que sean aprovechables.

Alternativa de tratamiento por Planta de Clasificación y Compostaje

Otra alternativa para el manejo adecuado de los RSU a la cual se puede acceder los municipios de este estudio para el manejo de sus desechos es la implementación de una planta de Clasificación y Compostaje en la que se integra los dos procesos mediante la separación y clasificación de los materiales y, aprovechamiento biológico de la materia orgánica la cual es la de mayor generación con el 72,64% y 51,42% de los demás residuos que generan Timbío y Popayán respectivamente según los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos.

Como se mencionó anterior, el proceso inicia con las actividades de preselección y clasificación de los elementos que presentan probabilidad de incorporarlos a un ciclo productivo nuevamente, finalizando con la actividad del compostaje.

Figura 9 Esquema de una Planta de Clasificación y Compostaje



Fuente: Manual de Gestión Integral: Residuos Sólidos Urbanos – CEMPRE, Uruguay

1. **Recepción:** Los vehículos que realizan el recorrido de recolección de residuos, llegan en cuarto donde depositaran los residuos en una tolva destinada al depósito de los mismos.
2. **Tolva:** Esta servirá como receptora de los RSU que serán descargados luego de su recolección, permitiendo que éstos caigan sobre el dispositivo siguiente.
3. **Correa de clasificación:** En esta se integra el personal destinado a clasificar o retirar todos los materiales voluminosos recuperables que pueden afectar o dañar la cinta rodante que transporta los materiales.
4. **Separador magnético:** Luego continuaría el proceso selectivo mediante un separador magnético en el cual todos los residuos metálicos sean seleccionados dejando aparte los demás materiales para terminar el proceso de clasificación (orgánico y no orgánico) y posteriormente su traslado a los cuartos de embalajes.

5. **Embalaje:** Esta parte estaría compuesta por las máquinas que se utilizarían para realizar todo el prensado por selección de los materiales que han sido ya clasificados y que son susceptibles de reincorporarse nuevamente al ciclo productivo.
6. **Patio de compostaje:** Finalmente cuando se tenga todo el componente orgánico (putrescible) una vez todo el proceso de la primera etapa de la clasificación, se dispondrá a realizar el aprovechamiento orgánico por medio del compostaje teniendo en cuenta cada una de las variables o características necesarias para llevar a cabo esta actividad como son: temperatura, humedad, pH y la aireación es decir la presencia de oxígeno.

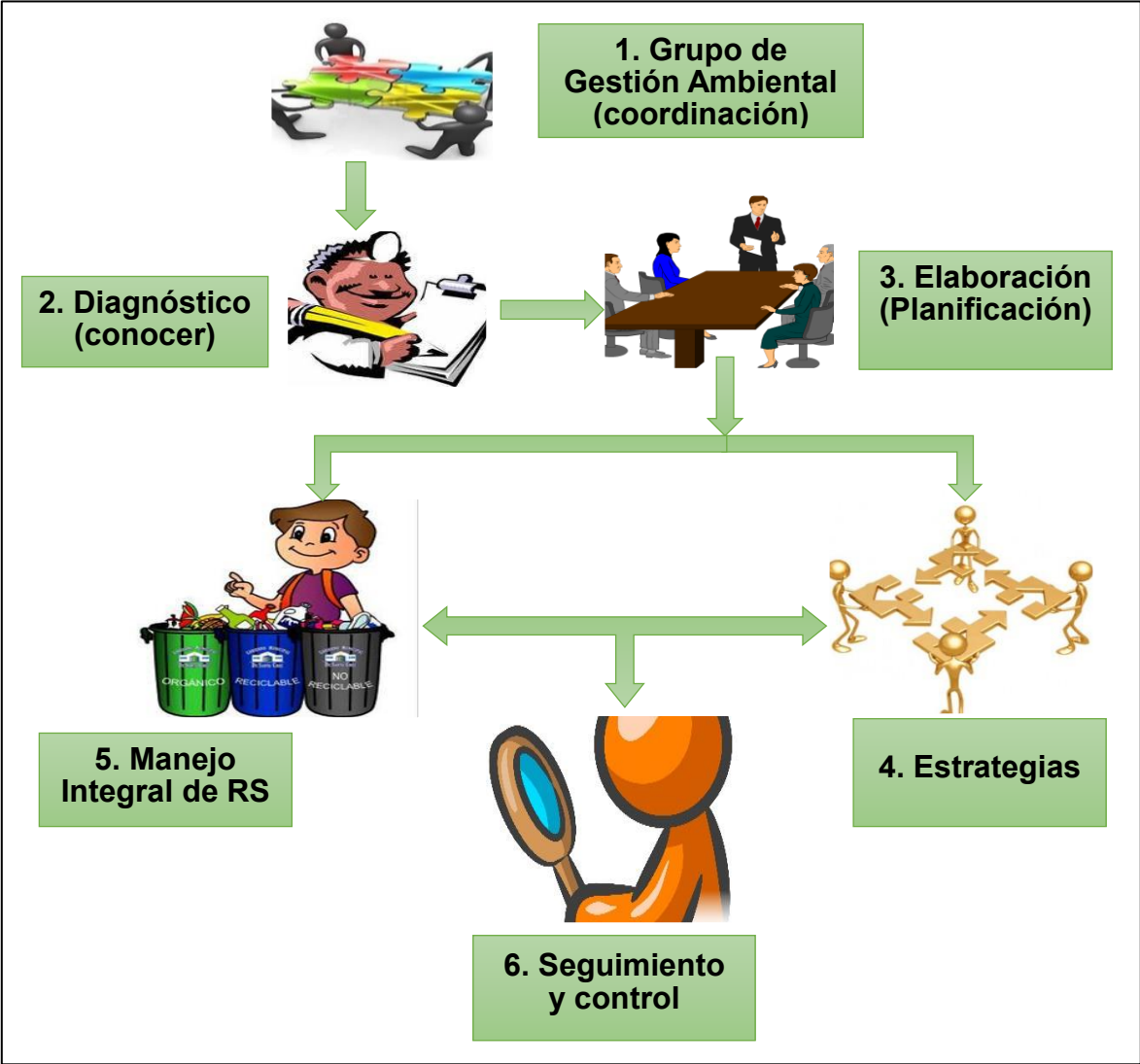
La temperatura y el potencial de hidrógeno (pH) evolucionan en función de las demás variables sobre las cuales se debe actuar operativamente:

- **Aireación:** si el proceso de compostaje es acelerado se debe tener en cuenta el monitoreo siempre del oxígeno entre las partículas de los residuos sólidos orgánicos, en caso de que éste esté excluido o no sea monitoreado simplemente sería un proceso por difusión o convención simple, es decir, la materia orgánica se degrada en condiciones naturales [52].
- **Humedad:** es importante que se evalúe el contenido de agua presente en los desechos durante el compostaje por medio de las tomas de muestras. Si la humedad es elevada se debe hacer hileras más bajas o voltearlas con mayor frecuencia; si es baja, regarlas con agua natural o lixiviado diluido, al mismo tiempo que se procede a voltear la hilera [52].
- **Temperatura y pH:** a pesar de ser resultantes de las otras variables, resulta fundamental monitorear estos parámetros para diagnosticar la existencia de problemas operacionales o indicar la fase (bio-estabilización o humificación) en la que se encuentra el proceso. La medida de la temperatura debe hacerse con un termómetro adecuado, que permita la lectura a unos 40 cm por encima de la superficie de los residuos [52].

Complementando las alternativas de manejo integral y correcto de los desechos sólidos municipales, se propone una estructura de jerarquía en la que se integren

todos los componentes desde la gestión para el aprovechamiento al máximo hasta el destino final de los residuos, con el fin propio de mitigar ampliamente la contaminación que repercute el hecho del manejo pobre de los desechos y evitar la explotación innecesaria de los recursos naturales garantizando la sostenibilidad y permanencia de las próximas generaciones.

Cuadro 2 Jerarquía para el correcto manejo de los residuos sólidos urbanos



Fuente: Autor

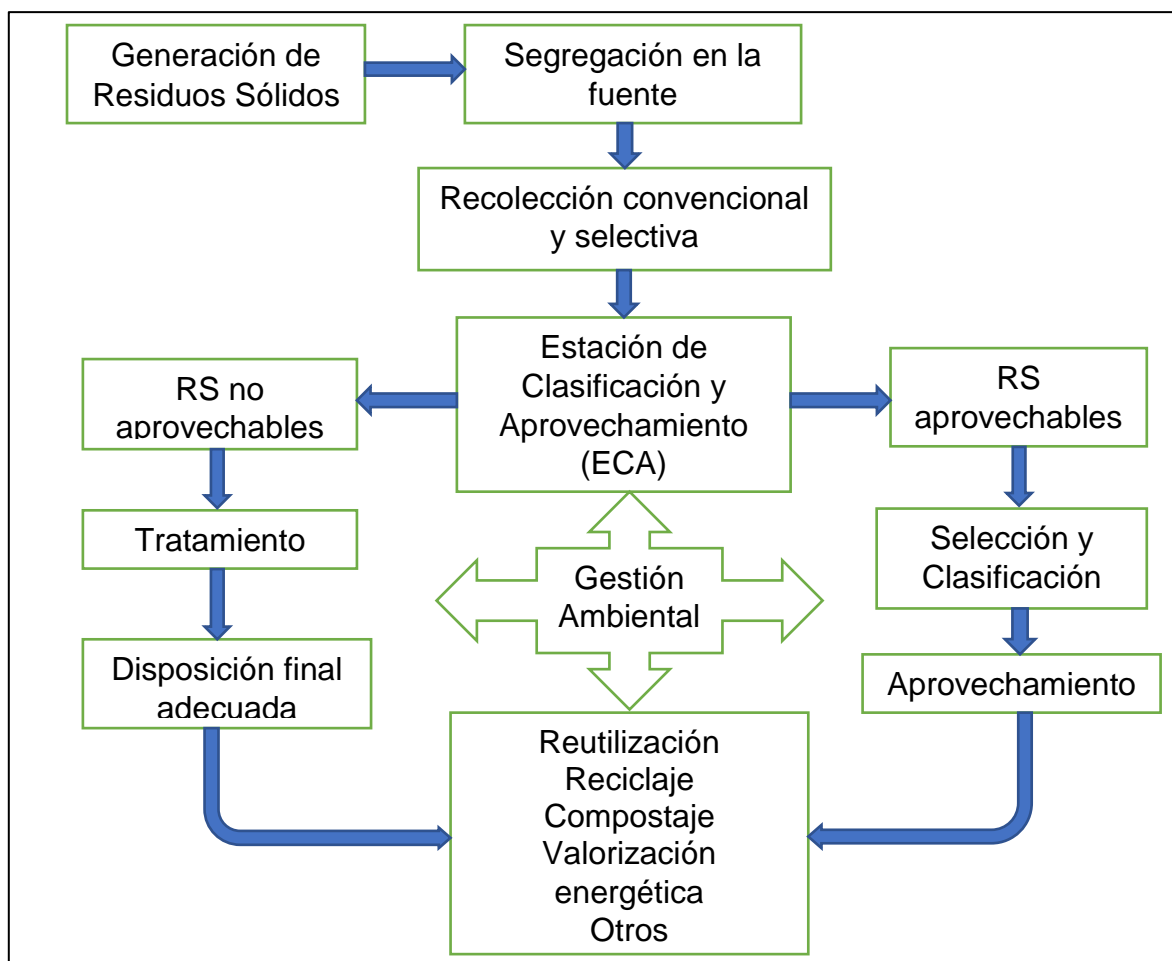
- 1. **Grupo de Gestión Ambiental:** La primera etapa comprende el grupo de la gestión ambiental al cual le reposa la responsabilidad de articular y/o diseñar un conjunto integrado de planes, actividades, acciones, establecer

mecanismos de coordinación y todo aquello que implique para el cumplimiento del plan de manejo integral de residuos sólidos – PMIRS.

2. **Diagnóstico:** El diagnóstico se engloba en la segunda fase de la jerarquía como una etapa preliminar en la que se da a conocer todo lo relacionado con la generación y gestión de los residuos sólidos para luego dar cavidad a la etapa de la planificación.
3. **Elaboración:** En la planificación se determinará los distintos medios a emplear para lograr los objetivos y metas establecidas.
4. **Estrategias:** Las estrategias son las actividades y habilidades que se desarrollarán o ejecutarán frente a los factores dinámicos que implican la generación y óbice o déficit para la correcta gestión integral de los residuos y conservación del medio ambiente que nos apremia.
5. **Manejo integral de residuos sólidos:** Esta fase incluye cada una de las etapas adecuadas desde la generación de los residuos sólidos hasta el final de la existencia de los mismos; es decir todo el ciclo productivo y sustentable.
6. **Seguimiento y control:** Para culminar la jerarquía frente al correcto manejo de los R.S., la última etapa corresponde al supervisión y control de cada una de las etapas anteriores con el fin de replantear y fortalecer el sistema general e individual en función al buen manejo de los desechos sólidos.

El cuadro número tres (etapas para el manejo correcto de los residuos sólidos), muestra una descripción estructural de la forma práctica como se debe lograr el ciclo de los residuos desde su fase de generación hasta el manejo que se debe aplicar. Es decir, hace referencia al punto 5 de la estructura jerárquica para el manejo correcto de los desechos sólidos.

Cuadro 3 Etapas para el manejo correcto de los residuos sólidos



Fuente: Autor

Ventajas:

- Normativa para el cobro en las tarifas de aseo del aprovechamiento de los residuos sólidos.
- Reducción del volumen de residuos sólidos para la disposición y bajos costos
- Conservación del medio ambiente y mejor calidad de vida de la población.
- Oportunidad y mejor calidad de trabajo para los pepenadores (recicladores).

Desventajas:

- Grande espacio para la construcción de la ECA.
- Proceso de certificación del abono por parte del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- Personal altamente calificado.

7 CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

1. Simultáneamente al diagnóstico realizado para ambos municipios, Timbío presenta la ventaja de que realizan segregación en la fuente de la materia orgánica respecto a Popayán; lo cual obedece a que en el municipio ejecutan campañas pedagógicas liderada por la empresa del servicio de aseo con el fin de reducir el volumen para la disposición final y hacer aprovechamiento integral de abono orgánico para uso en diferentes campos de la actividad agrícola.
2. La gestión de aprovechamiento de RS en el sector urbano de Popayán también tiene un grado de importancia ya que existen por lo menos 327 recuperadores de oficio censados que realizan la actividad de reciclaje ya sea manualmente o con algún tipo de vehículo, 3 organizaciones de recicladores asociados y 21 bodegas dedicadas a la comercialización de material reciclable.
3. El tratamiento térmico de los RSU con valorización energética a pesar de sus altos costos, es una de las formas más eficiente desde la parte ambiental para el tratamiento óptimo de los desechos sólidos, recordando que ésta práctica impide el uso extensivo del territorio que a lo largo del tiempo se ha ido utilizando como depósito de los RS y que actualmente se sigue con mayor auge la misma tendencia al igual que las fuentes hídricas.
4. Como resultado del trabajo se obtuvo una capacidad calorífica de los RSU de 3.815,58 y 3.416,25 Kcal/Kg para Popayán y Timbío respectivamente lo que da una capacidad energética de 2'804.473,92 kWh (kilovatio-hora) mensual para Popayán, que podría cubrir aproximadamente un 17,5% de la demanda actual de energía del municipio. Para Timbío los RSU alcanzarían en un mes un potencial tan solo del 2,88% del Popayán.
5. Considerar esta alternativa como método de tratamiento y valorización energética de los residuos sólidos resulta costosa por todo lo que representa la implementación y operación de una planta incineradora; ya que una

instalación del orden pequeño con una capacidad de procesar 90.000 Ton/año de residuos, el costo aproximado de su inversión sería de 53 millones de dólares más su operación y el tiempo requerido de planificación; sin embargo, es más accesible usar tratamiento por pirólisis con recuperación de energía.

7.2 Recomendaciones

1. En primer lugar, sabiendo que las acciones cotidianas del hombre son actividades inherentes a la generación de residuos de una u otra forma independientemente de las características que las conforman, es importante lograr en las personas un panorama distinto frente al paradigma que tienen sobre el significado de residuo; ya que para muchos en la actualidad son algo inútil y pensar que pueden ser reincorporados de nuevo a un ciclo productivo como aprovechamiento, protección del medio ambiente y de la salud de las personas es una alternativa poco reconocible y menos si se considera la posibilidad de generar energía mediante valorización energética por lo que demanda altos recursos económicos, no solo para las entidades públicas y/o privadas sino que para las personas en general.
2. También es recomendable la implementación de proyectos de separación en la fuente de alto impacto que permita la facilidad de aprovechamiento de los materiales y reducir el volumen para la disposición final de los mismos.
3. Es importante consolidar alianzas entre el sector público y privado en el que se articule un sistema de directriz pleno para la recuperación y aprovechamiento de los residuos sólidos inorgánicos que a diario son dispuestos en el relleno sanitario de Popayán, con fin propio de estructurar y organizar mejor las labores del reciclaje de ambos municipios.
4. Por último, se recomienda tener en cuenta el desarrollo de este trabajo como fuente de apoyo para posibles estudios en el futuro que tenga relación con éste, en determinar la viabilidad económicamente operativa para recuperar energía de los residuos sólidos urbanos de una población superior a la de este estudio y conservación del medio ambiente.

8 BIBLIOGRAFÍA

- [1] F. de la E. de la C. de M. FECM, “Guía de valorización energética de residuos. Madrid, España. pp 18,” 2012.
- [2] J. Penagos, J. Adarraga, D. Aguas, and E. Molina, “Reducción de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia por medio del Compostaje liquido,” *Ingeniare*, no. 11, pp. 37–44, 2011.
- [3] “Análisis del Aprovechamiento de los Residuos Sólidos en la ciudad de Medellín.”
- [4] “Asamblea General de las Naciones Unidas.”
- [5] N. Ariza, “Manejo y separación de residuos sólidos urbanos. Análisis comparativo entre Madrid (España) y el distrito especial industrial y portuario de Barranquillas (Colombia),” *Obs. Medioambient.*, pp. 197–211, 2016.
- [6] A. C. Velázquez Patiño, *Gestión Ambiental Y Tratamiento De Residuos Urbanos (Manuscrito): Propuesta Para La Zona Metropolitana De Guadalajara a Partir De Las Experiencias De La Unión Europea*. 2006.
- [7] C. Hernández, M. Claudia, and D. Hernández, “Efecto del volumen y frecuencia de la recirculación de lixiviados en el contenido de metales pesados en lixiviados y residuos degradados,” pp. 1–6.
- [8] Ideam; Unicef; Cinara, “Marco político y normativo para la gestión integral de residuos sólidos en Colombia,” p. 16, 2005.
- [9] L. Gonzalez, “Resi Duos Soli Dos U Rbanos Gestion Municipal Y Comercializacion,” 1994.
- [10] L. J. Solorio, “El consumo y la generación de residuos sólidos: una problemática ambiental,” pp. 81–85, 2011.
- [11] I. I. Orígenes and D. R. Sólidos, “II.- Orígenes y Tipos de Residuos Sólidos

Urbanos.,” pp. 7–10.

- [12] I. Ambiental, T. De Minatitlán, I. L. O. S. R. Sólidos, and C. Básicos, “Alejandro Barradas Rebolledo,” 2009.
- [13] J. Arandes, J. Bilbao, and D. López, “Reciclado de residuos plásticos,” *Rev. Iberoam. polímeros*, vol. 5, no. 1, pp. 28–45, 2004.
- [14] S. E. P. Flores, “Facultad y Sociedad Diagnóstico y caracterización de residuos sólidos del distrito de chao , Región La Libertad , de marzo a,” vol. 11, no. may 2011, pp. 75–82, 2013.
- [15] G. P. Guidance, “E M I S S I O N S F R O M W A S T E I N C I N E R A T I O N Waste incineration,” pp. 455–468.
- [16] “Contraloría municipal de valledupar,” no. 7, pp. 1–33, 2010.
- [17] N. Scarlat, V. Motola, J. F. Dallemand, F. Monforti-Ferrario, and L. Mofor, “Evaluation of energy potential of Municipal Solid Waste from African urban areas,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 50, pp. 1269–1286, Oct. 2015.
- [18] N. L. RIVERA, “Propuesta De Un Programa Para El Manejo De Los Residuos Solidos En La Plaza De Mercado De Cerete – Cordoba,” 2009.
- [19] S. Gesti and T. Municipal, “Aprovechamiento energético de residuos sólidos urbanos 7.1.,” pp. 141–175.
- [20] D. Moratorio, I. Rocco, and M. Castelli, “Conversión de Residuos Sólidos Urbanos en Energía Converting Municipal Solid Waste into energy,” *Mem. Trab. Difusión Científica y Técnica*, vol. 10, pp. 115–126, 2012.
- [21] J. A. Poletto and C. L. Da Silva, “Influencia de la separación de residuos sólidos urbanos para reciclaje en el proceso de incineración con generación de energía,” *Inf. Tecnol.*, vol. 20, no. 2, pp. 105–112, 2009.
- [22] S. De Servicios, “Situación de la disposición final de residuos sólidos en

Colombia -," 2011, p. 26, 2011.

- [23] I. Nacional, *Disposición Final de Residuos Sólidos*. 2015.
- [24] "Proyecto de Generación de Energía por Aprovechamiento energético de los Residuos Sólidos Urbanos y Residuos Sólidos Especiales por el sistema de Termólisis | SGIC - FNCER." [Online]. Available: <http://www1.upme.gov.co/sgic/?q=content/proyecto-de-generación-de-energía-por-aprovechamiento-energético-de-los-residuos-sólidos>.
- [25] D. F. Anzola Parra, "Estudio del manejo de residuos sólidos en el relleno sanitario Doña Juana con el fin de delinear un borrador de propuesta para el manejo integral de residuos sólidos en la ciudad de Bogotá D.C", p. 66, 2015.
- [26] C. M. D. E. Popay, "Concejo municipal de popayán nit. 817.005.028– 2," no. 92, 2016.
- [27] "PLAN DE GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS POPAYÁN – CAUCA," 2016.
- [28] M. Lituma, "Plan de Gestión Integral de residuos sólidos del cantón Gualaceo," p. 87, 2015.
- [29] "Unete al progreso 2016-2019," 2016.
- [30] "DEPARTAMENTO DEL CAUCA. MUNICIPIO DE TIMBIO PLAN BASICO DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL. CAPITULO 3 DIAGNOSTICO TERRITORIAL."
- [31] G. Jaramillo, H. Liliana, and M. Zapata Márquez, "APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS EN COLOMBIA," 2008.
- [32] Ministerio de Medio Ambiente, "Decreto numero 1713 de 2002," vol. 2002, no. 44, p. 87, 2002.
- [33] "NORMATIVIDAD AMBIENTAL." [Online]. Available:

http://www.upme.gov.co/guia_ambiental/carbon/gestion/politica/normativ/normativ.htm#BM1__NORMATIVIDAD_GENERAL. [Accessed: 12-Feb-2017].

- [34] N. Técnica and E. N. L. A. Fuente, "Gestión ambiental. residuos sólidos. guía para la separación en la fuente," no. 571, 2009.
- [35] F. C. Vargas, "Alternativa de valorización y aprovechamiento material y energético por coprocesamiento de residuos sólidos municipales en una planta productora de cemento en la provincia de Guanentá-Santander como contribución a la solución del problema regional de su g," p. 69, 2014.
- [36] "Red De Desarrollo Sostenible de Colombia," p. 3, 2014.
- [37] "Portal Minvivienda Planes de Gestion Integral de Residuos Solidos PGIRS." [Online]. Available: <http://www.minvivienda.gov.co/viceministerios/viceministerio-de-agua/planes-de-gestion-integral-de-residuos-solidos>. [Accessed: 14-Mar-2017].
- [38] J. G. Henry and G. W. Heinke, *Ingeniería ambiental*. Prentice-Hall, 1999.
- [39] P. Montoya and A. Maria, "Investigación De Mercado En Empresas De Procesamiento De Material Reciclable," 2009.
- [40] B. Calarcá and B. Quindío, "ACTUALIZACION DEL PLAN DE GESTION INTEGRAL DE RESIDUOS SOLIDOS (PGIRS) DEL MUNICIPIO DE CALARCA , QUINDIO," 2016.
- [41] S. De Educación, "Gestión inteGral de residuos sólidos urbanos Documento destinado a docentes Coordinación Ejecutiva para el Desarrollo Sostenible Dirección Provincial de Relaciones con la Comunidad."
- [42] "Ciclo de Residuos Solidos." [Online]. Available: <https://es.scribd.com/doc/55683666/Ciclo-de-Residuos-Solidos#>. [Accessed: 23-Mar-2017].

- [43] G. S. C. Alberto, C. A. Rita, G. E. Marta, and F. G. Paula, "Guías Ambientales - Sector Plásticos," pp. 15, 16, 78, 79, 98, 99, 2004.
- [44] IDAE, "Situación y potencial de valorización energética directa de residuos.," p. 132, 2011.
- [45] X. E. Castells, *Los residuos como combustibles*. Ediciones Díaz de Santos, 2012.
- [46] D. Estrada, J. Fernandez, Felix, Idae, F. Nogués, J. Royo, D. E. Prensa, D. E. A. De, Upme, N. Rosenberg, and J. Fernandez, Felix, "Poder calorífico," *Cátedra Máquinas Térmicas*, vol. Capítulo 1, pp. 1–22, 2007.
- [47] "Constitucion politica de colombia 1991 preambulo el pueblo de colombia," p. 108, 1991.
- [48] P. I. D. E. Gesti, P.-H. D. E. Usaqu, and P. Nivel, "Plan institucional de gestión ambiental –piga- hospital de usaquén e.s.e primer nivel."
- [49] "El "SINA" El Sistema Nacional Ambiental." [Online]. Available: http://datateca.unad.edu.co/contenidos/102021/AntiguasVersiones/contenido/linea/el_sina_el_sistema_nacional_ambiental.html. [Accessed: 04-Feb-2017].
- [50] S. B. Ras, J. M. Mendez, M. Rivera, and A. Vargas, "Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Sistemas de Aseo Urbano."
- [51] L. Sigaut and P. Knoblauch, "Capacidad calorífica y temperatura de Debye - L. Sigauta y P. Knoblauchb -UBA 2001 Capacidad calorífica y temperatura de Debye," 2001.
- [52] "Residuos Sólidos Urbanos : Manual de Gestión Integral - Uruguay - Capítulo V - Tratamientos. Parte 2 .02 - Reciclaje de la materia orgánica - Compostaje." [Online]. Available: <https://www.estrucplan.com.ar/Producciones/imprimir.asp?IdEntrega=2854>. [Accessed: 28-Apr-2017].

9 ANEXOS

Anexo 1 Formato de encuesta para la recolección de información

Municipio	
Nombre de la entidad	
Nombre del encuestado	
Cargo	
Tiempo de trabajo en la entidad (meses)	

Propósito: El presente cuestionario tiene como objeto recopilar información relacionada con la gestión que se les hace a los residuos sólidos urbanos RSU municipales por parte de funcionarios o entidades públicas ligadas directa o indirectamente a la prestación de dicho servicio, con el ánimo de establecer línea base en la prospección de soluciones para el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos en el departamento del Cauca.

- 1) ¿Cuál es la actividad económica que más predomina en el municipio?
 - a. Agricultura_____
 - b. Ganadería_____
 - c. Minería_____
 - d. Industrial_____
 - e. Otra_____ ¿Cuál? _____
- 2) ¿Cuáles son los tipos de RSU que más se generan?
 - a. Plástico_____
 - b. Vidrio_____
 - c. Papel y cartón_____
 - d. Chatarra_____
 - e. Orgánico_____
 - f. Otro_____ ¿Cuál? _____
- 3) ¿Persona encargada de la gestión general de los residuos en el municipio?

- 4) ¿Qué cantidad de residuos sólidos urbanos se están generando el municipio?
_____ toneladas/mes.
- 5) ¿El municipio cuenta con PGIRS (Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos)?
SI___NO___, ¿Año de actualización? _____

*Si su respuesta es NO, continúe con la pregunta 7

- 6) ¿Cuál ha sido la estrategia que se utiliza para la implementación del plan de manejo de los RSU del municipio?
- a. Educación ambiental_____
 - b. Incentivos_____
 - c. Sanciones_____
 - d. Otro_____ ¿Cuál? _____
- 7) ¿Existe algún programa de capacitación en relación al manejo de residuos?
SI_____ NO_____ ¿Cuándo fue el último? _____
- 8) ¿Con que tipo de unidad cuenta el municipio para la disposición final de los RSU (Registro fotográfico)?
- a. Relleno Sanitario_____
 - b. Botadero a cielo abierto_____
 - c. Vertimiento a fuentes hídricas_____
 - d. Incineración_____
 - e. Introducen bajo tierra_____
 - f. Celdas transitorias o almacenamiento temporal_____
 - g. Aprovechamiento_____

Si utilizan celdas transitorias o almacenamiento temporal responda las preguntas 9, 10 y 11.

- 9) ¿Cuántas celdas existen? _____
- 10) ¿Cuál es su capacidad de almacenamiento? _____
- 11) ¿Cuál es la medida para la disposición final de los residuos?
- a. traslado a otro municipio_____ ¿Cuál? _____
 - b. Otra_____ ¿Cuál? _____
- 12) ¿A qué distancia del casco urbano se encuentra ubicado el sitio de disposición o almacenamiento temporal de los RSU? _____ kilómetros.
- 13) ¿El municipio cuenta con algún tipo de empresa para hacer la prestación del servicio de aseo público?
- SI_____ NO _____

*Si su respuesta es NO, continúe con la pregunta 17.

- 14) ¿Cuál es el nombre de la empresa prestadora del servicio de aseo público?
- _____

- 15) ¿Cómo está constituida la empresa prestadora del servicio de aseo público?

a. Jurídico_____ b. Natural_____ c. Tercero_____ d. No cuenta_____

16) ¿Con cuántos vehículos cuenta la empresa para el transporte de los residuos sólidos urbanos? _____

17) ¿Con que frecuencia los vehículos hacen el recorrido de recolección de residuos en el municipio?

- a. 1 vez a la semana _____
- b. 2 veces a la semana _____
- c. 3 veces a la semana _____
- d. 4 veces a la semana _____
- e. otra frecuencia _____ ¿Cuál? _____

18) ¿Todos los corregimientos del municipio cuentan con la cobertura de la empresa encargada de la recolección, transporte y disposición de los RSU?

SI _____ NO _____

19) ¿Qué prácticas utilizan los corregimientos que no cuentan con la cobertura del servicio de recolección de RSU (Registro fotográfico)?

- a. Botadero a cielo abierto _____
- b. Entierro de residuos _____
- c. Disposición en fuentes hídricas _____
- d. Aprovechamiento integral _____
- e. Otro _____ ¿Cuál? _____

20) ¿El municipio cuenta con un esquema tarifario para el servicio de aseo?

SI _____ NO _____

*Si responde NO, pasar a la pregunta 21.

21) ¿Cuál es la tarifa servicio de aseo mensual?

- a. 3.000 a 8.000 _____
- b. 8.000 a 15.000 _____
- c. 15.000 a 20.000 _____
- d. 20.000 a 25.000 _____

22) ¿Qué mecanismo se utiliza para conocer la cantidad recolectada de RSU?

- a. Capacidad de vehículo, cuál _____
- b. bascula
- c. Volumen del sitio de disposición
- d. Otro _____ ¿Cuál? _____

23) ¿Cree usted que es conveniente contar con algún tipo de capacitación que ayude a elaboración de un programa para hacer el aprovechamiento y manejo integral de los RSU del municipio?

SI _____ NO _____

24) ¿Qué entidad o persona(s) es la encargada de realizar el reciclaje en su municipio? _____

25) ¿Dónde está ubicada y como es el área donde se realiza el reciclaje (*foto del lugar*)?

26) ¿Se hace separación en la fuente de los RSU del municipio?

SI _____ NO _____

*Si su respuesta es NO, termine aquí la encuesta.

27) ¿Cuáles son los tipos de materiales que se separan en la fuente?

a. Plástico _____

b. Vidrio _____

c. Papel y cartón _____

d. Chatarra _____

e. Orgánicos _____

f. f. Otra _____ ¿Cuál? _____

FIRMA

FECHA

Anexo 2 Encuestas realizada a la ingeniera Yuli Zapata Flórez residente de los rellenos sanitarios El Ojito y Los Picachos de la ciudad de Popayán



Municipio:	Popayán
Nombre de la Entidad:	Servi Asco Popayán
Nombre del encuestado:	Yulliana
Cargo:	Ing. residente R. S. El Ojito y Picachos
Tiempo de trabajo en la entidad (meses):	

Propósito: El presente cuestionario tiene como objeto recopilar información relacionada con la gestión que se les hace a los residuos sólidos urbanos RSU municipales por parte de funcionarios o entidades públicas ligadas directa o indirectamente a la prestación de dicho servicio, con el ánimo de establecer línea base en la prospección de soluciones para el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos en el departamento del Cauca.

- 1) ¿Cuál es la actividad económica que más predomina en el municipio?
 - a. Agricultura _____
 - b. Ganadería _____
 - c. Minería _____
 - d. Industrial _____
 - e. Otra _____ ¿Cuál? _____

- 2) ¿Cuáles son los tipos de RSU que más se generan?
 - a. Plástico _____ 12.6%
 - b. Vidrio _____ 5.9%
 - c. Papel y cartón _____ 15.6%
 - d. Chatarra _____
 - e. Orgánico 40.5% de acuerdo a la última caracterización (Dic 2016)
 - f. Otro ¿Cuál? textiles 0.9%

- 3) Persona encargada de la gestión general de los residuos en el municipio?

No es persona, es el municipio por medio de Servi Asco

- 4) ¿Qué cantidad de residuos sólidos urbanos se están generando el municipio? 6750 toneladas/mes. entre popayán y 15 municipios más

- 5) ¿El municipio cuenta con PGIRS (Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos)?

SI NO _____ Año de actualización? 2016

*Si su respuesta es NO, continúe con la pregunta 7.

- 6) ¿Cuál ha sido la estrategia que se utiliza para la implementación del plan de manejo de los RSU del municipio?
 - a. Educación ambiental
 - b. Incentivos
 - c. Sanciones
 - d. Otro _____ ¿Cuál? _____

- 7) ¿Existe algún programa de capacitación en relación al manejo de residuos?

SI NO _____ ¿Cuándo fue el último? Plan Anual con actividades mensual

- 8) ¿Con que tipo de unidad cuenta el municipio para la disposición final de los RSU (Registro fotográfico)?

- a. Relleno Sanitario
- b. Botadero a cielo abierto _____
- c. Vertimiento a fuentes hídricas _____
- d. Incineración _____
- e. Introducen bajo tierra _____
- f. Celdas transitorias o almacenamiento temporal _____
- g. aprovechamiento _____

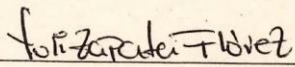
Si utilizan celdas transitorias o almacenamiento temporal responda las preguntas 9, 10 y 11

- 9) ¿Cuántas celdas existen? _____
- 10) ¿Cuál es su capacidad de almacenamiento? _____
- 11) ¿Cuál es la medida para la disposición final de los residuos?
a. traslado a otro municipio _____ ¿Cuál? _____
b. Otra _____ ¿Cuál? _____
- 12) ¿A qué distancia del casco urbano se encuentra ubicado el sitio de disposición o almacenamiento temporal de los RSU? 17 kilómetros.
- 13) ¿El municipio cuenta con algún tipo de empresa para hacer la prestación del servicio de aseo público?
SI NO _____
*Si su respuesta es NO, continúe con la pregunta 17.
- 14) ¿Cuál es el nombre de la empresa prestadora del servicio de aseo público?
Servi Aseo Popayán
- 15) ¿Cómo está constituida la empresa prestadora del servicio de aseo público?
a. Jurídico b. Natural _____ c. Tercero _____ d. No cuenta _____
- 16) ¿Con cuántos vehículos cuenta la empresa para el transporte de los residuos sólidos urbanos? 15 (2 volquetas, 10 compactadores, 1 de selectiva o reciclaje)
2
- 17) ¿Con qué frecuencia los vehículos hacen el recorrido de recolección de residuos en el municipio?
a. 1 vez a la semana
b. 2 veces a la semana
c. 3 veces a la semana
d. 4 veces a la semana
e. otra frecuencia _____ ¿Cuál? _____
- 18) ¿Todos los corregimientos del municipio cuentan con la cobertura de la empresa encargada de la recolección, transporte y disposición de los RSU?
SI _____ NO
- 19) ¿Qué prácticas utilizan los corregimientos que no cuentan con la cobertura del servicio de recolección de RSU (Registro fotográfico)?

- a. Botadero a cielo abierto _____
 - b. Entierro de residuos _____
 - c. Disposición en fuentes hídricas _____
 - d. Aprovechamiento integral _____
 - e. Otro _____ ¿Cuál? _____
- 20) ¿El municipio cuenta con un esquema tarifario para el servicio de aseo?
SI _____ NO _____
*Si responde NO, pasar a la pregunta 21.
- 21) ¿Cuál es la tarifa servicio de aseo mensual?
a. 3.000 a 8.000
b. 8.000 a 15.000
c. 15.000 a 20.000
d. 20.000 a 25.000
- 22) ¿Qué mecanismo se utiliza para conocer la cantidad recolectada de RSU?
a. Capacidad de vehículo, cuál _____
b. bascula
c. Volumen del sitio de disposición
d. Otro _____ ¿Cuál? _____
- 23) ¿Cree usted que es conveniente contar con algún tipo de capacitación que ayude a elaboración de un programa para hacer el aprovechamiento y manejo integral de los RSU del municipio?
SI _____ NO _____
- 24) ¿Qué entidad o persona(s) es la encargada de realizar el reciclaje en su municipio?

- 25) ¿Dónde está ubicada y como es el área donde se realiza el reciclaje (foto del lugar)?

- 26) ¿Se hace separación en la fuente de los RSU del municipio?
SI _____ NO _____
*Si su respuesta es NO, termine aquí la encuesta.
- 27) ¿Cuáles son los tipos de materiales que se separan en la fuente?
a. Plástico _____
b. Vidrio _____
c. Papel y cartón _____
d. Chatarra _____
e. Orgánicos _____
f. Otra _____ ¿Cuál? _____



FIRMA

31 marzo / 2017 .

FECHA

Anexo 3 Encuesta realizada al técnico operativo de la empresa prestadora del servicio de aseo de Timbío EMTIMBÍO E.S.P.



Municipio:	Timbío
Nombre de la Entidad:	Entimbío
Nombre del encuestado:	Carlos Ortiz Alegria
Cargo:	Técnico Operativo
Tiempo de trabajo en la entidad (meses):	9

Propósito: El presente cuestionario tiene como objeto recopilar información relacionada con la gestión que se les hace a los residuos sólidos urbanos RSU municipales por parte de funcionarios o entidades públicas ligadas directa o indirectamente a la prestación de dicho servicio, con el ánimo de establecer línea base en la prospección de soluciones para el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos en el departamento del Cauca.

- ¿Cuál es la actividad económica que más predomina en el municipio?
 - Agricultura
 - Ganadería
 - Minería
 - Industrial
 - Otra ¿Cuál? _____
- ¿Cuáles son los tipos de RSU que más se generan?

a. Plástico	<input type="checkbox"/>	4 ton/mes	13.0
b. Vidrio	<input type="checkbox"/>		5.90 ton/mes caracterización actual
c. Papel y cartón	<input type="checkbox"/>		6.0 ton/mes
d. Chatarra	<input type="checkbox"/>		4 ton/mes papel y cartón 3.2 ton/mes
e. Orgánico	<input checked="" type="checkbox"/>	100 Ton/mes aprox	110 ton/mes
f. Otro	<input type="checkbox"/>	¿Cuál? _____	
- Persona encargada de la gestión general de los residuos en el municipio?
Entimbío
- ¿Qué cantidad de residuos sólidos urbanos se están generando en el municipio? 150 ton toneladas/mes. *datos de la caracterización para la actualización del PGIRS*
- ¿El municipio cuenta con PGIRS (Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos)?
SI NO Año de actualización? En proceso
*Si su respuesta es NO, continúe con la pregunta 7.
- ¿Cuál ha sido la estrategia que se utiliza para la implementación del plan de manejo de los RSU del municipio?
 - Educación ambiental
 - Incentivos
 - Sanciones
 - Otro ¿Cuál? _____
- ¿Existe algún programa de capacitación en relación al manejo de residuos?
SI NO ¿Cuándo fue el último? Oct. 2016
- ¿Con que tipo de unidad cuenta el municipio para la disposición final de los RSU (Registro fotográfico)?

- a. Relleno Sanitario _____
- b. Botadero a cielo abierto _____
- c. Vertimiento a fuentes hídricas _____
- d. Incineración _____
- e. Introducen bajo tierra _____
- f. Celdas transitorias o almacenamiento temporal _____
- g. aprovechamiento R. O

Si utilizan celdas transitorias o almacenamiento temporal responda las preguntas 9, 10 y 11

- 9) ¿Cuántas celdas existen? 1 celda donde se hace trituración, aprovechamiento
- 10) ¿Cuál es su capacidad de almacenamiento? NO se conoce
- 11) ¿Cuál es la medida para la disposición final de los residuos?
a. traslado a otro municipio ¿Cuál? Popayán → Los Picachos
b. Otra _____ ¿Cuál? _____
- 12) ¿A qué distancia del casco urbano se encuentra ubicado el sitio de disposición o almacenamiento temporal de los RSU? _____ kilómetros.
- 13) ¿El municipio cuenta con algún tipo de empresa para hacer la prestación del servicio de aseo público?
SI NO _____
*Si su respuesta es NO, continúe con la pregunta 17.
- 14) ¿Cuál es el nombre de la empresa prestadora del servicio de aseo público?
En timbío
- 15) ¿Cómo está constituida la empresa prestadora del servicio de aseo público?
a. Jurídico b. Natural _____ c. Tercero _____ d. No cuenta _____
- 16) ¿Con cuántos vehículos cuenta la empresa para el transporte de los residuos sólidos urbanos? 1
- 17) ¿Con qué frecuencia los vehículos hacen el recorrido de recolección de residuos en el municipio?
a. 1 vez a la semana
b. 2 veces a la semana
c. 3 veces a la semana
d. 4 veces a la semana
e. otra frecuencia ¿Cuál? 5 veces a la semana
- 18) ¿Todos los corregimientos del municipio cuentan con la cobertura de la empresa encargada de la recolección, transporte y disposición de los RSU?
SI _____ NO
- 19) ¿Qué prácticas utilizan los corregimientos que no cuentan con la cobertura del servicio de recolección de RSU (Registro fotográfico)?

- a. Botadero a cielo abierto _____
b. Entierro de residuos _____
c. Disposición en fuentes hídricas _____
d. Aprovechamiento integral _____
e. Otro ¿Cuál? Almacenan los R.S. aprovechables y lo comercializan a quien se desconoce el nombre
- 20) ¿El municipio cuenta con un esquema tarifario para el servicio de aseo?
SI NO _____ se están actualizando
*Si responde NO, pasar a la pregunta 21.
- 21) ¿Cuál es la tarifa servicio de aseo mensual?
a. 3.000 a 8.000
b. 8.000 a 15.000
c. 15.000 a 20.000
d. 20.000 a 25.000
- 22) ¿Qué mecanismo se utiliza para conocer la cantidad recolectada de RSU?
a. Capacidad de vehículo, cuál _____
b. bascula pesaje directo en el relleno sanitario
c. Volumen del sitio de disposición
d. Otro _____ ¿Cuál? _____
- 23) ¿Cree usted que es conveniente contar con algún tipo de capacitación que ayude a elaboración de un programa para hacer el aprovechamiento y manejo integral de los RSU del municipio?
SI NO _____
- 24) ¿Qué entidad o persona(s) es la encargada de realizar el reciclaje en su municipio?
Recicladores informales (Luzio botina Representante) en timbio sólo hacen aprovechamiento de Orgánico.
- 25) ¿Dónde está ubicada y como es el área donde se realiza el reciclaje (foto del lugar)?
- 26) ¿Se hace separación en la fuente de los RSU del municipio?
SI NO _____
*Si su respuesta es NO, termine aquí la encuesta.
- 27) ¿Cuáles son los tipos de materiales que se separan en la fuente?
a. Plástico
b. Vidrio
c. Papel y cartón _____
d. Chatarra _____
e. Orgánicos
f. f. Otra _____ ¿Cuál? _____

Carlos Botto Alegría
FIRMA
29 - Nov - 2016
FECHA

**Anexo 4 Encuestas realizada a persona recuperadora de residuos sólidos
aprovechables en el municipio de Timbío**



Municipio:	Timbío
Nombre de la Entidad:	No aplica (Independiente)
Nombre del encuestado:	Lucio Botino
Cargo:	Recuperador
Tiempo de trabajo en la entidad (meses):	25 años

Propósito: El presente cuestionario tiene como objeto recopilar información relacionada con la gestión que se les hace a los residuos sólidos urbanos RSU municipales por parte de funcionarios o entidades públicas ligadas directa o indirectamente a la prestación de dicho servicio, con el ánimo de establecer línea base en la prospección de soluciones para el aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos en el departamento del Cauca.

- 1) ¿Cuál es la actividad económica que más predomina en el municipio?
 - a. Agricultura _____
 - b. Ganadería _____
 - c. Minería _____
 - d. Industrial _____
 - e. Otra _____ ¿Cuál? _____

- 2) ¿Cuáles son los tipos de RSU que más se generan?
 - a. Plástico 500 Kilos/mes
 - b. Vidrio 700 kilos
 - c. Papel y cartón 500 kilos de cartón aprox. 200-300 kilos de papel
 - d. Chatarra 400-500 kilos
 - e. Orgánico _____ Pet 500 kilos
 - f. Otro ¿Cuál? _____

- 3) Persona encargada de la gestión general de los residuos en el municipio? _____

- 4) ¿Qué cantidad de residuos sólidos urbanos se están generando el municipio? _____ toneladas/mes.

- 5) ¿El municipio cuenta con PGIRS (Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos)?
 SI _____ NO _____ Año de actualización? _____
 *Si su respuesta es NO, continúe con la pregunta 7.

- 6) ¿Cuál ha sido la estrategia que se utiliza para la implementación del plan de manejo de los RSU del municipio?
 - a. Educación ambiental
 - b. Incentivos
 - c. Sanciones
 - d. Otro _____ ¿Cuál? _____

- 7) ¿Existe algún programa de capacitación en relación al manejo de residuos?
 SI _____ NO _____ ¿Cuándo fue el último? _____

- 8) ¿Con que tipo de unidad cuenta el municipio para la disposición final de los RSU (Registro fotográfico)?
- Relleno Sanitario _____
 - Botadero a cielo abierto _____
 - Vertimiento a fuentes hídricas _____
 - Incineración _____
 - Introducen bajo tierra _____
 - Celdas transitorias o almacenamiento temporal _____
 - aprovechamiento _____

Si utilizan celdas transitorias o almacenamiento temporal responda las preguntas 9, 10 y 11

9) ¿Cuántas celdas existen? _____

10) ¿Cuál es su capacidad de almacenamiento? _____

- 11) ¿Cuál es la medida para la disposición final de los residuos?
- traslado a otro municipio _____ ¿Cuál? _____
 - Otra _____ ¿Cuál? _____

12) ¿A qué distancia del casco urbano se encuentra ubicado el sitio de disposición o almacenamiento temporal de los RSU? _____ kilómetros.

13) ¿El municipio cuenta con algún tipo de empresa para hacer la prestación del servicio de aseo público?

SI _____ NO _____

*Si su respuesta es NO, continúe con la pregunta 17.

14) ¿Cuál es el nombre de la empresa prestadora del servicio de aseo público?

15) ¿Cómo está constituida la empresa prestadora del servicio de aseo público?

a. Jurídico _____ b. Natural _____ c. Tercero _____ d. No cuenta _____

16) ¿Con cuántos vehículos cuenta la empresa para el transporte de los residuos sólidos urbanos? _____

17) ¿Con que frecuencia los vehículos hacen el recorrido de recolección de residuos en el municipio?

- 1 vez a la semana
- 2 veces a la semana
- 3 veces a la semana
- 4 veces a la semana
- otra frecuencia _____ ¿Cuál? _____

18) ¿Todos los corregimientos del municipio cuentan con la cobertura de la empresa encargada de la recolección, transporte y disposición de los RSU?

SI _____ NO X

19) ¿Qué prácticas utilizan los corregimientos que no cuentan con la cobertura del servicio de recolección de RSU (Registro fotográfico)?

- a. Botadero a cielo abierto _____
- b. Entierro de residuos _____
- c. Disposición en fuentes hídricas _____
- d. Aprovechamiento integral X
- e. Otro X ¿Cuál? Reciclan y lo venden de vez en cuando

20) ¿El municipio cuenta con un esquema tarifario para el servicio de aseo?
SI _____ NO _____

*Si responde NO, pasar a la pregunta 21.

21) ¿Cuál es la tarifa servicio de aseo mensual?

- a. 3.000 a 8.000
- b. 8.000 a 15.000
- c. 15.000 a 20.000
- d. 20.000 a 25.000

22) ¿Qué mecanismo se utiliza para conocer la cantidad recolectada de RSU?

- a. Capacidad de vehículo, cuál _____
- b. balanza X
- c. Volumen del sitio de disposición
- d. Otro _____ ¿Cuál? _____

23) ¿Cree usted que es conveniente contar con algún tipo de capacitación que ayude a elaboración de un programa para hacer el aprovechamiento y manejo integral de los RSU del municipio?
SI X NO _____

24) ¿Qué entidad o persona(s) es la encargada de realizar el reciclaje en su municipio?
Lucio Botino y demás recicladores

25) ¿Dónde está ubicada y como es el área donde se realiza el reciclaje (foto del lugar)?

26) ¿Se hace separación en la fuente de los RSU del municipio?
SI X NO _____

*Si su respuesta es NO, termine aquí la encuesta.

27) ¿Cuáles son los tipos de materiales que se separan en la fuente?

- a. Plástico X
- b. Vidrio X
- c. Papel y cartón X
- d. Chatarra X
- e. Orgánicos X
- f. Otra _____ ¿Cuál? _____

FIRMA

Lucio Botino

FECHA

Anexo 5 Demanda energética de Popayán según Compañía Energética de Occidente



Radicado No.: 20173403904141

Popayán, 26-04-2017

Omar González Grueso Hurtado
1114 830469
26 - Abril - 2017
4:40 pm

Señor
ÓMAR GENTIL GRUESO HURTADO
Cédula: 1.114.830.469
Cetular: 317-7646959
Correo: omargrueso.h@uniaautonoma.edu.co
Popayán - Cauca

Asunto: Respuesta a radicado número 20176201704742 del 25 de abril de 2017.

Estimado señor Grueso:

Reciba un cordial saludo de la Compañía Energética de Occidente S.A.S. E.S.P., para nosotros es muy grato atender sus inquietudes, toda vez que nos permiten continuar trabajando en el mejoramiento de nuestro servicio.

En atención a su escrito presentado en nuestras instalaciones el 25 de abril de 2017, en relación con la solicitud de información de la cantidad de energía eléctrica demandada actualmente en el municipio de Popayán, de la manera más cordial nos permitimos remitir la información requerida:

	Consumo (kWh)*	
	Popayán**	Cauca**
ene-12	13,605,544	33,483,303
feb-12	13,278,256	33,773,002
mar-12	13,093,709	32,140,430
abr-12	13,520,696	34,092,230
may-12	13,611,885	33,366,507
jun-12	13,791,740	33,058,694
jul-12	13,497,879	33,717,451
ago-12	13,964,915	33,527,205
sep-12	13,284,790	35,431,969
oct-12	13,585,477	36,446,000
nov-12	13,990,811	35,302,664
dic-12	14,103,944	36,636,884
TOTAL 2012	163,329,646	410,976,339

	Consumo (kWh)*	
	Popayán**	Cauca**
ene-13	13,890,942	36,179,645
feb-13	13,273,725	36,719,097
mar-13	13,206,445	36,634,454
abr-13	13,665,629	36,108,151
may-13	13,841,520	37,263,238
jun-13	14,565,529	38,718,408
jul-13	13,544,876	38,016,087
ago-13	14,399,861	40,015,427
sep-13	14,465,990	37,861,486
oct-13	14,802,761	40,011,508
nov-13	14,917,493	40,263,432
dic-13	14,901,654	40,233,121
TOTAL 2013	169,476,425	458,024,054

Compañía Energética de Occidente S.A.S. E.S.P.
Cra. 7 No. 111-28 Ed. Edgar Hegret - Cauca
Bogotá - Colombia - (01) 471-5961
Oficina de Servicio al Cliente
Carrera 3 - Calle Tercera
Cauca - Cauca

FR.362 - v03
17/03/2016
Página 1 de 2



Compañía Energética
de Occidente



Radicado No.: 20173403904141

	Consumo (kWh)*	
	Popayán**	Cauca**
ene-14	15,211,085	41,248,946
feb-14	14,763,456	40,233,411
mar-14	14,589,708	40,058,271
abr-14	15,594,524	40,832,206
may-14	15,030,093	40,942,240
jun-14	15,317,729	40,750,836
jul-14	14,761,774	39,591,973
ago-14	15,303,229	43,362,563
sep-14	15,097,976	42,524,229
oct-14	15,529,027	43,481,067
nov-14	15,829,790	43,666,822
dic-14	15,287,200	42,982,787
TOTAL 2014	182,315,591	499,675,351

	Consumo (kWh)*	
	Popayán**	Cauca**
ene-15	15,740,670	44,800,064
feb-15	14,820,879	44,306,098
mar-15	15,075,787	43,177,344
abr-15	16,112,671	45,063,260
may-15	15,793,611	44,705,535
jun-15	15,238,925	45,829,386
jul-15	15,865,966	45,653,595
ago-15	16,437,921	46,231,209
sep-15	15,909,583	46,125,057
oct-15	16,218,270	46,653,797
nov-15	16,232,244	46,424,686
dic-15	16,158,433	46,007,664
TOTAL 2015	189,604,960	544,977,695

	Consumo (kWh)*	
	Popayán**	Cauca**
ene-16	16,227,283	47,140,138
feb-16	15,436,282	46,345,357
mar-16	15,912,765	45,324,397
abr-16	16,074,367	44,799,139
may-16	16,018,435	45,160,620
jun-16	16,006,342	44,632,709
jul-16	15,755,886	45,393,136
ago-16	15,637,240	44,585,506
sep-16	16,518,643	46,035,813
oct-16	16,262,699	47,767,611
nov-16	16,202,730	48,531,729
dic-16	15,983,564	49,273,636
TOTAL 2016	192,036,236	554,989,791

	Consumo (kWh)*	
	Popayán**	Cauca**
ene-16	16,097,230	49,467,212
feb-16	15,328,328	48,015,996
TOTAL 2017	31,425,558	97,483,208

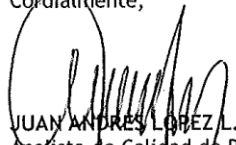
* Todos los consumos están representados en kilovatios hora (kWh).

** Se muestran las ventas de energía de la Compañía Energética de Occidente, el consumo total del Cauca y Popayán pueden ser mayores debido a que existen más comercializadores de energía eléctrica.

Fuente: Bodega de Datos SUI.

Cualquier duda o inquietud, con gusto será atendida.

Cordialmente,


JUAN ANDRÉS LÓPEZ L.
 Analista de Calidad de PQR
 Compañía Energética de Occidente S.A.S E.S.P.

Proyectó: Carlos Muñoz - Solicitud: 4390701

Oficina Principal:
 Cra. 7 No. 10-28 Ed. Edg. Negocios S.A.S.
 Bogotá D.C. (01) 332 5964
 Oficina de Servicio al Cliente:
 Carrera 8ª Calle 10-30000
 Bogotá D.C.

FR.362 - v03
 17/03/2016
 Página 2 de 2



Compañía Energética
 de Occidente

Anexo 6 Registros Fotográficos

- ✓ Entrevista a la ingeniera Yili Zapata Flórez, residente de los rellenos sanitarios Los Picachos y El Ojito del municipio de Popayán



- ✓ Bodega recicladora La Mayorista de Popayán



✓ Centro de reciclaje Aremarpo



✓ Bodega de reciclaje del Señor Lucio Botina del municipio de Timbío

