



Alcaldía de Medellín

1

INFORME DE LA CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN EL SECTOR RESIDENCIAL DEL ÁREA URBANA Y RURAL DEL MUNICIPIO DE MEDELLÍN Y SUS CINCO CORREGIMIENTOS

## Informe de la caracterización de residuos sólidos generados en el sector residencial del área urbana y rural del Municipio de Medellín y sus cinco corregimientos

Consortio Residuos Sólidos Medellín

Contrato Nro. 4600077223 de 2018 *de caracterización de residuos sólidos generados en el sector residencial y no residencial del área urbana y rural de Medellín y sus cinco corregimientos*

Para:

**ALCALDÍA DE MEDELLÍN**

Secretaría de Gestión y Control Territorial  
Subsecretaría de Servicios Públicos

Medellín  
2019





## **DIRECCIÓN**

Ana Paola Correa Gonzalez , Administradora Ambiental

## **SUPERVISIÓN**

Julia Alejandra Barrios Barrera, Ingeniera Ambiental

## **APOYO TÉCNICO DE SUPERVISIÓN**

Juan Felipe Hernández Galvis, Ingeniero Ambiental

Lina Marcela Duque Alzate, Ingeniera Ambiental

## **COORDINACIÓN TÉCNICA**

Katherin Rivera Echavarría, Ingeniera Química

## **COORDINADORES**

Jefferson Enrique Gutiérrez Medina, Ingeniero Ambiental

Maswel Andrey Ortiz Parra, Ingeniero Ambiental

Raúl Alberto Rangel Acosta, Ingeniero Ambiental

Jean Paul Retat Hernández, Ingeniero Ambiental

## **ASESORES**

Laura Vanessa González Londoño, Profesional en Estadística Cielo

Vargas Cardona, Profesional Social

Jorge Enrique Delgado Vélez, Profesional en Sistemas de Información



**Tabla de contenido****Pág.**

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>13</b>
<b>2. OBJETIVO GENERAL</b>	<b>18</b>
<b>3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>18</b>
<b>4. ALCANCE</b>	<b>18</b>
<b>5. NORMATIVIDAD ASOCIADA QUE RIGE LA CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS</b>	<b>19</b>
<b>6. CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN SUMINISTRADA</b>	<b>20</b>
6.1. Herramientas para la recopilación de la información	
6.2. División político-administrativa de medellín	
6.3. Servicio publico de aseo en la ciudad	
6.4. Actores que pueden suministrar información del tema	
<b>7. DISEÑO METODOLÓGICO PARA EL SECTOR RESIDENCIAL</b>	<b>29</b>
7.1. Definición del objetivo de la investigación	
7.2. Metodología de selección de la muestra	
7.3. Descripción del Universo y unidades que lo conforman	
7.4. Tamaño muestral	
7.4.1. Nivel de confianza y margen de error con el que se presentan los resultados	
7.5. Distribución de la Muestra	
7.6. Técnica aplicada para realizar el trabajo de campo	
7.6.1. Período de recolección de la información	
<b>8. METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS PARA EL SECTOR RESIDENCIAL DE MEDELLÍN Y SUS CINCO CORREGIMIENTOS</b>	<b>36</b>
8.1. Recolección y aforo de muestras para el sector residencial de medellín y sus cinco corregimientos	
8.2. Metodología de caracterización de muestras para el sector residencial de medellín y sus cinco corregimientos	
8.3. Procedimiento para calcular la producción per cápita	
8.4. Procedimiento para el cálculo de la densidad	
8.5. Procedimiento para la clasificación por tipología de residuos	
8.6. Procedimiento para realizar el método de cuarteo	
<b>9. RESULTADOS DE LA PRODUCCIÓN PER CÁPITA PARA EL SECTOR RESIDENCIAL EN LOS CINCO CORREGIMIENTOS Y MEDELLÍN</b>	<b>44</b>
9.1. Análisis estadístico	





---

**10. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD Y LA COMPOSICIÓN FÍSICA PORCENTUAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL SECTOR RESIDENCIAL DE MEDELLÍN Y SUS CINCO CORREGIMIENTOS** **59**

- 10.1. Resultados de la densidad libre
- 10.2. Composición física porcentual de los residuos sólidos en los cinco corregimientos
- 10.3. Composición física porcentual de los residuos sólidos en medellín
- 10.4. Cálculo de la cantidad de residuos potencialmente aprovechables, según su naturaleza, determinada mediante aforos
- 10.5. Análisis descriptivo de datos de cantidad de residuos que van al sistema de disposición final

---

**11. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA Y PODER CALORÍFICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL SECTRO RESIDENCIAL** **77**

- 11.1. Preparación de las muestras
- 11.2. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para analizar en los residuos sólidos
- 11.3. Resultados y análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los residuos sólidos en el sector residencial
  - 11.3.1. Resultados de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y fitotóxicos para el estrato 1
  - 11.3.2. Resultados de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y fitotóxicos para el estrato 2
  - 11.3.3. Resultados de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y fitotóxicos para el estrato 3
  - 11.3.4. Resultados de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y fitotóxicos para el estrato 4
  - 11.3.5. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el estrato 5
  - 11.3.6. Resultados de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y fitotóxicos para el estrato 6

---

**12. DETERMINACIÓN Y RESULTADOS DEL PODER CALORÍFICO MEDIANTE MÉTODO ANALÍTICO Y MÉTODO PRÁCTICO** **105**

- 12.1. Determinar el potencial de aprovechamiento de los residuos, de acuerdo con sus propiedades y condiciones de mercado
- 12.2. Aprovechamiento de residuos orgánicos en medellín y sus cinco corregimientos
- 12.3. Aprovechamiento de residuos reciclables
- 12.4. Aprovechamiento térmico - pirolisis y gasificación

---

**13. INFORME DE LA EJECUCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SOCIALIZACIÓN EN EL SECTOR RESIDENCIAL** **142**

- 13.1. Plan de medios de comunicación audiovisuales y virtuales





13.2. Medios alternativos realizado por el consorcio residuos medellín 2018

<b>14. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRAFICA</b>	<b>166</b>
14.1. Metodología	
14.2. Información cartográfica básica y temática	
14.3. Manejo de los metadatos	
14.4. Estructura de la información	
14.5. Geodatabase	
14.6. MXD	
14.7. Simbología	
14.8. Documentos	
14.9. Diccionario de datos	
14.10. Metadatos	
13.11. Sistema de referencia	
<b>15. CONCLUSIONES</b>	<b>186</b>
<b>16.RECOMENDACIONES</b>	<b>191</b>
<b>17. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>193</b>





## Lista de tablas

		PÁGINA
<b>Tabla 1</b>	Normatividad de residuos desde Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible	21
<b>Tabla 2</b>	Normatividad de residuos desde Ministerio de Vivienda, Ciudad Y Territorio	23
<b>Tabla 3</b>	Normatividad de residuos desde la DIRECCION NACIONAL DE PLANEACION	24
<b>Tabla 4</b>	Normatividad de residuos desde ENTIDADES E INSTITUCIONES REGIONALES Y/O LOCALES	25
<b>Tabla 5</b>	Distribución político-administrativa de Medellín	30
<b>Tabla 6</b>	Población por Comuna en el área urbana de Medellín	36
<b>Tabla 7</b>	Población objetivo de los corregimientos	37
<b>Tabla 8</b>	Número de muestras por estrato socioeconómico en Medellín	39
<b>Tabla 9</b>	Número de muestras distribuidas en los corregimientos	40
<b>Tabla 10</b>	Estratos socioeconómicos predominantes por comuna y zonas en Medellín	41
<b>Tabla 11</b>	Número aproximado de muestras por estrato socioeconómico para cada comuna	42
<b>Tabla 12</b>	Respuesta de 257 Viviendas Encuestadas	44
<b>Tabla 13</b>	Estratificación de los corregimientos de Medellín según encuesta	47
<b>Tabla 14</b>	Número aproximado de muestras por estrato socioeconómico para cada comuna	49
<b>Tabla 15</b>	Comparativo encuestas asignadas y realizadas en cada comuna	49
<b>Tabla 16</b>	Distribución de encuestas por estrato socioeconómico en las comunas de Medellín	50
<b>Tabla 17</b>	Esquema de clasificación según la composición de los residuos sólidos usada en la caracterización	55
<b>Tabla 18</b>	Ubicación de toma de muestras en corregimientos	59
<b>Tabla 19</b>	Producción Per Cápita de los corregimientos de Medellín	59
<b>Tabla 20</b>	Comparación del PPC en estudios de caracterización de residuos sólidos anteriores para los corregimientos de Medellín	61





<b>Tabla 21</b>	Número de viviendas con dos muestras en Medellín	<b>61</b>
<b>Tabla 22</b>	PPC por estrato socio económico	<b>63</b>
<b>Tabla 23</b>	Comparación de los PPC de los estudios de caracterización de residuos del 2006, 2009, 2011, 2014 y 2018	<b>64</b>
<b>Tabla 24</b>	Toneladas de residuos generados y dispuestos en Medellín en 2016, 2017 y 2018	<b>66</b>
<b>Tabla 25</b>	Indicadores de la PPC para el sector residencial de Medellín	<b>66</b>
<b>Tabla 26</b>	Intervalos de confianza para el pronóstico de los datos de la PPC para el año 2018	<b>67</b>
<b>Tabla 27</b>	Comparación estadística de la media de los diferentes estudios de caracterización de residuos sólidos en Medellín desde el 2009 hasta el 2018	<b>72</b>
<b>Tabla 28</b>	Análisis de varianza para comparar los resultados de los diferentes estudios de la PPC en Medellín- sector Residencial	<b>73</b>
<b>Tabla 29</b>	Número de suscriptores y número de viviendas muestreadas para el sector Residencial de Medellín y sus cinco corregimientos	<b>78</b>
<b>Tabla 30</b>	Densidad libre para los cinco corregimientos	<b>78</b>
<b>Tabla 31</b>	Resultados de la densidad libre de los residuos sólidos en el sector residencial de Medellín y promedio Corregimientos	<b>69</b>
<b>Tabla 32</b>	Porcentaje de reciclaje encontrado en las caracterizaciones de residuos sólidos en el sector residencial	<b>80</b>
<b>Tabla 33</b>	Comparativo de la densidad promedio del estudio de caracterización de los años 2014 y 2018	<b>80</b>
<b>Tabla 34</b>	Compilación de la Composición física porcentual de los residuos sólidos generados en el sector residencial de los cinco corregimientos	<b>81</b>
<b>Tabla 35</b>	Compilación de la Composición física porcentual de los residuos sólidos generados en el sector residencial de Medellín por estrato socioeconómico	<b>89</b>
<b>Tabla 36</b>	Porcentajes de residuos biodegradables y putrescibles por estrato socioeconómico en Medellín -Sector Residencial	<b>93</b>
<b>Tabla 37</b>	Porcentajes de residuos plásticos por estrato socioeconómico en Medellín -Sector Residencial	<b>95</b>
<b>Tabla 38</b>	Resultados de residuos ordinarios e Inertes por estrato socioeconómico en Medellín -Sector Residencial	<b>97</b>
<b>Tabla 39</b>	Resultados de residuos Peligrosos por estrato socioeconómico en Medellín -Sector Residencial	<b>98</b>





<b>Tabla 40</b>	Comparación de la composición física porcentual de los diferentes estudios de caracterización de residuos sólidos en el sector residencial de Medellín para los años 2009, 2001, 2014 y 2018.	<b>100</b>
<b>Tabla 41</b>	Porcentaje de residuos con potencial de aprovechamiento de acuerdo con su naturaleza.	<b>101</b>
<b>Tabla 42</b>	Peso de material reciclado entregado en los muestreos por estrato socioeconómico en Medellín	<b>102</b>
<b>Tabla 43</b>	Proyección y estimación de Toneladas diarias generadas en Medellín y en los corregimientos, por tipo de residuos	<b>103</b>
<b>Tabla 44</b>	Distribución de muestras por estrato para ser analizadas en el laboratorio	<b>106</b>
<b>Tabla 45</b>	Distribución de muestras por corregimiento para ser analizadas en el laboratorio	<b>106</b>
<b>Tabla 46</b>	Distribución de muestras llevadas al laboratorio por comuna según los estratos socioeconómicos	<b>106</b>
<b>Tabla 47</b>	Convenciones usadas en los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos	<b>111</b>
<b>Tabla 48</b>	Límites máximos permisibles para metales pesado según normatividad colombiana	<b>112</b>
<b>Tabla 49</b>	Parámetros fisicoquímicos para garantizar según la normatividad colombiana en residuos sólidos urbanos separados en fuente y productos agrícolas a partir de estos	<b>113</b>
<b>Tabla 50</b>	Límites máximos permisibles para parámetros microbiológicos según normatividad colombiana en residuos sólidos urbanos separados en fuente y productos agrícolas a partir de estos	<b>113</b>
<b>Tabla 51</b>	Porcentajes para macro contaminantes en muestras según NTC 5167	<b>114</b>
<b>Tabla 52</b>	Resultados de metales pesados en muestras del estrato 1 tomadas en diferentes zonas de Medellín	<b>116</b>
<b>Tabla 53</b>	Resultados de los parámetros fisicoquímicos para las muestras del estrato 1 tomadas en diferentes zonas de Medellín	<b>116</b>
<b>Tabla 54</b>	Resultados de los parámetros microbiológicos para el estrato 1 en diferentes zonas de Medellín	<b>116</b>
<b>Tabla 55</b>	Resultados de los Parámetros Fitotóxicos para las muestras del estrato 1 en diferentes zonas de Medellín	<b>117</b>
<b>Tabla 56</b>	Resultados de metales pesados en muestras del estrato 2 tomadas en diferentes zonas de Medellín	<b>120</b>
<b>Tabla 57</b>	Resultados de los parámetros fisicoquímicos para las muestras del estrato 2 tomadas en diferentes zonas de Medellín	<b>120</b>







<b>Tabla 58</b>	Resultados de los parámetros microbiológicos para el estrato 2 en diferentes zonas de Medellín	122
<b>Tabla 59</b>	Resultados de metales pesados en muestras del estrato 3 tomadas en las zonas 1, 2 y 3 de Medellín	123
<b>Tabla 60</b>	Resultados de metales pesados en muestras del estrato 3 tomadas en las zonas 4, 5, 6 y 7 de Medellín	125
<b>Tabla 61</b>	Resultados de parámetros fisicoquímicos en muestras del estrato 3 tomadas en las zonas 1, 2 y 3 de Medellín	126
<b>Tabla 62</b>	Resultados de parámetros fisicoquímicos en muestras del estrato 3 tomadas en las zonas 4, 5, 6 y 7 de Medellín	126
<b>Tabla 63</b>	Resultados de parámetros microbiológicos en muestras del estrato 3 tomadas en las zonas 1, 2 y 3 de Medellín	127
<b>Tabla 64</b>	Resultados de parámetros microbiológicos en muestras del estrato 3 tomadas en las zonas 4, 5, 6 y 7 de Medellín	129
<b>Tabla 65</b>	Resultados de parámetros fitotóxico en muestras del estrato 3 tomadas en las zonas 1, 2 y 3 de Medellín	129
<b>Tabla 66</b>	Resultados de parámetros fitotóxico en muestras del estrato 3 tomadas en las zonas 4, 5, 6 y 7 de Medellín	130
<b>Tabla 67</b>	Resultados de metales pesados para muestras del estrato 4 en las zonas 2, 3, 4, 6 y 7	131
<b>Tabla 68</b>	Resultados de parámetros fisicoquímicos para muestras del estrato 4 en las zonas 2, 3, 4, 6 y 7	132
<b>Tabla 69</b>	Resultados de parámetros microbiológicos para muestras del estrato 4 en las zonas 2, 3, 4, 6 y 7	132
<b>Tabla 70</b>	Resultados de parámetros fitotóxicos para muestras del estrato 4 en las zonas 2, 3, 4, 6 y 7	134
<b>Tabla 71</b>	Resultados de metales pesados para las muestras del estrato 5 en las zonas 3, 4, 5 y 6	134
<b>Tabla 72</b>	Resultados de parámetros fisicoquímicos para las muestras del estrato 5 en las zonas 3, 4, 5 y 6	135
<b>Tabla 73</b>	Resultados de parámetros microbiológicos para las muestras del estrato 5 en las zonas 3, 4, 5 y 6	136
<b>Tabla 74</b>	Resultados de parámetros fitotóxicos para las muestras del estrato 5 en las zonas 3, 4, 5 y 6	137
<b>Tabla 75</b>	Resultados de los metales pesados en las muestras del estrato 6 en las zonas 4 y 5 de Medellín	137
<b>Tabla 76</b>	Resultados de los parámetros fisicoquímicos en las muestras del estrato 6 en las zonas 4 y 5 de Medellín	138
<b>Tabla 77</b>	Resultados de los parámetros microbiológicos en las muestras del estrato 6 en las zonas 4 y 5 de Medellín	139





<b>Tabla 78</b>	Resultados de los parámetros fitotóxicos en las muestras del estrato 6 en las zonas 4 y 5 de Medellín	140
<b>Tabla 79</b>	Aplicación de procesos de incineración según metodología CEPIS	140
<b>Tabla 80</b>	Promedios del Poder calorífico superior (Kcal/Kg) y Porcentaje de humedad por estrato socioeconómico por método práctico	146
<b>Tabla 81</b>	Promedios del Poder calorífico superior (Kcal/Kg) y Porcentaje de humedad por Corregimientos por método práctico	146
<b>Tabla 82</b>	Resultados del cálculo del Poder Calorífico por diversas metodologías analíticas	146
<b>Tabla 83</b>	Posibles usos de los residuos de acuerdo con su naturaleza	147
<b>Tabla 84</b>	Prestadores de servicio de aseo reportados al SUI, 2019	151
<b>Tabla 85</b>	Estaciones de Clasificación y Aprovechamiento ECAS en Medellín	158
<b>Tabla 86</b>	Parámetros geodésicos para la estructuración de la información espacial del proyecto	159

## Lista de gráficos

		PÁGINA
<b>Gráfico 1</b>	Total, de las muestras por los 5 corregimientos. Respuesta de 257 Viviendas Encuestadas	44
<b>Gráfico 2</b>	Estratificación en Corregimientos	46
<b>Gráfico 3</b>	Producción Per-cápita	60
<b>Gráfico 4</b>	Comparación del PPC de estudios de caracterización de residuos sólidos de los años 2006, 2009, 2011, 2014 y 2018	64
<b>Gráfico 5</b>	Tendencia de la PPC promedio para el sector residencial en Medellín	64
<b>Gráfico 6</b>	Dispersión datos de PPC para el estrato 1 en Medellín	68
<b>Gráfico 7</b>	Dispersión de datos de la PPC para el estrato 2 en Medellín	68





<b>Gráfico 8</b>	Dispersión de datos de la PPC para el estrato 3 en Medellín	<b>69</b>
<b>Gráfico 9</b>	Dispersión de datos de la PPC para el estrato 4 en Medellín	<b>69</b>
<b>Gráfico 10</b>	Dispersión de datos de la PPC para el estrato 5 en Medellín	<b>70</b>
<b>Gráfico 11</b>	Dispersión de datos de la PPC para el estrato 6 en Medellín	<b>70</b>
<b>Gráfico 12</b>	Cambios de estratificación según 1578 encuestas realizadas en el sector residencial en Medellín	<b>73</b>
<b>Gráfico 13</b>	Comparativo de los resultados de la composición física de los residuos en los cinco corregimientos de Medellín	<b>83</b>
<b>Gráfico 14</b>	Comparativo resultados estudios de caracterización de residuos sólidos 2014 y 2018 para San Cristóbal	<b>84</b>
<b>Gráfico 15</b>	Comparativo resultados estudios de caracterización de residuos sólidos 2014 y 2018 para San Antonio de Prado	<b>84</b>
<b>Gráfico 16</b>	Comparativo resultados estudios de caracterización de residuos sólidos 2014 y 2018 para Altavista	<b>85</b>
<b>Gráfico 17</b>	Comparativo resultados estudios de caracterización de residuos sólidos 2014 y 2018 para San Sebastián de Palmitas	<b>85</b>
<b>Gráfico 18</b>	Comparativo resultados estudios de caracterización de residuos sólidos 2014 y 2018 para Santa Elena	<b>86</b>
<b>Gráfico 19</b>	Comparativo de los resultados consolidados para los cinco corregimientos de los estudios de caracterización del año 2014 y 2018	<b>87</b>
<b>Gráfico 20</b>	Producción de residuos en los cinco corregimientos de Medellín, presentado en peso (kg)	<b>88</b>
<b>Gráfico 21</b>	Comparativo de los resultados por estrato socioeconómicos de la composición de los residuos	<b>91</b>
<b>Gráfico 21</b>	Porcentajes de residuos Biodegradable y Putrescibles por estrato socioeconómico en Medellín -Sector Residencial	<b>93</b>
<b>Gráfico 22</b>	Porcentajes de residuos Plásticos por estrato socioeconómico en Medellín -Sector Residencial	<b>95</b>
<b>Gráfico 23</b>	Porcentaje de los residuos ordinarios e Inertes más significativos por estrato socioeconómico en Medellín – Sector Residencial	<b>97</b>
<b>Gráfico 24</b>	Porcentajes de los residuos peligrosos más significativos por estrato socioeconómico en Medellín -Sector Residencial	<b>98</b>





<b>Gráfico 25</b>	Comparativo de la composición física porcentual de los diferentes estudios de caracterización de residuos sólidos en el sector residencial de Medellín para los años 2009, 2001, 2014 y 2018.	<b>100</b>
<b>Gráfico 26</b>	Comparativo por estrato socioeconómico de la entrega de reciclaje	<b>102</b>
<b>Gráfico 27</b>	Estimación porcentual de los residuos sólidos producidos en Medellín y sus cinco corregimientos	<b>104</b>

### Lista de Ecuaciones

		<b>PÁGINA</b>
<b>Ecuación 1</b>	Tamaño de la Muestra	<b>38</b>
<b>Ecuación 2</b>	Producción per cápita de residuos sólidos	<b>52</b>
<b>Ecuación 3</b>	Densidad de las muestras	<b>53</b>
<b>Ecuación 4</b>	Porcentaje de los componentes de los residuos	<b>54</b>
<b>Ecuación 5</b>	Producción per cápita de cada vivienda	<b>59</b>
<b>Ecuación 6</b>	Producción per Cápita para los corregimientos	<b>60</b>
<b>Ecuación 7</b>	PPC por Estrato	<b>62</b>
<b>Ecuación 8</b>	Producción per Cápita de Medellín	<b>63</b>
<b>Ecuación 9</b>	Cálculo del Poder calorífico Inferior	<b>142</b>
<b>Ecuación 10</b>	Poder calorífico Inferior reemplazando G	<b>143</b>
<b>Ecuación 11</b>	Ecuación de Dulong para el cálculo del Poder Calorífico Inferior	<b>143</b>
<b>Ecuación 12</b>	Ecuación de Ali Khan y Abu Gararah para el cálculo del Poder Calorífico Superior	<b>144</b>
<b>Ecuación 13</b>	Ecuación de Ali Khan y Abu Gararah para el cálculo del Poder Calorífico Inferior	<b>144</b>
<b>Ecuación 14</b>	Ecuación de (KUNITOSHI, 1998) para el cálculo del Poder Calorífico Superior en base Seca	<b>144</b>
<b>Ecuación 15</b>	Ecuación de (KUNITOSHI, 1998) para el cálculo del Poder Calorífico Superior en base Húmeda	<b>145</b>
<b>Ecuación 16</b>	Ecuación de (KUNITOSHI, 1998) para el cálculo del Poder Calorífico Inferior	<b>145</b>





## Lista de Fotografía

		PÁGINA
<b>Fotografía 1</b>	Encuestas y recolección en los Cinco Corregimientos de Medellín	45
<b>Fotografía 2</b>	Recolección en los Cinco Corregimientos de Medellín	46
<b>Fotografía 3</b>	Caracterización de los residuos sólidos en bodega	57
<b>Fotografía 4</b>	Caracterización de residuos en sector Residencial – Residuos orgánicos señalados	94
<b>Fotografía 5</b>	Caracterización de residuos en sector Residencial – Residuos orgánicos señalados	94
<b>Fotografía 6</b>	Caracterización de residuos sector residencial- Residuos de Plásticos señalados	96
<b>Fotografía 7</b>	Presentación y entrega de muestras de residuos al laboratorio	107
<b>Fotografía 8</b>	Transporte de las muestras al laboratorio	108
<b>Fotografía 9</b>	Invitación de Emvarias a usuarios para disposición adecuada de residuos especiales	164
<b>Fotografía 10</b>	Ubicación de publicidad impresa en sitios estratégicos de la ciudad y corregimientos	168
<b>Fotografía 11</b>	Ubicación de publicidad impresa en sitios estratégicos de la ciudad y corregimientos	168
<b>Fotografía 12</b>	Socializaciones con ediles en San Cristóbal	170
<b>Fotografía 13</b>	Socializaciones con líderes ambientales en San Cristóbal	171
<b>Fotografía 14</b>	Corregimiento De San Antonio de Prado Reunión con los ediles	172
<b>Fotografía 15</b>	Reunión con ediles de Palmitas	172
<b>Fotografía 16</b>	Socialización en Santa Elena	174
<b>Fotografía 17</b>	Reunión de socialización en la comuna de Robledo	174
<b>Fotografía 18</b>	Socialización con ediles en biblioteca EPM	175
<b>Fotografía 19</b>	Reunión con la Mesa de Líderes Ambientales	176





## Lista de Ilustraciones

		PÁGINA
<b>Ilustración 1</b>	Diagrama Entidades gubernamentales relacionadas con la normatividad de residuos	21
<b>Ilustración 2</b>	VARIABLES PARA UN SISTEMA URBANO DE ASEO	27
<b>Ilustración 3</b>	Distribución político-administrativa de Medellín	29
<b>Ilustración 4</b>	Crecimiento Poblacional de los territorios	32
<b>Ilustración 5</b>	Mapa poblacional del Municipio de Medellín para el año 2015 (DANE)	33
<b>Ilustración 6</b>	Actores involucrados en la gestión de los residuos	34
<b>Ilustración 7</b>	Cronograma de encuestas y recolección y en el sector residencial de Medellín y sus cinco Corregimientos	43
<b>Ilustración 8</b>	Decodificación de las muestras en las comunas de Medellín para la caracterización	48
<b>Ilustración 9</b>	Formato Producción per cápita de residuos sólidos	52
<b>Ilustración 10</b>	Método del cuarteo	56
<b>Ilustración 11</b>	Diagrama del procedimiento para la caracterización de los residuos sólidos de Medellín y sus corregimientos	57
<b>Ilustración 12</b>	Gráfico Producción de residuos per cápita (kg-Hab/Día), residuos totales dispuesto per cápita y porcentaje de aprovechamiento entre el 2012-2017	65
<b>Ilustración 13</b>	Explicación gráfica de los intervalos de confianza	67
<b>Ilustración 14</b>	Publicidad de la Ruta Recicla en la comuna 14- Sector Residencial y no Residencial	75
<b>Ilustración 15</b>	Publicidad en Página de Facebook de la Alcaldía de Medellín	166
<b>Ilustración 16</b>	Afiche publicitario del proyecto y adhesivo para señalar las viviendas	167
<b>Ilustración 17</b>	IMAN ALUSIVO A LA SEPARACIÓN DE RESIDUOS PARA LAS VIVIENDAS ENCUESTADAS	167
<b>Ilustración 18</b>	Imagen del correo electrónico del Consorcio Residuos Sólidos Medellín	167





<b>Ilustración 19</b>	Estructura general de almacenamiento para el proyecto de caracterización de residuos sólidos en el sector residencial y no residencial del Municipio de Medellín	<b>169</b>
<b>Ilustración 20</b>	Estructura detallada de la Carpeta Geodatabase 1	<b>179</b>
<b>Ilustración 21</b>	Estructura detallada de la Carpeta Geodatabase.2	<b>179</b>
<b>Ilustración 22</b>	Estructura detallada de la Carpeta Geodatabase.3	<b>180</b>
<b>Ilustración 23</b>	Estructura detallada de la Carpeta Geodatabase 3	<b>181</b>
<b>Ilustración 24</b>	Estructura detallada de la Carpeta MXD	<b>182</b>
<b>Ilustración 25</b>	Mapa de las comunas y corregimientos de Medellín con puntos de muestras	<b>183</b>
<b>Ilustración 26</b>	Estructura detallada de la Carpeta DOCUMENTOS	<b>184</b>





## 1. INTRODUCCIÓN

La sociedad consumista actual, genera una cantidad considerable de residuos sólidos; con tal situación, las autoridades competentes, se sienten presionadas a gestionar dichos residuos de manera más sostenible.

Los sistemas de gestión de residuos no han recibido tanta atención en el proceso de planificación de las ciudades como otros sectores, por ejemplo, el agua o la energía. Por lo tanto, las diferencias se pueden observar en la gestión de residuos en la planificación actual de las ciudades (Zaman & Lehmann, 2011).

Los gobiernos de América Latina y el Caribe enfrentan la problemática de la gestión de residuos y sus impactos en un contexto de preocupación mundial por la sostenibilidad económica, ambiental y social de los servicios. Temáticas como la adecuada disposición final de residuos, la difícil y compleja realidad de los trabajadores informales de la basura, la minimización y el reciclado de los residuos, el cambio climático, los mercados de carbono y el rol de las entidades nacionales, regionales y municipales en la planificación y regulación de los servicios, se han convertido, en los principales puntos de discusión de las agendas gubernamentales (Tello Espinoza, Martínez Arce, Daza, Faure, & Terraza, 2010).

En Colombia, la gestión de los residuos sólidos se reglamenta en el decreto 1077 de 2015, y en la Resolución 0754 de 2014, se define el Plan para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, que “es el instrumento de planeación municipal que contiene un conjunto ordenado de objetivos, metas, programas, proyectos, actividades y recursos definidos por el ente territorial para el manejo de los residuos sólidos, basado en la política de gestión integral de los mismos, el cual se ejecutará durante un período determinado, partiendo de 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 y la prestación del servicio de aseo a nivel municipal, evaluado a través de la medición de resultados”.

Un programa adecuado de gestión de los residuos sólidos urbanos debe estar enfocado en el diagnóstico de la problemática a nivel social y ambiental, además debe, identificar alternativas que sustenten la gestión de residuos como: la separación en la fuente, recolección, tratamiento y aprovechamiento de los residuos de acuerdo con su naturaleza, todo esto encaminado al desarrollo de un buen plan o en este caso, una estrategia para la gestión integral de residuos. El éxito de un PGIRS está en la participación, capacitación y educación ambiental de las personas.

Conocer y documentar la cantidad de residuos que se produce en Medellín, es indispensable para definir, diseñar e implementar procesos y planes de gestión, de acuerdo con la naturaleza de los residuos, de ahí, la importancia de saber qué tipo de residuos se generan en la ciudad; así mismo, es importante relacionar la cantidad y el tipo de residuos con otras características socio económicas tales como: la estratificación social, la ubicación geoespacial (comunidades y barrios), la presencia del servicio público de aseo, los proyectos de urbanismo, el ordenamiento vial y territorial, el porcentaje de aprovechamiento de los residuos, la cultura de separación en la fuente y, la generación de residuos especiales y peligrosos, entre otros.

Desde el año 1997 se realizaron los primeros estudios de caracterización de residuos en la ciudad, lo cual ha permitido documentar la evolución histórica en la generación de residuos sólidos, La compañía EEVMM y la Universidad de Antioquia, U de A, celebraron un







convenio interinstitucional (Marzo 17 de 1997 a Agosto 17 de 1998) con el fin de desarrollar el proyecto: “Estudios, diseños y Optimización del Sistema de Producción, Caracterización, Recolección y Transporte de los Desechos Sólidos para el Municipio de Medellín y sus cinco (5) Corregimientos”.

De acuerdo con los criterios de periodicidad del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS 2000, se realizaron diferentes estudios de caracterización para el sector residencial, desarrollados por Emvarias S.A.E.S.P y la Universidad de Medellín durante los años 2007, 2010, 2011; Estas mismas entidades ejecutaron los estudios de caracterización del sector no residencial en los años 2009 y 2011, en el 2014 este estudio lo realizó la Alcaldía de Medellín y la Universidad de Medellín, de acuerdo con lo reglamentado en el Decreto 1077, 2015, artículo 2.3.2.2.3.91, numeral 2 el cual estipula que la realización de la cuantificación y caracterización de los residuos debe hacerse para determinar el potencial de aprovechamiento de acuerdo con sus propiedades y condiciones de mercado.

Todo lo anterior, con el objetivo de tener información actualizada, que refleje la situación real y la complejidad de la ciudad y sus cinco corregimientos en temas importantes como la generación de residuos, separación en la fuente, reciclaje, percepción del ciudadano con respecto a la gestión de los residuos, para la lo cual es indispensable realizar periódicamente la caracterización de los residuos que permita planear y proyectar el servicio público de aseo en la ciudad conforme a las necesidades de la Ciudad.

En esta ocasión, el consorcio Residuos Sólidos Medellín 2018, bajo la supervisión de la Subsecretaria de Servicios Públicos del Municipio de Medellín y bajo el marco del CONTRATO No. 4600077223 de 2018, realizó la caracterización de residuos sólidos de Medellín y sus cinco corregimientos en el sector residencial y no residencial.

En el presente informe, se describen todas las actividades realizadas para lograr los objetivos del contrato, desde la planeación del trabajo de campo, la estrategia social que se usó para divulgar la realización de este, los resultados de la producción de residuos per cápita en Medellín por estrato socioeconómico y la producción per cápita en los cinco corregimientos. Se explican los resultados de la caracterización de las muestras recogidas en las 1293 viviendas entre Medellín y los cinco corregimientos.

Se analizan los resultados de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y fitotóxicos más importantes a la luz de la normatividad colombiana, se reportan los resultados del componente de sistemas de información Geográfica en el desarrollo del contrato y por último se realiza un análisis de los residuos con más potencial de aprovechamiento según su naturaleza y cantidad.





## 2. OBJETIVO GENERAL

Realizar la caracterización de los residuos sólidos generados en el sector residencial del área urbana y rural del Municipio de Medellín y sus cinco corregimientos.

## 3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Elaborar el diagnóstico sobre caracterizaciones realizadas en el municipio de Medellín a partir de la información secundaria disponible en las entidades públicas y privadas involucradas en la gestión de residuos sólidos urbanos.
2. Conocer la composición física química de los residuos sólidos residenciales generados por estrato socioeconómico del Municipio de Medellín y sus cinco corregimientos.
3. Estimar la producción de residuos sólidos per cápita del sector residencial del Municipio de Medellín y sus cinco Corregimientos.

## 4. ALCANCE

Conocer por estrato socioeconómico, la cantidad, composición y características físicas y químicas de los residuos sólidos residenciales que se producen en el municipio de Medellín y sus cinco corregimientos.

“ La digestión anaerobia juega un importante papel en el control de la contaminación y para la **obtención de valiosos recursos: energía y productos con valor agregado.** ”





## 5. JUSTIFICACIÓN

En el marco de la normatividad nacional, en los artículos 88 y 92 (numeral 2) del decreto 2981 de 2013 dictan: "Corresponde a los municipios y distritos elaborar, implementar y mantener actualizado un plan de gestión integral de residuos sólidos PGIRS en el ámbito local o regional según el caso, y que los programas y proyectos allí adoptados deberán incorporarse en los Planes Municipales de Desarrollo Económico, Social y de Obras Públicas."; teniendo en cuenta esto, el municipio de Medellín celebró el CONTRATO No. 4600077223 de 2018, definido como "CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN EL SECTOR RESIDENCIAL Y NO RESIDENCIAL DEL ÁREA URBANA Y RURAL DE MEDELLÍN Y SUS CINCO CORREGIMIENTOS", con el objetivo de identificar la cantidad y composición de los residuos sólidos que se están generando en su municipio y los cinco corregimientos en el sector residencial y no residencial; igualmente en este mismo artículo en el numeral 3 dice que *La formulación e implementación del Plan para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, estará en consonancia con lo dispuesto en los planes de ordenamiento territorial y lo establecido en este decreto. La revisión y actualización es obligatoria y deberá realizarse dentro de los doce (12) meses siguientes al inicio del periodo constitucional del alcalde distrital o municipal.* Lo que hace necesario realizar el estudio de los residuos.

Puntualmente el Decreto 1077 de 2015 en su TÍTULO 2. SERVICIO PÚBLICO DE ASEO, manifiesta las obligaciones y deberes con respecto al tema de aprovechamiento de los residuos sólidos que tienen los municipios y distritos. Textualmente se enuncian los siguientes:

ARTICULO 2.3.2.2.3.89. *"Aprovechamiento en el marco de los PGIRS. Los municipios y distritos al actualizar el respectivo plan de gestión integral de residuos sólidos PGIRS están en la obligación de diseñar, implementar y mantener actualizados, programas y proyectos sostenibles de aprovechamiento de residuos sólidos. En desarrollo de esta actividad deberán dar prioridad a los estudios de factibilidad sobre aprovechamiento de residuos. (Decreto 2981 de 2013, art. 90)".*

ARTICULO 2.3.2.2.3.90. *"Programa de aprovechamiento. En el marco de la Gestión Integral de Residuos Sólidos, el municipio o distrito deberá diseñar implementar y mantener actualizado un programa de aprovechamiento de residuos sólidos como parte del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos -PGIRS.*

*Parágrafo. A las autoridades ambientales competentes, les corresponde realizar el control y seguimiento de la ejecución del PGIRS, exclusivamente en lo relacionado con las metas de aprovechamiento y las autorizaciones ambientales que requiera el prestador del servicio de aseo, de conformidad con la normatividad ambiental vigente. (Decreto 2981 de 2013, art. 91)".*

Y particularmente para justificar técnica y jurídicamente la realización de este estudio de caracterización de residuos, se enuncia el ARTICULO 2.3.2.2.3.91. Viabilidad de los proyectos de aprovechamiento. "El ente territorial en el marco de los PGIRS deberá determinar la viabilidad de los proyectos de aprovechamiento de residuos, teniendo en cuenta aspectos sociales, económicos, técnicos, operativos, financieros y comerciales, así como los beneficios, entre otros los ambientales". Numeral 2: La realización de la cuantificación y caracterización de los residuos debe hacerse para determinar el potencial de aprovechamiento de acuerdo con sus propiedades y condiciones de mercado.





## 6. NORMATIVIDAD ASOCIADA QUE RIGE LA CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

En Colombia, un residuo sólido o desecho es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final. Los residuos sólidos se dividen en aprovechables y no aprovechables (Decreto 1077, 2015).

**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 (Decreto 1077, 2015).

**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 (Decreto 1077, 2015).

La gestión de los residuos sólidos se reglamenta en el marco del Plan para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, descrito en el (Decreto 1077, 2015) “*Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio*”. En el artículo 2.3.2.2.3.87, estipula que los municipios y distritos, deberán elaborar, implementar y mantener actualizado un plan municipal o distrital para la gestión integral de residuos o desechos sólidos en el ámbito local y regional según el caso. El mismo decreto en el Título 2, Servicio Público de Aseo, en el artículo 2.3.2.1.1. en el numeral 32, se cita el (Decreto 2981, 2013) define que el 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 sólidos, basado 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 y la prestación del servicio de aseo a nivel municipal o regional, evaluado a través de la medición de resultados. Corresponde a la entidad territorial la formulación, implementación, evaluación, seguimiento y control y actualización del PGIRS citado en el Decreto 1077, 2015.

La implementación de los programas y proyectos establecidos en el PGIRS deberá incorporarse en los planes de desarrollo del nivel municipal y distrital, asignando los recursos correspondientes para cumplir las metas que se pacte el municipio o distrito. A su vez, la formulación e implementación del Plan para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS, deberá ir en consonancia con lo dispuesto en los planes de ordenamiento territorial y lo establecido en el decreto 1077 de 2015, que también hace énfasis en los estudios de factibilidad para la elaboración de los PGIRS, otro tema relevante es que las autoridades distritales y municipales deberán garantizar la participación de los recicladores de oficio en la formulación, implementación y actualización y que los entes territoriales no podrán delegar en la persona prestadora del servicio público de aseo la elaboración, implementación y





actualización de los PGIRS. Que los Ministerios de Vivienda, Ciudad y Territorio y Ambiente y Desarrollo Sostenible deberán adoptar la metodología para la elaboración de los PGIRS.

Colombia ha legislado generando una serie de normas que van desde las leyes, decretos, resoluciones, actos administrativos, entre otros documentos, que han trascendido en el tiempo debido a la realidad y dinamismo de las ciudades y el comportamiento de sus ciudadanos.

A continuación, se presenta detallado el marco normativo de la gestión integral de los residuos sólidos a la fecha (30/07/2018). Para entender la normatividad de los residuos sólidos en Colombia se debe tener en cuenta que éstas se construyen desde diferentes entidades gubernamentales, ver Ilustración 1.

**Ilustración 1. Diagrama Entidades gubernamentales relacionadas con la normatividad de residuos**



**Fuente:** Elaboración propia

En las **Tabla 1, Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4**, se relacionan las leyes y decretos que han legislado desde los diferentes instancias como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, el Departamento Nacional de Planeación y las instituciones locales, como la Alcaldía de Medellín y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, la normatividad relacionada con los residuos, como lineamientos técnicos para una adecuada gestión de los residuos en Colombia mediante los Planes de Gestión Integral de los Residuos Sólidos, PGIRS, temas como el manejo de los residuos peligrosos, como hospitalarios, residuos especiales como los residuos generados por la actividad de construcción y demolición – RCD, Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, igualmente se muestra la legislación asociada al pos consumo como se describe en la Resolución 1397 del 27/07/2018, por la cual se adiciona a la resolución 668 de 2016 sobre el uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones, esta norma es elaborada para minimizar la cantidad de residuos plásticos que se producen en el país, entre otros temas.





Tabla 1. Normatividad de residuos desde Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

<b>MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE</b>	<p><b>Resolución 754 de 25/11/2014</b> 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, PGIRS.</p>	<p>Mediante esta resolución los municipios y distritos deben adoptar la metodología para la para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS. Esta metodología no aplica para la gestión de los residuos peligrosos. Menciona la articulación de los PGIRS con los planes o esquemas de ordenamiento territorial, de aprovechamiento de los residuos sólidos, de la incorporación de los PGIRS en los Planes de desarrollo municipal, del seguimiento que se debe hacer a los PGIRS en cabeza del alcalde, para informar del avance en el cumplimiento de las metas del PGIRS, entre otros compromisos.</p>
	<p><b>Decreto 351 de 19/02/2014</b> Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en la atención en salud y otras actividades.</p>	<p>Reglamenta ambiental y sanitariamente la gestión integral de los residuos generados en la atención en salud y otras actividades.</p>
	<p><b>Decreto 1076 de 26/03/2015</b> Por medio de la cual se expide el decreto único reglamentario del sector ambiental y desarrollo sostenible.</p>	<p>Políticas y regulaciones a las que se sujetarán la recuperación, conservación, protección, ordenamiento, manejo, uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables y del ambiente de la Nación, a fin de asegurar el desarrollo sostenible, sin perjuicio de las funciones asignadas a otros sectores, en el Título 6, residuos peligrosos, capítulo 1, sección 1.</p>
	<p><b>Resolución 472 de 28/02/2017</b> Por la cual se reglamenta la gestión integral de los residuos sólidos generados en las actividades de construcción y demolición – RCD y se dictan otras disposiciones.</p>	<p>Regula el manejo de residuos de las actividades de construcción y demolición RCD</p>
	<p><b>Decreto 284 de 15/02/2018</b> Por el cual se adiciona el Decreto 1076 de 2015, Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con la Gestión Integral de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos -RAEE Y se dictan otras disposiciones”</p>	<p>El Libro 2, Parte 2 del Decreto 1076 de 2015, Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, tendrá un nuevo Título 7 A sobre la Gestión Integral de los Residuos de Aparatos Eléctricos y Electrónicos (RAEE)</p>





	<p><b>Resolución 1397 de 27/07/2018</b> Por la cual se adiciona a la resolución 668 de 2016 sobre el uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones.</p>	<p>Complementos de la resolución 668 de 2016 de bolsas plásticas</p>
--	---	--

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 2. Normatividad de residuos desde Ministerio de Vivienda, Ciudad Y Territorio**

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO	<p><b>Decreto número 2981 de diciembre de 2013</b> Por el cual se establece el Reglamento de carácter General sobre el servicio público de Aseo</p>	<p>El presente decreto aplica al servicio público de aseo de que trata la Ley 142 de 1994, a las personas prestadoras de residuos aprovechables y no aprovechables, a los usuarios, a la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, a la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico.</p>
	<p><b>RESOLUCIÓN 288 DE 2015 (abril 27)</b> Por la cual se establecen los lineamientos para la formulación de los Programas de Prestación del Servicio Público de Aseo</p>	<p>Definir los lineamientos para la formulación de los Programas para la Prestación del Servicio Público de Aseo en cada área de prestación, de acuerdo con lo señalado en el Decreto número 2981 de 2013.</p>
	<p><b>Decreto 1077 de 26/05/2015</b> “Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio</p>	<p>Específica y textualmente en el Título 2. Servicio público de aseo. <b>“ARTICULO 2.3.2.1.1. Definiciones. 57. Caracterización de los residuos.</b> Determinación de las características cualitativas y cuantitativas de los residuos sólidos, identificando sus contenidos y propiedades. (Decreto 838 de 2005, art. 1).</p> <p><b>ARTICULO 2.3.2.2.3.89. Aprovechamiento en el marco de los PGIRS. ARTICULO 2.3.2.2.3.90. Programa de aprovechamiento. ARTICULO 2.3.2.2.3.91. Viabilidad de los proyectos de aprovechamiento.</b></p>
	<p><b>RESOLUCIÓN 0276 DE 29/04/2016</b> Por el cual se reglamentan los lineamientos del esquema operativo de la actividad del servicio público de aseo y del régimen transitorio para formalización de los recicladores de oficio acorde con lo establecido en el capítulo 5 del título 2 de la parte 3 del decreto 1077 de 2015 adicionado por el decreto 596 del 11 de abril de 2016</p>	<p>Esta resolución presenta Directrices que deben realizar para la formalización y metas de los recicladores de oficio.</p>





MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO

<p><b>Resolución CRA 720 de 09/06/2015</b>          Por la cual se establece el régimen de regulación tarifaria al que deben someterse las personas prestadoras del servicio público de aseo que atiendan en municipios de más de 5.000 suscriptores en áreas urbanas, la metodología que deben utilizar para el cálculo de las tarifas del servicio público de aseo y se dictan otras disposiciones.</p>	<p>Esta resolución regula el cobro del servicio público aseo en municipios de más de 5.000 suscriptores en áreas urbanas.</p>
<p><b>Decreto 596 de 11/04/2016</b>          Por el cual se 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.</p>	<p>Agregan un nuevo capítulo en el decreto 1077 de 2015 el cual tendrá un nuevo capítulo con respecto a los servicios públicos de aseo. Además, está relacionado con al esquema operativo de la actividad de recuperación de materiales de los flujos de residuos sólidos, la formalización laboral de los agentes vinculados con esta actividad y al método tarifario establecido.</p>
<p><b>Resolución 0330 de 2017</b>          “Por la cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS y se derogan las resoluciones 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”.</p>	<p>Aplica a prestadores de servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo, a las entidades formuladoras de proyectos de inversión en el sector, entes de vigilancia y control, a las entidades territoriales y las demás con funciones en el sector de agua potable y saneamiento básico, en el marco de la Ley 142 de 1994.          Así como a diseñadores, constructores, interventores, operadores, entidades o personas contratantes que elaboren o adelanten diseños, ejecución de obras, operen y mantengan obras, instalaciones o sistemas propios del sector de agua y saneamiento básico.          Capítulo 6. Sistemas de aseo urbano.</p>
<p><b>RAS 2000 de 2017</b>          Reglamento Técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS</p>	<p>Título F Sistemas de aseo urbano</p>

Fuente: Elaboración propia







Tabla 3. Normatividad de residuos desde la Dirección Nacional De Planeación

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN	<p><b>CONPES 3819 de 2014</b> Política Nacional para consolidar el sistema de ciudades en Colombia</p>	<p>El Departamento Nacional de Planeación y el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible desarrollaran documentos con el objetivo de incentivar el aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos y la gestión de un sistema de ciudades con una visión sostenible.</p>
	<p><b>Documento CONPES 3530 23/06/2008</b> Lineamientos y estrategias para fortalecer el servicio público de aseo en el marco de la gestión integral de residuos sólidos.</p>	<p>los lineamientos de política para el sector de aseo, los cuales permitirán a todos los actores involucrados encaminar sus acciones para fortalecer la prestación de este servicio, en el marco de la gestión integral de los residuos sólidos.</p>
	<p><b>Documento CONPES 3874 21/12/ 2016</b> Política Nacional Para La Gestión Integral de Residuos Sólidos</p>	<p>Presenta las directrices para la Gestión Integral de los Residuos Solidos</p>
	<p><b>Ley 1753 09/06/2015</b> por la cual se expide el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 “Todos por un nuevo país”</p>	<p>Capítulo VI: Crecimiento verde</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4. Normatividad de residuos desde ENTIDADES E INSTITUCIONES REGIONALES y LOCALES

ALCALDÍA DE MEDELLÍN Y ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ	<p><b>Resolución Metropolitana 879 de 26/09/ 2007</b> Por medio de la cual se adopta el Manual para el Manejo Integral de Residuos en el Valle de Aburrá como instrumento de autogestión y auto regulación.</p>	<p>Presenta Manual para el manejo de integral de residuos en el Valle de Aburrá.</p>
	<p><b>Decreto 0440 de 30/30/2009</b> Por medio del cual se adopta el manual para el manejo integral de residuos sólidos (PMIRS) del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y se dictan disposiciones generales para la gestión integral de residuos sólidos en el Municipio de Medellín.</p>	<p>Otorga lineamientos para elaborar el Plan de Manejo Integral de Residuos para el Valle de Aburrá.</p>





<p><b>Decreto 2059 de 18/12/2015</b>          Por el cual se adopta la actualización del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos – PGIRS – del Municipio de Medellín</p>	<p>Este decreto adopta el documento “Actualización Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos PGIRS del Municipio de Medellín 2015, Convenio de asociación No. 4600059602” De conformidad con el artículo 3 de Coordinación, Implementación y seguimiento del PGIRS: Corresponde a la Subsecretaría de Servicios Públicos, perteneciente a la Secretaría de Gestión y Control Territorial, la formulación, seguimiento, evaluación y actualización el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos-PGIRS</p>
<p><b>Plan de desarrollo local del Municipio de Medellín 2016-2019 “Cuenta con vos”</b></p>	<p>Dimensión estratégica “Una apuesta de ciudad por el cuidado del medio ambiente”, en el punto 7.1.4. Gestión integral de Residuos Sólidos.</p>

**Fuente:** Elaboración propia

Se reconoce el esfuerzo del país y de la ciudad de Medellín por incluir dentro de sus planes de gobierno la gestión de los residuos, ya que de esta manera y mediante estos programas, es que se materializan todas las acciones y los avances que ha tenido Medellín en el tema de la gestión de sus residuos. Por ejemplo, a nivel nacional, el Capítulo VI: *Crecimiento verde, dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2018-2022 “Pacto por Colombia, Pacto por la Equidad”* y en el ámbito local, en el punto 7.1.4. Gestión integral de Residuos Sólidos en el Plan de desarrollo local del Municipio de Medellín 2016-2019 “MEDELLÍN CUENTA CON VOS”, se enuncia la dimensión estratégica *“Pacto por la sostenibilidad: producir conservando y conservar produciendo”*, que dentro de sus objetivos y estrategias se destacan el numeral 3 *“acelerar la economía circular como base para la reducción reutilización y reciclaje de los residuos sólidos”*, que a su vez en el literal b enuncia el aumento de tratamiento, reciclaje y tratamiento de residuos sólidos.

Lo anterior tiene especial relevancia ya que dentro de los factores que se deben considerar para que un proyecto de aprovechamiento sea viable según el Decreto 1077 de 2015 ARTICULO 2.3.2.2.3.91. Viabilidad de los proyectos de aprovechamiento está el factor número 2, que remite a la *“realización de la cuantificación y caracterización de los residuos para determinar el potencial de aprovechamiento, de acuerdo con sus propiedades y condiciones de mercado”*; de ahí que se justifique y cobre aún más importancia realizar este tipo de proyectos para mantener actualizado el PGIRS de la ciudad.

Uno de los textos normativos que técnicamente justifican este tipo de estudios en el ámbito de la gestión de residuos sólidos, es el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS, reglamentado en la Resolución Número 0330, 2017 expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio; en este documento se reglamentan los requisitos técnicos que se deben cumplir en las etapas de planeación, diseño construcción, puesta en





marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación de la infraestructura relacionada con los servicios públicos de acueducto, alcantarillado y aseo.

Puntualmente en el Capítulo 6. Sistemas de Aseo urbano, se detallan los requisitos técnicos obligatorios para el diseño de sistemas de recolección y transporte con y sin aprovechamiento, estaciones de transferencia con y sin aprovechamiento, incineración, rellenos sanitarios que forman parte del sistema de aseo urbano y en el Artículo 221 de este capítulo, se ilustra que para el diseño de actividades de aprovechamiento de los residuos sólidos, se deben establecer la viabilidad socio-económica, técnica, financiera y ambiental de éstas, y estar en concordancia con el PGIRS del municipio, además de tener en cuenta unos criterios mínimos como:

1. Caracterización de los residuos de interés para el aprovechamiento, teniendo en cuenta tecnologías de acondicionamiento y transformación que generen valor agregado y un mercado para los productos obtenidos.
2. Estudios de mercado (Oferta, demanda, precios y frecuencia de venta)
3. Incorporar el análisis tarifario. (Resolución Número 0330, 2017)

De acuerdo con el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO F Sistemas de Aseo Urbano/, 2012, la caracterización de los residuos se define como la “*Determinación de las características cualitativas y cuantitativas de los residuos sólidos, identificando sus contenidos y propiedades de interés con una finalidad específica*”.

Esta actividad hace parte del Procedimiento particular para el desarrollo de sistemas de aseo urbano específicamente en el numeral **F1.4.1 Selección del Sistema**, cuyo objetivo es evaluar condiciones particulares de la población objetivo de cada proyecto, teniendo en cuenta, otros usuarios como los sectores comerciales, industrial, y en general identificar el mercado potencial para los productos que se obtengan mediante sistema con aprovechamiento viables.

Las variables que se deben tener en cuenta para un sistema de aseo urbano se pueden observar en la Ilustración 2

### Ilustración 2. Variables para un sistema urbano de Aseo.



**Fuente:** Elaboración propia, tomado de (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO F Sistemas de Aseo Urbano/, 2012)





Específicamente en el numeral **F1.4.1.3 Caracterización de los residuos sólidos**, se provee información acerca de las propiedades físicas, químicas y biológicas que deben analizarse según el nivel de complejidad del servicio y el tipo de sistema a diseñar. Además, se recomienda realizar los métodos de ensayo bajo las normas técnicas colombianas o normas técnicas internacionales, cuando las primeras no existan.

Es el numeral **F1.4.2.8 Frecuencia de los ensayos**, el cual técnicamente justifica la realización de esta caracterización de residuos en Medellín ya que enuncia cinco situaciones en las que se debe realizar una caracterización de residuos, además de las entidades que deben realizarlas que son el Municipio o la entidad prestadora del servicio de aseo o quien se encargue de la planificación y diseños del sistema de aseo, estas situaciones son:

- En la etapa de planificación y pre diseño de un sistema de manejo de residuos sólidos
- En la etapa de diseño definitivo de un sistema de manejo de residuos sólidos
- Cuando se requiera optimizar un sistema de residuos sólidos
- Al menos una vez cada año
- Siempre que las condiciones de la generación cambien (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO F Sistemas de Aseo Urbano/, 2012)

La Norma Técnica Colombiana GTC 24 , 2009 propone la Guía para la separación en la fuente de residuos sólidos, que permite obtener una mejor calidad de los residuos optimizando su aprovechamiento o disposición final. En el punto 4 de criterios para la separación en la fuente, está señalada la orientación para la separación de residuos en la fuente por tipos de residuos y según su clasificación. Lo anterior, apoya la justificación técnica de realizar una caracterización de residuos sólidos, toda vez que el aprovechamiento de los residuos dependerá fundamentalmente de la naturaleza de estos, lo que se obtiene con una caracterización y que se encuentren en un buen estado, es decir, que la separación en la fuente se aplique adecuadamente para no comprometer su potencial de aprovechamiento.

Por lo anterior se justifica realizar la caracterización de los residuos en el Municipio de Medellín y sus corregimientos, y a su vez esto indica que es un tema de importancia para la alcaldía, para la ciudadanía y que se debe seguir trabajando, actualizando datos, mejorando la gestión en todos los ámbitos que indica el Decreto 1077 de 2015 en el título 2, como la recolección, transporte, aprovechamiento de los residuos según su naturaleza y el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO F Sistemas de Aseo Urbano/, 2012, entre otros.





## 7. CLASIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN SUMINISTRADA

### 7.1. Herramientas para la recopilación de la información

La información utilizada en la elaboración del diagnóstico sobre las caracterizaciones realizadas en el Municipio de Medellín es de carácter secundario tomada de diferentes fuentes oficiales, como los planes de acción de cada comuna, el PGIRS de Medellín 2016-2027 y su última actualización, El Plan de desarrollo de “Medellín Cuenta con vos 2016-2019”, el reglamento Técnico del Sector da Agua Potable y Saneamiento Básico: Título F Sistemas de Aseo Urbano.

Informe final de la caracterización de los residuos realizada por la Universidad de Medellín en el 2014, de este informe se tomaron los resultados más relevantes para el diagnóstico, además, se tomó como base para realizar el diseño muestral tanto en el sector residencial como no residencial; en el sector residencial, se tuvo en cuenta no repetir los barrios de la ciudad en donde ya se hizo el muestreo, con el fin de conocer la dinámica de producción de residuos en otros barrios y comunas de la ciudad para complementar la caracterización de los residuos sólidos, cada vez que se realice este estudio.

- Aplicativo de proyecciones del PGIRS 2015 (ALCALDÍA DE MEDELLÍN- UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN, 2015); de aquí se tomaron datos poblacionales y de habitantes por estrato para el diseño muestral para el sector residencial.
- Prestación de Servicios para Recolección, Transporte y Aprovechamiento de la Fracción Reciclable y Orgánica de los Residuos Sólidos Generados en el Corregimiento de Altavista. 2017.
- Prestación de Servicios de Apoyo a la Gestión para Recolección, Transporte y Aprovechamiento de la Fracción Reciclable y Orgánica de los Residuos Sólidos Generados en el Corregimiento de Santa Elena. 2017
- Informe técnico de evaluación de posibles sitios para la disposición final y contingencia de residuos sólidos, Disposición Final. 2017
- Informe técnico de la evaluación de sitios y zonas urbanas, periurbanas y rurales de difícil acceso, zonas de difícil acceso, para la gestión integral de los residuos sólidos en el Municipio de Medellín. 2017

De los informes mencionados se tomaron los datos más relevantes que a nuestro juicio sirvieron de insumo informativo para realizar en los informes siguientes un adecuado análisis comparativo de los datos.

La información que se discutió en este aparte se clasificó teniendo en cuenta la división político-administrativa del Municipio de Medellín y sus cinco corregimientos, de manera que se realizó una breve descripción de cada zona, sus barrios, y algunos aspectos importantes que sirvió para realizar un diagnóstico más acertado de la ciudad en cuanto a la generación, transporte, recolección y aprovechamiento de los residuos.

### 1.2. División político-administrativa de medellín

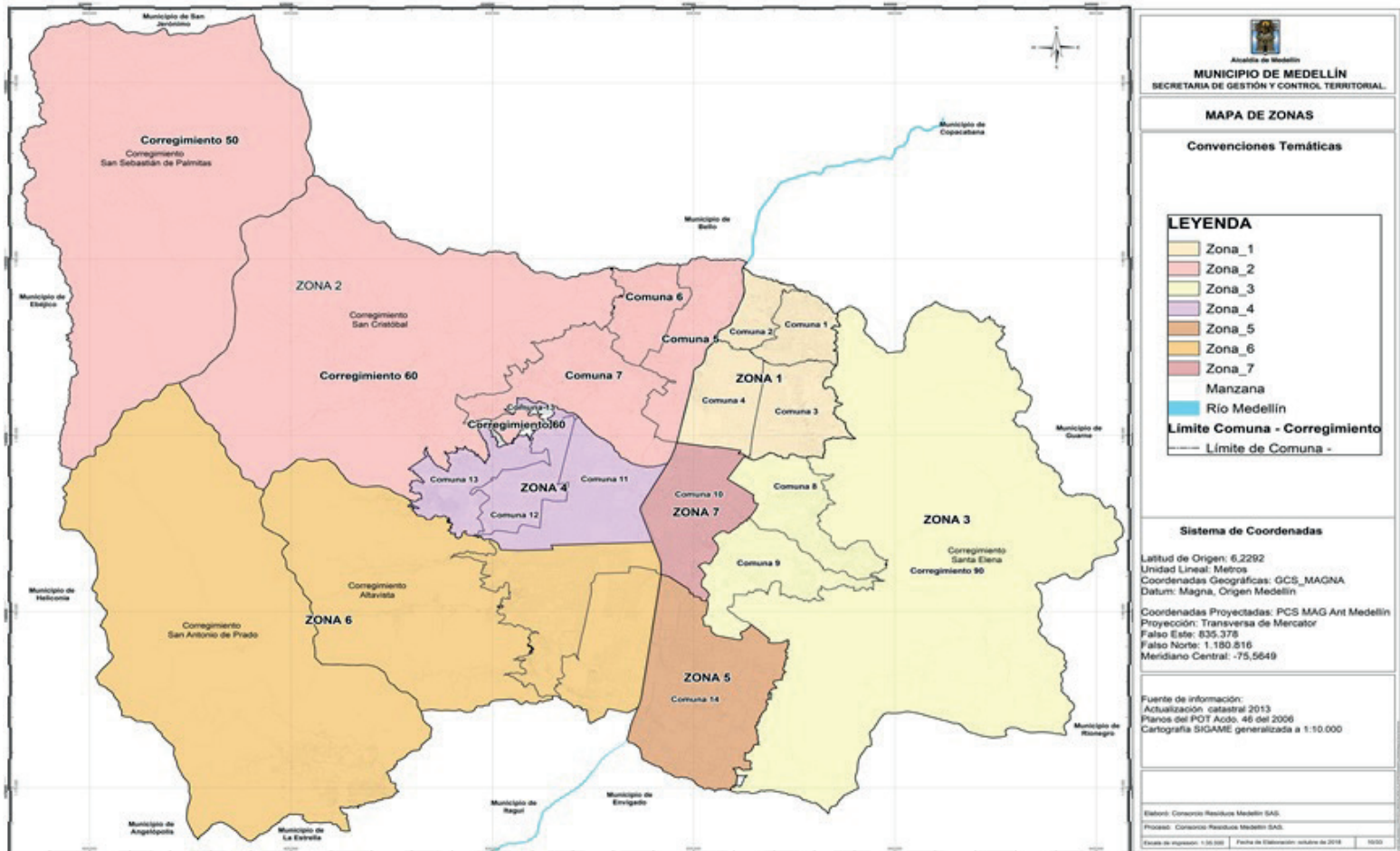
Según la distribución político-administrativa de Medellín, la zona urbana está dividida en 16 comunas, que se dividen a su vez en 249 barrios urbanos oficiales y la zona rural está





conformada por cinco corregimientos: Altavista, Santa Elena, San Sebastián de Palmitas, San Antonio de Prado y San Cristóbal, también cuenta con 20 áreas institucionales (ALCALDÍA DE MEDELLÍN, 2018). En la Ilustración 3 se muestra un mapa con esta distribución y en la Tabla 5, se describen las comunas y sus barrios.

Ilustración 3. Distribución político-administrativa de Medellín



INFORME DE LA CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN EL SECTOR RESIDENCIAL DEL ÁREA URBANA Y RURAL DEL MUNICIPIO DE MEDELLÍN Y SUS CINCO CORREGIMIENTOS



Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5. Distribución político-administrativa de Medellín**



COMUNA	BARRIOS
1 - Popular	Santo Domingo Sabio N° 1, Santo Domingo Sabio N° 2, Popular, Granizal, Moscú N° 2, Villa Guadalupe, San Pablo, Aldea Pablo VI, La Esperanza N° 2, El Compromiso, La Avanzada, Carpinelo.
2 - Santa cruz	La Isla, El Playón de Los Comuneros, Pablo VI, La Frontera, La Francia, Andalucía, Villa del Socorro, Villa Niza, Moscú N° 1, Santa Cruz, La Rosa.
3 - Manrique	La Salle, Las Granjas, Campo Valdes N° 2, Santa Inés, El Raizal, El Pomar, Manrique, Central N° 2, Manrique Oriental, Versalles N° 1, Versalles N° 2, La Cruz, Oriente, Maria Cano – Carambolas, San José La Cima N° 1, San José La Cima N° 2
4 - Aranjuez:	Berlín, San Isidro, Palermo, Bermejál - Los Álamos, Moravia, Sevilla, San Pedro, Manrique Central N° 1, Campo Valdes N° 1, Las Esmeraldas, La Piñuela, Aranjuez, Brasilia, Miranda.
5 - Castilla:	Toscaza, Las Brisas, Florencia, Tejelo, Boyacá, Héctor Abad Gómez, Belalcazar, Girardot, Tricentenario, Castilla, Francisco Antonio Zea, Alfonso López, Caribe.
6 - Doce de Octubre:	Santander, Doce de Octubre N° 1, Doce de Octubre N° 2, Pedregal, La Esperanza, San Martín de Porres, Kennedy, Picacho, Picachito, Mirador del Doce, Progreso N° 2, El Triunfo.
7 - Robledo	Cerro El Volador, San Germán, Barrio Facultad de Minas, La Pilarica, Bosques de San Pablo, Altamira, Córdoba, López de Mesa, El Diamante, Aures N° 1, Aures N° 2, Bello Horizonte, Villa Flora, Palenque, Robledo, Cucaracho, Fuente Clara, Santa Margarita, Olaya Herrera, Pajarito, Monteclaro, Nueva Villa de La Iguaná.
8 - Villa Hermosa:	Villa Hermosa, La Mansión, San Miguel, La Ladera, Batallón Girardot, Llanaditas, Los Mangos, Enciso, Sucre, El Pinal, Trece de Noviembre, La Libertad, Villa Tina, San Antonio, Las Estancias, Villa Turbay, La Sierra (Santa Lucía - Las Estancias), Villa Lilliam.
9 - Buenos Aires:	Juan Pablo II, Barrios de Jesús, Bombona N° 2, Los Cerros El Vergel, Alejandro Echevarría, Barrio Caicedo, Buenos Aires, Miraflores, Cataluña, La Milagrosa, Gerona, El Salvador, Loreto, Asomadera N° 1, Asomadera N° 2, Asomadera N° 3, Ocho de Marzo.
10 - La Candelaria:	Prado, Jesús Nazareno, El Chagualo, Estación Villa, San Benito, Guayaquil, Corazón de Jesús, Calle Nueva, Perpetuo Socorro, Barrio Colón, Las Palmas, Bombona N° 1, Boston, Los Ángeles, Villa Nueva, La Candelaria, San Diego.
11 - Laureles -	Estadio: Carlos E. Restrepo, Suramericana, Naranjal, San Joaquín, Los Conquistadores, Bolivariana, Laureles, Las Acacias, La Castellana, Lorena, El Velódromo, Estadio, Los Colores, Cuarta Brigada, Florida Nueva.





COMUNA	BARRIOS
12 - La América	Ferrini, Calasanz, Los Pinos, La América, La Floresta, Santa Lucía, El Danubio, Campo Alegre, Santa Mónica, Barrio Cristóbal, Simón Bolívar, Santa Teresita, Calasanz Parte Alta.
13 - San Javier	El Pesebre, Blanquizal, Santa Rosa de Lima, Los Alcázares, Metropolitano, La Pradera, Juan XIII - La Quebra, San Javier N° 2, San Javier N° 1, Veinte de Julio, Belencito, Betania, El Corazón, Las Independencias, Nuevos Conquistadores, El Salado, Eduardo Santos, Antonio Nariño, El Socorro, La Gabriela.
14 - El Poblado	Barrio Colombia, Simesa, Villa Carlota, Castropol, Lalinde, Las Lomas N° 1, Las Lomas N° 2, Altos del Poblado, El Tesoro, Los Naranjos, Los Balsos N° 1, San Lucas, El Diamante N° 2, El Castillo, Los Balsos N° 2, Alejandría, La Florida, El Poblado, Manila, Astorga, Patio Bonito, La Aguacatala, Santa María de Los Ángeles.
15 - Guayabal:	Tenche, Trinidad, Santa Fe, Shellmar, Parque Juan Pablo II, Campo Amor, Noel, Cristo Rey, Guayabal, La Colina
16 - Belén	Fátima, Rosales, Belén, Granada, San Bernardo, Las Playas, Diego Echavarría, La Mota, La Hondonada, El Rincón, La Loma de Los Bernal, La Gloria, Altavista, La Palma, Los Alpes, Las Violetas, Las Mercedes, Nueva Villa de Aburrá, Miravalle, El Nogal - Los Almendros, Cerro Nutibara.

**Fuente:** Tomado de (Informe de calidad de vida de Medellín 2017, 2018)

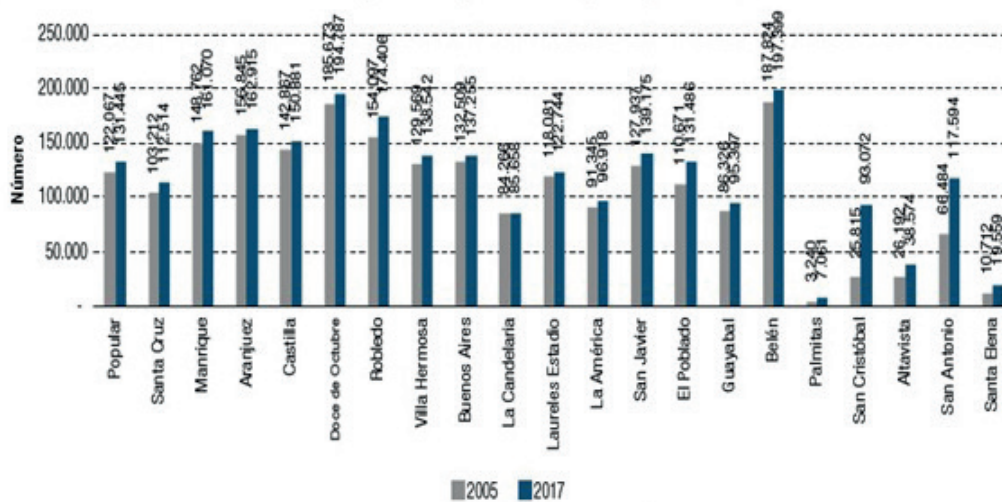
A 2017, la población en Medellín se ubicó en 2.508.452, de los cuales 1.180.538 fueron hombres y 1.327.914 fueron mujeres. Es decir, para este año el 47,1% de la población fueron hombres y el 52,9% fueron mujeres. Por su parte, en 2005 la población de la ciudad fue de 2.214.494 y la participación de los hombres fue de 47,1% y la de las mujeres fue de 52,9%. En la Ilustración 4, se presenta la proyección de crecimiento poblacional para Medellín desde 2005 a 2017 (Informe de calidad de vida de Medellín 2017, 2018)







Ilustración 4. Crecimiento Poblacional de los territorios



Fuente: DANE. Proyecciones de población con base en Censo 2005

**Fuente:** (Informe de calidad de vida de Medellín 2017, 2018) tomado de DANE, proyecciones de población con base en Censo 2005

En esta Ilustración, se evidencia que, La Candelaria (85.658), Guayabal (95.397) y La América (96.918) fueron las comunas que menor población albergaron en 2017, por su parte, la comuna de Robledo ha sido la tercera más poblada en 2017. El resto de las comunas se ubicaron muy cerca a la media de la zona urbana de la ciudad (Informe de calidad de vida de Medellín 2017, 2018).

Además, es importante mencionar que Medellín es una ciudad en constante crecimiento, en donde la producción de residuos es directamente proporcional al crecimiento poblacional, por eso se hace necesario tener políticas públicas claras, concisas, pertinentes y adecuadas al dinamismo de la ciudad que respondan a los retos que enfrenta actualmente.

### 7.3. Servicio publico de aseo en la ciudad

La Empresa de servicios Emvarias SA ESP, es la empresa prestadora del servicio público aseo de la ciudad de Medellín y sus cinco corregimientos. Mediante la integración de los procesos de recolección, transporte y disposición final de residuos sólidos urbanos, esta empresa aporta al mejoramiento y desarrollo en torno a la calidad de vida de los habitantes donde presta sus servicios. (Empresas Varias de Medellín SAE.S.P)

Para Emvarias y desde el punto de vista operacional, la ciudad está dividida en 7 grandes centros de producción denominados zonas, como se presenta a continuación:

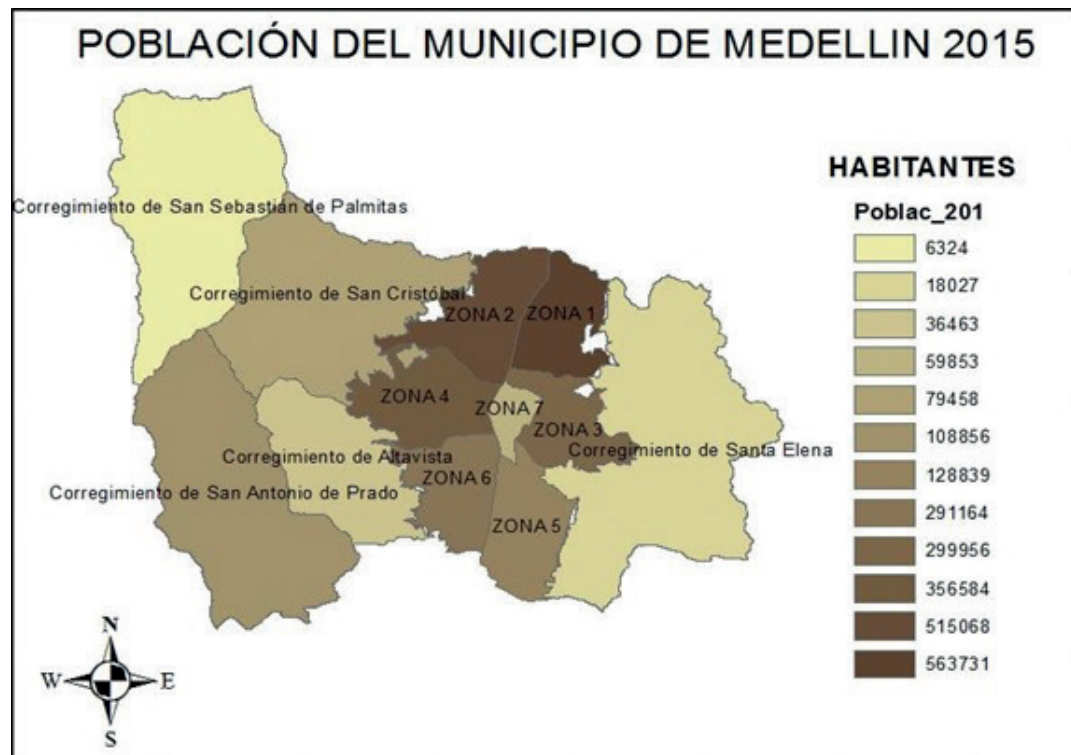




- **Zona 1:** Sector Nororiental (Comunas 1, 2, 3, 4).
- **Zona 2:** Sector Noroccidental (Comunas 5, 6, 7, corregimiento Palmitas y San Cristóbal).
- **Zona 3:** Sector Oriental (Comunas 8, 9, corregimiento Santa Elena).
- **Zona 4:** Sector Occidental (Comunas 11,12, 13).
- **Zona 5:** Sector Suroriental (Comuna 14).
- **Zona 6:** Sector Suroccidental (Comunas 15, 16, corregimiento Altavista y San Antonio de Prado).
- **Zona 7:** Centro (Comuna 10).

En la Ilustración 5, se muestra la distribución de población en el Municipio de Medellín para el año 2015, tanto para su suelo urbano como rural. Estos datos de población fueron tomados del estudio “Municipio de Medellín Aplicativo Proyecciones de Población 2006-2015” (DOCUMENTO ACTUALIZACIÓN PGIRS PARA CONSULTA- PARTE 1, 2015)

**Ilustración 5. Mapa poblacional del Municipio de Medellín para el año 2015 (DANE)**



**Fuente:** (Secretaría de Gestión y Control Territorial -Alcaldía de Medellín, 2015)



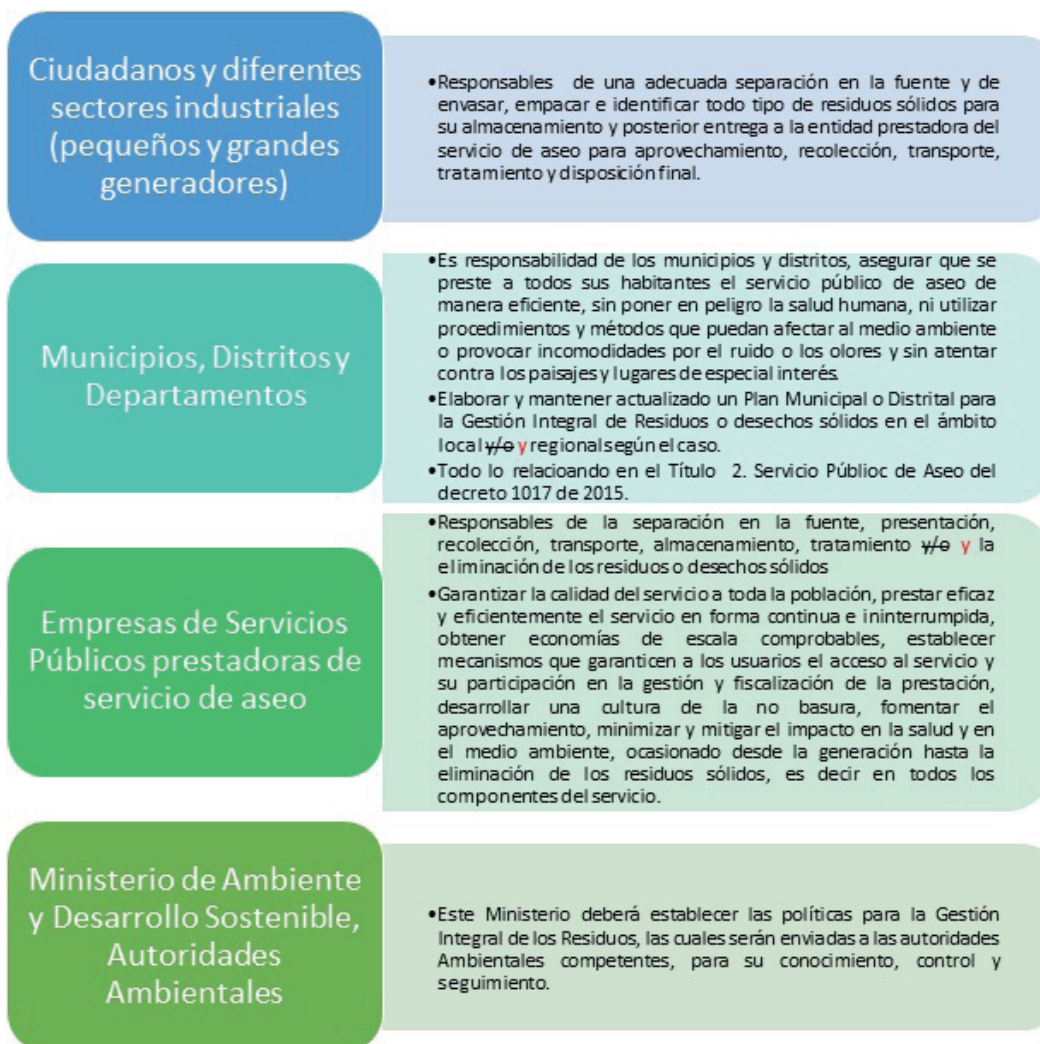


En cuanto al sitio de disposición final que tiene Medellín, el Municipio cuenta con el relleno Sanitario La Pradera que se encuentra ubicado en el Municipio de Don Matías (vía Barbosa Puerto Berrio); de las 3.300 toneladas de residuos dispuestos diariamente; provenientes de 33 municipios de Antioquia; 1.800 toneladas son aportados por el Municipio Medellín (Corporación Académica Ambiental- Universidad de Antioquia, 2017).

### 7.4. Actores que pueden suministrar información

Para que un proyecto sea exitoso, es importante entender quiénes son los actores y qué papel pueden tener en el desarrollo de un proyecto o estudio. Para esto, se deben identificar, clasificar y definir las funciones que tiene cada uno. En la **Ilustración 6**, se hace resumen de los diferentes actores que se tendrá en cuenta para el levantamiento de la información primaria y secundaria para el cumplimiento de los objetivos del proyecto.

**Ilustración 6. Actores involucrados en la gestión de los residuos**



**Fuente:** Elaboración propia.





#### Otros actores puntuales para recolectar información:

- Alcaldía de Medellín. Secretaría de Medio Ambiente, Secretaría de Salud, Secretaría de Educación. Sistema de Gestión Ambiental de Medellín – SIGAM y el Plan Ambiental de Medellín – PAM.
- EMVARIAS. Grupo EPM.
- AMVA. Área Metropolitana del Valle de Aburra.
- ESE METROSALUD.
- ICBF. Instituto Colombiano de Bienestar Familiar.
- Estaciones de policía de la zona 1.
- RECIMED. Cooperativa Multiactiva de Recicladores de Medellín.
- ASEI. Asesoría Servicio Ecológicos e Industriales.
- Fundación SOCYA.
- Cooperativa Recuperar.
- JAL en todas las comunas y corregimientos
- Juntas de Acción Comunal.
- Bioplast de Antioquia.
- COMFAMA.
- SENA. Servicio Nacional de Aprendizaje.
- Universidad de Antioquia.
- Universidad de Medellín
- Parque Explora.
- Jardín Botánico.
- Excedentes DC.
- Recuperadora la 50.
- Planta de Reciclaje el Remanso, entre otros





## 8. DISEÑO METODOLÓGICO PARA EL SECTOR RESIDENCIAL

El diseño muestral que a continuación se describe fue socializado con la supervisión del contrato, por los profesionales técnicos del Consorcio Residuos Sólidos Medellín, donde se realizaron varias observaciones y recomendaciones que se tuvieron en cuenta para el diseño muestral final y para su aprobación.

### 8.1. Definición del objetivo de la investigación

Caracterización de residuos sólidos generados en el sector residencial del área urbana y rural.

### 8.2. Metodología de selección de la muestra

El muestreo probabilístico donde todos los individuos del universo o la población tienen la misma probabilidad de ser elegido, en este caso, se debe realizar un muestreo por conglomerados para garantizar que se visitarán las siete zonas en las que está dividida la ciudad de Medellín de acuerdo con el servicio público de aseo, que se denominan los conglomerados y dentro de ella ir a cada unidad muestral que serían las viviendas. (Universidad de Sonora- Departamento de Matemáticas- División de Ciencias Exactas y Naturales)

### 8.3. Descripción del universo y unidades que lo conforman

La población o universo de referencia está constituida por todos los usuarios residenciales ubicados al interior del perímetro urbano del Municipio de Medellín y sus cinco Corregimientos. Para el presente estudio las unidades de muestreo son las viviendas, se entiende que son usuarios residenciales o suscriptores del servicio de Acueducto de la ciudad de Medellín. Es importante aclarar que se trabajó con los suscriptores de la base de datos del servicio público de acueducto porque son estos los que tienen el mayor número de usuarios o suscriptores en las bases de datos del Fondo de Solidaridad y Redistribución del Ingreso.

La población objeto del estudio por las 16 comunas de Medellín está descrita en la **Tabla 6** y en la **Tabla 7** se presenta la población objetivo de los corregimientos.

De acuerdo con los objetivos específicos del estudio y siendo ésta una investigación de carácter cuantitativo, **la unidad final de análisis la constituye la vivienda de uso exclusivo residencial** ubicada en el perímetro urbano del Municipio de Medellín y sus cinco corregimientos.

**Tabla 6. Población por Comuna en el área urbana de Medellín**

COMUNA	POBLACION
Comuna 1	132.968
Comuna 2	114.050
Comuna 3	163.080





COMUNA	POBLACION
Comuna 4	163.910
Comuna 5	151.880
Comuna 6	196.118
Comuna 7	177.309
Comuna 8	140.014
Comuna 9	138.080
Comuna 10	85.880
Comuna 11	123.520
Comuna 12	67.491
Comuna 13	141.254
Comuna 14	134.851
Comuna 15	97.060
Comuna 16	199.436
<b>TOTAL POBLACION</b>	<b>2.226.901</b>

**Fuente:** elaboración propia con datos tomados del (Aplicativo proyecciones del PGIRS 2016-2027, 2018)

**Tabla 7. Población objetivo de los corregimientos**

CORREGIMIENTO	POBLACIÓN
SANTA ELENA	20.542
SAN CRISTOBAL	94.031
SAN ANTONIO DE PRADO	134.011
PALMITAS	7.896
ALTAVISTA	41.859
<b>TOTAL POBLACION</b>	<b>298.339</b>

**Fuente:** Elaboración propia con datos tomados del (Aplicativo proyecciones del PGIRS 2016-2027, 2018)





## 8.4. Tamaño muestral

Dentro de las especificaciones técnicas y obligaciones del pliego de peticiones del concurso de méritos, se colocó un número mínimo de 2.000 muestras en la Zona Urbana distribuidas por estratos y para la Zona Rural un mínimo de 500 muestras distribuidas por corregimientos. Además, los siguientes cálculos se realizaron teniendo en cuenta las indicaciones del numeral F1.4.2.7 *Número de muestras*, del (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO F Sistemas de Aseo Urbano, 2012).

Para garantizar que el tamaño de muestras en la zona Urbana y Rural de Medellín solicitado, es decir, el número de viviendas, tengan la misma probabilidad de ser seleccionadas al azar, se debe garantizar un margen de error en el cual se tenga el dato que se quiere medir en el universo, es decir, la probabilidad que el Coeficiente de Producción Per Cápita (PPC) para una vivienda cualquiera elegida aleatoriamente en el perímetro urbano de Medellín esté por debajo del PPC promedio para Medellín, calculado en el estudio anterior en 0,50 kg/hab-día según el (INFORME FINAL - ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN EL SECTOR RESIDENCIAL Y NO RESIDENCIAL DEL MUNICIPIO DE MEDELLÍN Y SUS CINCO CORREGIMIENTOS., 2014).

Además, se debe garantizar un nivel de confianza que exprese la certeza que se requiere dentro del margen de error, es decir, garantizar que en un 95% de los casos se obtenga el GPC promedio para Medellín por cada vivienda. Ya que la población de Medellín es superior a 100.000 habitantes, se comporta como una población infinita.

Para lo anterior, se define la **Ecuación 1** para el tamaño de muestra es:

### Ecuación 1. Tamaño de la Muestra<sup>1</sup>

$$n = \frac{(Z_{\alpha/2})^2 * p * q}{\epsilon^2}$$

#### Donde:

**n:** Tamaño óptimo de la muestra

**p:** Probabilidad de éxito de que la PPC (producción per cápita) esté por debajo de la PPC promedio de Medellín

**q:** Probabilidad de fracaso de que la PPC esté por debajo de la PPC promedio de Medellín

**ε :** Error Muestral



1. <http://www.psyma.com/company/news/message/como-determinar-el-tamano-de-una-muestra>



### 8.4.1. Nivel de confianza y margen de error con el que se presentan los resultados.

Se definirá un nivel de confianza del 95% y un ( $\epsilon$ ) error máximo de muestreo no superior al 2.7% en la estimación del Coeficiente de Producción Per Cápita (PPC).

$$Z_{\alpha/2}: 1,96 \text{ (valor definido en la tabla de la distribución normal)}^2$$

$$p: 0.5 \quad q: 0.5 \quad \epsilon: 2,6\%$$

Con esto definido, el tamaño de la muestra mínimo para la zona urbana será:

$$n = \frac{1,96^2 * 0,5 * 0,5}{0,026^2} = 1.420$$

$$n = 1.420$$

Se concluye entonces que se necesitarán 1.420 unidades (viviendas) para garantizar que se recolecten como mínimo 2.500 muestras, distribuidas en las 16 comunas de Medellín y los cinco corregimientos que corresponden a la Zona Rural, las cuales pueden obtenerse mediante las dos (2) frecuencias de recolección en las 1.420 viviendas seleccionadas aleatoriamente.

### 8.5. Distribución de la muestra

Para la distribución de la muestra se tuvo en cuenta los suscriptores del servicio de Acueducto de la Ciudad de Medellín, que equivalen a las viviendas que se abordaron.

Se visitaron 1.100 viviendas en el casco urbano de Medellín, es decir, en las 16 comunas y los 6 estratos socioeconómicos y para los corregimientos se propuso evaluar cada corregimiento según su población y se visitaron 320 viviendas, con lo cual se cumplió con la muestra de 1.420 y se garantizó toda la cobertura tanto en la ciudad como en el sector rural. La distribución para la ciudad de Medellín se muestra en la Tabla 8

**Tabla 8. Número de muestras por estrato socioeconómico en Medellín**

ESTRATOS	SUSCRIPTORES ACUEDUCTO	TOTAL, MUESTRA POR ESTRATOS
1	55.922	96
2	198.457	339
3	205.618	351
4	86.286	147
5	63.493	108
6	34.426	59
<b>TOTAL</b>	<b>644.202</b>	<b>1.100</b>

**Fuente:** Base de Datos Secretaria de Gestión y control territorial. EPM Subsidio y Contribuciones







En previa concertación con la Secretaria de Gestión y Control Territorial, después de un análisis de suscriptores y según sus bases de datos, los corregimientos se abordaron como una sola unidad debido a que en los corregimientos la estratificación socioeconómica no es representativa en todos los estratos y no permitiría una comparación con las viviendas en la zona urbana. Se visitaron 64 viviendas por cada corregimiento, de manera que se recogieron en cada vivienda 2 muestras de acuerdo con las frecuencias de recolección y previa concertación telefónica con los usuarios, para un total de 128 muestras por corregimiento y 640 muestras en total, de esta manera se garantizaron las 500 muestras en los corregimientos, después de este análisis, la distribución por corregimientos se puede ver en la **Tabla 9**:

**Tabla 9. Número de muestras distribuidas en los corregimientos**

CORREGIMIENTOS	SUSCRIPTORES ACUEDUCTO	TOTAL MUESTRAS POR CORREGIMIENTOS
SANTA ELENA	617	64
SAN CRISTOBAL	21.326	64
SAN ANTONIO DE PRADO	23.618	64
PALMITAS	41	64
ALTAVISTA	5.177	64
<b>TOTAL</b>	<b>50.779</b>	<b>320</b>

**Fuente:** *Elaboración Propia*

La distribución de la muestra se hizo por conveniencia o muestreo no probabilístico. Este tipo de muestreo es una técnica no probabilística donde los sujetos son seleccionados dada la conveniente accesibilidad y proximidad de los sujetos, para este caso se usó para hacer comparaciones entre corregimientos. Con 320 muestras en Corregimientos y 1.100 muestras en las 16 Comunas de Medellín se garantizó el tamaño requerido de muestra de 1.420.

## 8.6. Técnica aplicada para realizar el trabajo de campo.

Para el trabajo de campo se recomendó usar la misma técnica del estudio anterior: ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN EL SECTOR RESIDENCIAL Y NO RESIDENCIAL DEL MUNICIPIO DE MEDELLÍN Y SUS CINCO CORREGIMIENTOS. Medellín 2014, con el fin de realizar comparación de los resultados al final de este estudio.

Se comenzó el trabajo de campo en la zona rural de Medellín, es decir, en los cinco corregimientos por facilidad en la distribución de los puntos, la mayoría de las muestras se tomaron en los cascos urbanos de los 5 corregimientos por recomendación de la supervisión del contrato, también se tuvo en cuenta las veredas de los corregimientos en los que se vieron mediante la herramienta, ortofotos y shapets, conglomerados de viviendas, en todos los casos, solo se abordaron las viviendas de uso residencial.





Para la selección de las viviendas en el perímetro urbano de Medellín, la Unidad Primaria de Muestreo (UPM) fue la zona de servicio definida por Emvarias, en este caso, se tomaron las siete zonas de servicio y como Unidad Secundaria de Muestreo (USM) la manzana, como Unidad Terciaria de Muestreo (UTM) la cuadra y como Unidad Final de Muestreo (UFM) la vivienda de uso exclusivo residencial.

En el informe anterior (Universidad de Medellín, 2014), se tomaron aleatoriamente tres zonas de servicio como Unidades Primarias de Muestreo (UPM), estas fueron las zonas uno, cuatro y seis, además, visitaron la zona 5 con el fin de ubicar las viviendas de estrato 6. De acuerdo con lo anterior, sólo se pudo comparar los resultados que se obtengan en este estudio con las zonas uno, cuatro, cinco y seis, los resultados en el resto de las zonas fueron insumos nuevos de información para el PGIRS de la Ciudad.

La selección de las viviendas de la muestra en la zona urbana se realizó de manera aleatoria, teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- I. El estrato socioeconómico predominante por Comuna, ver Tabla 10.
- II. El número de viviendas a seleccionar por estrato acorde a los criterios estadísticos que se definieron en la Tabla 8.
- III. Luego de conocer el número de viviendas a seleccionar por estrato y por comuna, se procedió a realizar una distribución que fuese espacialmente lo más uniforme posible en toda el área de la Comuna, ver Tabla 11.

Con ello se buscó que las muestras seleccionadas no se localizaran o se concentraran en zonas específicas, sino que se tomaran lo más distribuidas posibles. Las viviendas están ubicadas por manzanas que es la Unidad Secundaria de Muestreo (USM).

**Tabla 10. Estratos socioeconómicos predominantes por comuna y zonas en Medellín**

Zona	Comuna	Estratos predominantes	Total Encuestas Por Comuna
ZONA 1	C1 POPULAR	E1 E2 E3	32
	C2 SANTA CRUZ	E1 E2 E3	31
	C3 MANRIQUE	E1 E2 E3	51
	C4 ARANJUEZ	E1 E2 E3 E4	57
ZONA 2	C5 CASTILLA	E1 E2 E3 E4	59
	C6 DOCE DE OCTUBRE	E1 E2 E3	51
	C7 ROBLEDO	E1 E2 E3 E4 E5	78
ZONA 3	C8 VILLA HERMOSA	E1 E2 E3 E4	67
	C9 BUENOS AIRES	E1 E2 E3 E4 E5 E6	102





Zona	Comuna	Estratos predominantes	Total Encuestas Por Comuna
ZONA 4	C10 LA CANDELARIA	E2 E3 E4 E5	74
ZONA 5 MÉRICA	C11 LAURELES	E2 E3 E4 E5 E6	94
	C12 SAN JAVIER	E2 E3 E4 E5	74
	C13 SAN JAVIER	E1 E2 E3 E4	67
ZONA 6	C14 EL POBLADO	E1 E2 E3 E4 E5 E6	102
ZONA 7 C16 BELEN	C15 GUAYABAL	E2 E3 E4	59
		E1 E2 E3 E4 E5	102
<b>TOTAL</b>			<b>1.100</b>

**Fuente:** Elaboración Propia

**Tabla 11. Número aproximado de muestras por estrato socioeconómico para cada comuna**

Estratos	Comunas (polígonos) en donde se encuentra presente el estrato	Muestras por comuna de cada estrato
1	12	8
2	16	21
3	16	22
4	12	12
5	7	15
6	3	20

**Fuente:** Elaboración propia.

Es preciso hacer la aclaración que, si bien ésta es una distribución aproximada, el trabajo de campo corroboró estas cifras o se cambiaron de acuerdo con lo que se encontró en cada comuna, la dinámica de los usuarios con la participación en el proyecto y la estratificación real que se encontró en Medellín y sus cinco corregimientos.

Se verificaron en campo las condiciones de selección, de la siguiente manera: En el evento en que la vivienda no cumpliera con lo establecido, es decir, con el estrato identificado en los mapas, se desplazó a la vivienda contigua para realizar el reemplazo sobre la misma manzana, en el caso de las viviendas que no se encontraron en la manzana definida como USM, ésta se reemplazó por la cuadra contigua en sentido contrario a las manecillas del reloj (sobre la carrera) y así sucesivamente hasta que se encontró un lado de la manzana que







## 9. METODOLOGÍA DE CARACTERIZACIÓN DE MUESTRAS PARA EL SECTOR RESIDENCIAL DE MEDELLÍN Y SUS CINCO CORREGIMIENTOS

### 9.1. Recolección y aforo de muestras para el sector residencial de medellín y sus cinco corregimientos

La recolección, aforo y caracterización de muestras comenzó por los corregimientos debido a que las salidas de campo en Medellín dependían de los mapas con la ubicación de los puntos por estratos socioeconómicos en cada comuna, dichos mapas se realizaron con información específica que fue solicitada desde septiembre 26 de 2018 (Base catastral con código CBML) y los Shapes por estratificación predominante y la cual fue entregada el 6 de noviembre de 2018.

Se visitaron 64 viviendas por cada corregimiento, a las cuales se les realizó la encuesta residencial y se concertó con cada habitante el día de la recolección de la primera y la segunda muestra, de manera que se recogió en cada vivienda 2 muestras de acuerdo con las frecuencias de recolección.

En el Municipio de Medellín, se tiene una recolección mínima de 2 veces por semana en las zonas residenciales, de 2 a 7 veces en zonas no residenciales y 3 veces al día en la zona 7, donde se generan mayor cantidad de residuos sólidos, lo cual está acorde con lo exigido en el artículo 2.3.2.2.2.3.32 del Decreto 1077 de 2015 (EVALUACIÓN INTEGRAL DE PRESTADORES - EMPRESAS VARIAS DE MEDELLIN S.A. E.S.P., 2018)

En total se realizaron 319 encuestas (**anexo 1**), en los 5 corregimientos de la ciudad de Medellín, respetando el tamaño de la muestra inicial que se pactó para el estudio de corregimientos, se debe aclarar que se debía cumplir con 500 muestras en los cinco corregimientos, es decir, que por cada vivienda encuestada se debían obtener 2 muestras, la **Tabla 12** muestra como fue el cumplimiento final de las encuestas por corregimiento.

**Tabla 12. Respuesta de 257 Viviendas Encuestadas**

Corregimiento	Encuesta Realizadas	Encuestas con 2 muestras
Altavista	64	55
San Antonio de Prado	64	60
San Cristóbal	64	48
San Sebastián de Palmitas	64	42
Santa Elena	63	52
<b>Total general</b>	<b>319</b>	<b>257</b>

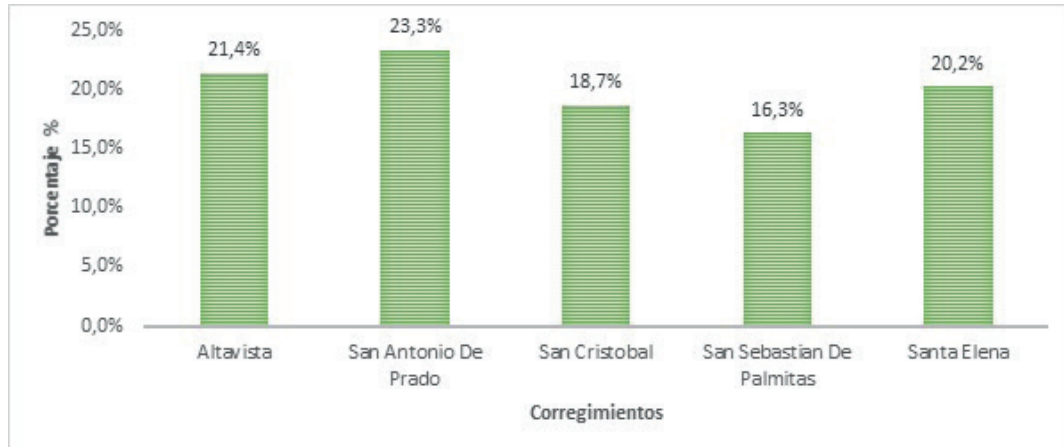
**Fuente:** Elaboración propia.





En el **Gráfico 1** se puede apreciar que los corregimientos de San Antonio de Prado con un 23,3% (60 viviendas), Altavista con 21,4% (55) y Santa Elena con un 20,2% (52), tuvieron el cumplimiento más alto de la entrega de las dos muestras por vivienda.

**Gráfico 1. Total, de las muestras por los 5 corregimientos. Respuesta de 257 Viviendas Encuestadas.**



**Fuente:** *Elaboración propia*

Se asignó un código a cada vivienda para etiquetar las bolsas y facilitar el manejo de la información en bodega de las caracterizaciones con respecto a las encuestas. Este código se compone en el caso de los corregimientos de las iniciales del nombre del corregimiento y un número, por ejemplo, para San Cristóbal, los códigos de las viviendas fueron SC01 hasta el SC64. Los códigos para el resto de los corregimientos son los siguientes:

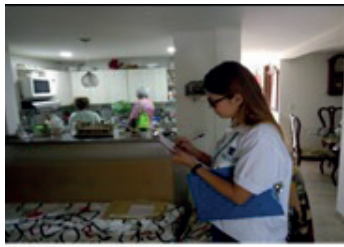
- Altavista: A01 a la A64
- San Sebastián de Palmitas: P01 a la P64
- San Antonio de Prado: SA01 a la SA64
- Santa Elena: SE01 a la SE 64

Una vez asignados los códigos para cada corregimiento y como la ubicación en estos no dependía del estrato socioeconómico, se usaron ortofotos satelitales de cada uno para identificar los asentamientos habitacionales, carreteras y accesos para trazar una ruta de trabajo. Los Shapes que se crearon para las salidas de campo tanto en la zona rural como en la zona urbana se presentan como anexo 2 a este informe. Las imágenes de las encuestas realizadas y de la recolección de las muestras en cada corregimiento se muestran a continuación en las **Fotografía 1y Fotografía 2.**





### Fotografía 1 Encuestas y recolección en los Cinco Corregimientos de Medellín



Encuestas Altavista



Encuestas Santa Elena



Encuestas Palmitas



Encuestas San Cristobal



Encuestas San Antonio de Prado



Marcación de vivienda con stickers

*Fuente: Elaboración propia*

### Fotografía 2. Recolección en los Cinco Corregimientos de Medellín



Recolección Altavista



Recolección Santa Elena



Recolección Palmitas



Recolección San Antonio de Prado



Recolección San Cristobal

*Fuente: Elaboración propia*





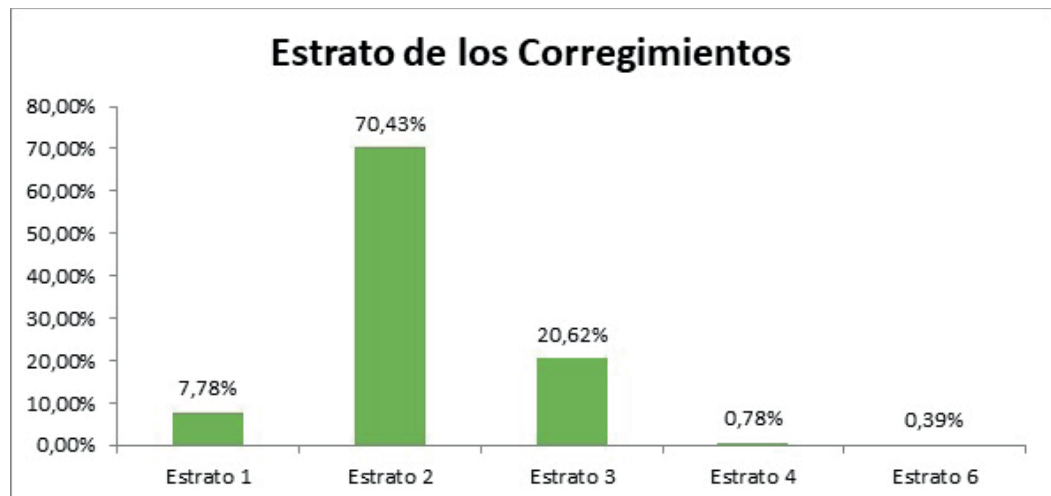
En la estratificación socioeconómica en los corregimientos se tuvo en cuenta en la encuesta y los resultados se muestran en la Tabla 13 y el Gráfico 2.

**Tabla 13. Estratificación de los corregimientos de Medellín según encuesta**

ESTRATOS	Altavista	San Antonio de Prado	San Cristóbal	San Sebastián de Palmitas	Santa Elena
Estrato 1	10,91%	6,67%	6,25%	9,52%	5,77%
Estrato 2	89,09%	48,33%	70,83%	66,67%	78,85%
Estrato 3	0,00%	45,00%	22,92%	23,81%	9,62%
Estrato 4	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	3,85%
Estrato 6	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,92%
<b>Total</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

**Gráfico 2. Estratificación en Corregimientos**



*Fuente: Elaboración propia*

El estrato predominante en todos los corregimientos de la ciudad de Medellín es el estrato 2, en Altavista se encontraron viviendas en estrato 1 y 2, en San Antonio de Prado estratos 1, 2 y 3, en San Cristóbal estratos 1, 2 y 3, en San Sebastián de Palmitas estratos 1, 2 y por último en Santa Elena se encontró que en este corregimiento en particular se tienen todos los estratos socioeconómicos. El estrato 5 no se encontró en las viviendas seleccionadas y visitadas para la toma de muestras; sin embargo, verificando la base de datos de suscriptores de acueducto, se encontró que este estrato se presenta en los corregimientos a excepción de San Sebastián de Palmitas.







En Medellín, la programación de las encuestas por comunas se realizó a partir del 7 de noviembre de 2018, en la primera jornada de encuestas se cumplió con las 1.100 viviendas que mediante el diseño muestral se debían realizar para garantizar las 2.000 muestras mínimo. La selección de las viviendas de la muestra en la zona urbana se realizó de manera aleatoria, localizando los puntos en toda la comuna y teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- El estrato socioeconómico predominante por Comuna,
- El número de viviendas a seleccionar por estrato acorde con los criterios estadísticos que se definieron.
- Luego de conocer el número de viviendas a seleccionar por estrato y por comuna, se procedió a realizar una distribución que fuese espacialmente lo más uniforme posible en toda el área de la Comuna.
- La frecuencia de recolección de residuos que tiene programada la empresa prestadora del servicio para cada zona.

Es preciso señalar que, con respecto al estudio de caracterización del año 2014, en donde sólo se tuvo en cuenta usuarios de las zonas 1, 4, 5 y 6 de la ciudad de Medellín y el número de muestras fue de 1.067 (534 viviendas), para este año, se tomaron en cuenta las 7 zonas con sus 16 comunas de Medellín, aumentando el número de viviendas visitadas a 1.036 y el número de muestras recolectadas a 2.072.

Se asignó un código a cada vivienda para etiquetar las bolsas y facilitar el manejo de la información en bodega de las caracterizaciones con respecto a las encuestas. En este caso, si se asoció el estrato socioeconómico predominante de cada comuna al código de las muestras. Este código se compone de cuatro dígitos, los primeros son el número de la comuna, el segundo es el estrato socioeconómico predominante y el último dígito es el número asignado a la vivienda, por ejemplo, para la comuna 1 Popular, los códigos de las viviendas fueron del 0111 hasta el 01108 para el estrato 1, 0121 hasta el 01222 para el estrato 2 y 0131 hasta el 0133 para el estrato 3. En la Ilustración 8 se aprecia mejor el ejemplo:

**Ilustración 8. Decodificación de las muestras en las comunas de Medellín para la caracterización.**



*Fuente: Elaboración propia*





Luego de revisar las encuestas y encontrar diferencias en los estratos que se asignaron a los puntos en cada comuna, se tuvieron resultados diferentes a los planeados, esto debido a que muchas de las viviendas visitadas han cambiado de estrato socioeconómico en los últimos años, posiblemente debido a nuevas obras que valorizan los predios, cambios en el POT o que han adquirido algún servicio público. En las siguientes tablas se da cuenta de los cambios que se obtuvieron en las jornadas de encuestas con respecto a los estratos designados en principio.

**Tabla 14. Número aproximado de muestras por estrato socioeconómico para cada comuna**

Estratos	Comunas (polígonos) en donde se encuentra presente el estrato	Muestras por comuna de cada estrato
1	12	8
2	16	21
3	16	22
4	12	12
5	7	15
6	3	20

**Fuente:** Elaboración propia.

**Tabla 15. Comparativo encuestas asignadas y realizadas en cada comuna**

Comuna	Nro Encuestas por comuna	Nro de puntos asignados por estrato predominante	Nro de puntos por estrato encontrado realizadas	Total Encuestas realizadas
C1 POPULAR	32	E1:8 E2:21 E3:3	E1:8 E2:20	28
C2 SANTA CRUZ	31	E1:8 E2:21 E3:2	E1:8 E2:21 E3:2	31
C3 MANRIQUE	51	E1:7 E2:22 E3:22	E1:29 E2:69 E3:62	160
C4 ARANJUEZ	57	E1:8 E2:22 E3:22 E4:5	E1:7 E2:23 E3:22 E4:1	53
C5 CASTILLA	62	E1:8 E2:22 E3:25 E4:7	E1:6 E2:21 E3:22 E4:4	53
C6 DOCE DE OCTUBRE	51	E1:8 E2:21 E3:22	E1:7 E2:22 E3:22	51





Comuna	Nro Encuestas por comuna	Nro de puntos asignados por estrato predominante	Nro de puntos por estrato encontrado realizadas	Total Encuestas realizadas
C7 ROBLEDO	78	E1:8 E2:21 E3:22 E4:12 E5:15	E1:30 E2:118 E3:102 E4:43 E5:15	310
C8 VILLA HERMOSA	67	E1:8 E2:21 E3:25 E4:13	E1:8 E2:13 E3:26 E4:12	59
C9 BUENOS AIRES	102	E1:8 E2:21 E3:25 E4:13 E5:15 E6:20	E1:8 E2:19 E3:25 E4:11 E5:6 E6:17	86
C10 LA CANDELARIA	74	E2:21 E3:25 E4:13 E5:15	E2:24 E3:21 E4:14 E5:15	74
C11 LAURELES	94	E2:21 E3:25 E4:20 E5:20 E6:8	E2:9 E3:15 E4:68 E5:58 E6:18	168
C12 LA AMÉRICA	74	E2:21 E3:25 E4:13 E5:15	E2:20 E3:21 E4:14 E5:16	71
C13 SAN JAVIER	67	E1:8 E2:21 E3:25 E4:13	E1:6 E2:22 E3:29 E4:9	73
C14 EL POBLADO	102	E2:21 E3:15 E4:21 E5:20 E6:25	E2:15 E3:5 E4:20 E5:0 E6:48	88
C15 GUAYABAL	59	E2:21 E3:25 E4:13	E2:31 E3:50 E4:18	99
C16 BELEN	102	E1:10 E2:26 E3:27 E4:19 E5:20	E1:16 E2:38 E3:51 E4:25 E5:44	174
<b>TOTAL</b>	<b>1103</b>			<b>1578</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

En términos de estratos, las encuestas realizadas se muestran en la **Tabla 16**

**Tabla 16. Distribución de encuestas por estrato socioeconómico en las comunas de Medellín**

Estrato	Total, estimadas Diseño muestral	Total, hechas en primera jornada	Encuestas hechas segunda jornada	Total, Encuestas realizadas
E1	96	81	59	140
E2	339	321	164	485





Estrato	Total, estimadas Diseño muestral	Total, hechas en primera jornada	Encuestas hechas segunda jornada	Total, Encuestas realizadas
E3	351	306	169	475
E4	147	165	76	241
E5	108	97	69	166
E6	59	56	15	71
<b>Total</b>	<b>1100</b>	<b>1026</b>	<b>552</b>	<b>1578</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

Es preciso hacer la aclaración que, si bien se realizó una distribución aproximada basada en los estratos predominantes, el trabajo de campo corroboró la mayoría de los puntos y otros cambiaron de estrato de acuerdo con lo que se encontró en cada comuna mediante la encuesta. Para las caracterizaciones en bodega, se tomó la estratificación real que se encontró en Medellín.

## 9.2. Metodología de caracterización de muestras para el sector residencial de medellín y sus cinco corregimientos

Para determinar la cantidad y composición de los residuos sólidos que produce un sector residencial y no residencial tanto en el sector rural como en el sector urbano de la ciudad de Medellín, es necesario efectuar una caracterización de los residuos sólidos. Es esta ocasión se realizó mediante el método del cuarteo. Con este procedimiento se pudo determinar el porcentaje de materia orgánica, papel-cartón, vidrio, metales, tela, plásticos, entre otras clases de residuos que generaron las viviendas visitadas en cada corregimiento y comuna de la ciudad de Medellín.

De acuerdo con el Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: Título F Sistema de Aseo Urbano del 2012, la caracterización de los residuos se define como la “Determinación de las características cualitativas y cuantitativas de los residuos sólidos, identificando sus contenidos y propiedades de interés con una finalidad específica”.

Esta actividad hace parte del procedimiento particular para el desarrollo de sistemas de aseo urbano específicamente en el numeral **F1.4.1 Selección del Sistema**, cuyo objetivo es evaluar condiciones particulares de la población objetivo de cada proyecto, teniendo en cuenta, otros usuarios como los sectores comerciales, industrial, y en general identificar el mercado potencial para los productos que se obtengan mediante sistema con aprovechamiento viables.





Los resultados de esta metodología servirán para proyectar la producción per cápita de la ciudad, de igual forma se pudo evaluar la composición física de los residuos, la cual será el fundamento para la toma de decisiones sobre su aprovechamiento, tratamiento y disposición final.

Según el numeral F1.4.1.1 Cálculo de la Producción Per Cápita del (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO F Sistemas de Aseo Urbano/, 2012), para el cálculo de la Producción Per Cápita, se puede usar cualquier método técnicamente válido o recomendado por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas -ICONTEC o por estándares internacionales, siempre y cuando tenga en cuenta al menos las siguientes variables:

- Cantidad de residuos generados por día, determinados mediante aforos.
- Número total de habitantes en el sector de estudio.
- Número de usuarios servidos y potenciales, incluyendo estrato y uso.
- Número promedio de habitantes por usuario del sistema, por estrato y uso.
- Cantidad de residuos que se transportan al sistema de disposición final, determinada mediante aforos.
- Cantidad de residuos que se incorporan efectivamente al aprovechamiento, según su naturaleza, determinada mediante aforos.

La Metodología para la caracterización de los residuos sólidos usada está basada en el Método Sencillo Del Análisis De Residuos Sólidos. CEPIS/OPS (Kunitoshi, 2000)

### 9.3. Procedimiento para calcular la producción per cápita

Una vez llegaron las muestras a la bodega, se realiza la recepción de estas, se procede a separar las bolsas (muestras) por estratos o por corregimientos, verificando que la bolsa en la que se encuentran esté en buen estado y que no haya sufrido contaminación o alguna alteración percibida.

En un recipiente con volumen conocido se coloca sobre la balanza, el cual mostró el peso actual del recipiente. Nota: este peso fue restado al peso de la muestra agregada.

Luego se procede a pesar cada bolsa (dependiendo de la producción de residuos de la vivienda), y con información complementaria de número de habitantes o personas por la vivienda y los días que duró almacenado el residuo, se procede a calcular la Producción per cápita de esa vivienda. La producción per cápita se obtiene con la **Ecuación 2**.

#### Ecuación 2. Producción per cápita de residuos sólidos



- **Producción per cápita de los R.S.:** 
$$\frac{(\text{Peso de la muestra}) \text{ en kg}}{\text{Número de personas} \times \text{días de almacenamiento de R.S.}}$$





Todos los datos se registraron en el formato de producción per cápita que se muestra en la Ilustración 9

**Ilustración 9. Formato Producción per cápita de residuos sólidos.**

CONSORCIO RESIDUOS SÓLIDOS MEDELLÍN			
CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN EL SECTOR RESIDENCIAL Y POR			
			
BOLSA N°			
GENERACION PER CÁPITA POR BOLSA Y ESTRATO			
FECHA Y HORA		ESTRATO	
PERIODO DE RECOLECCIÓN		PESO REAL MUESTRA	
NÚMERO DE PERSONAS EN LA VIVIENDA		GENERACIÓN PER CAPITA	0

**Fuente:** Elaboración propia

## 9.4. Procedimiento para el cálculo de la densidad

El procedimiento para el cálculo de la densidad de las muestras por estrato o por corregimiento de describe a continuación

- En primera instancia, se determinó el volumen de los recipientes usados para calcular el volumen de los residuos, este se realizó en tanques de 220 litros.
- Se abren las bolsas en donde vienen contenidas las muestras, luego se procede a llenar el tanque de aforo con los residuos
- Se agita el tanque para que los residuos se acomoden automáticamente sin necesidad de realizar alguna presión sobre ellos
- Teniendo esto, se toma el volumen el cual será señalado por el recipiente, se registra este volumen
- Se procede al pesado de la muestra que se encuentra en su interior.

NOTA: cuando se llenaba el aforo, el proceso se repitió las veces que fueron necesarias hasta que se termine la muestra. Por lo tanto, se tuvo una densidad promedio.

- Con estos datos mediante la Ecuación 3, se obtendrá la densidad de la muestra.

### Ecuación 3. Densidad de las muestras

$$\text{Densidad de la muestra} \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{(\text{Peso}_i - \text{Peso del recipiente}) \text{ en kg}}{\text{Volumen de la muestra en el recipiente en m}^3}$$





## 9.5. Procedimiento para la clasificación por tipología de residuos

Como señala el numeral F1.4.2.5 del título F del RAS, debe determinarse el porcentaje en peso de cada uno de los subproductos o componentes que se clasificarán. El resultado obtenido al sumar los diferentes porcentajes debe ser como mínimo el 95% del peso total de la muestra. En caso contrario debe repetirse la determinación. El procedimiento se describe a continuación:

Después de haber realizado el proceso anterior, se vacían y dispersan las muestras en el plástico puesto en el suelo (para asegurar que las muestras no se alteren con polvo del piso), para su posterior mezcla con ayuda de palas y su separación.

Los residuos ordinarios se homogenizan con el fin de garantizar una concentración igual de los componentes en todos los puntos de la muestra.

Se debe aclarar que los componentes reciclables que estaban previamente separados por los usuarios dentro de la bolsa que se recolectó, no se mezclaron con los residuos ordinarios, para identificar el porcentaje de residuos separados en la fuente en cada vivienda.

Se procede a realizar la separación por tipología, teniendo en cuenta como mínimo los componentes que propone el (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO F Sistemas de Aseo Urbano/, 2012), en su numeral F1.4.2 Composición de los Residuos, ver Tabla 17

Posteriormente, se colocan en bolsas cada uno de los componentes, se pesan en la balanza, y se registra el peso en el formato establecido. Anexo 3 Planilla de la Composición Física de los Residuos Sólidos

Ya teniendo todos los componentes pesados se dividen por la sumatoria del peso real de las muestras y se multiplica por 100 para determinar el porcentaje de cada residuo por tipología, como se muestra en la Ecuación 4

### Ecuación 4. Porcentaje de los componentes de los residuos

$$\text{Porcentaje en peso de cada componente de la muestra } (\%i) = \frac{W_i}{\text{Peso total}} \times 100$$

**Donde:**

**W<sub>i</sub>:** peso de cada componente de los R.S.

**Peso total** = sumatoria del peso real de las muestras.





**Tabla 17. Esquema de clasificación según la composición de los residuos sólidos usada en la caracterización.**

Biodegradable y putrescibles	Ordinarios e inertes	Especiales
Residuos de alimentos	Papel Higiénico, toallas higiénicas, pañales, servilletas, etc.	Escombros
Residuos de jardín y poda	Papel no reciclable	Llantas
<b>MADERA</b>	Cartón no reciclable	RAEE
<b>PAPEL</b>	Plástico aluminizado	Otros Especiales
<b>CARTÓN</b>	Icopor	PELIGROSOS
<b>PLÁSTICO</b>	Tetrapack	Madera Inmunizada
PET (1)	Caucho	Biosanitarios y cortopunzantes
PEAD (2)	Cuero	Baterías, pilas y acumuladores
PVC (3)	Espumas	Baterías acido-plomo
PEBD (4)	Otro ordinarios y barrido	Lámparas fluorescentes
PP (5)		Tóner y cintas de impresión
PS (6)		Pieles contaminadas
<b>VIDRIO</b>		Biocidas (venenos)
<b>METALES</b>		Fármacos
Cables encauchetados		Contaminados con Pinturas, Solventes
<b>TEXTILES</b>		Contaminados con Aceites, grasas

**Fuente:** elaboración propia, basado en (Colombia. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio/ Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico, 2012)





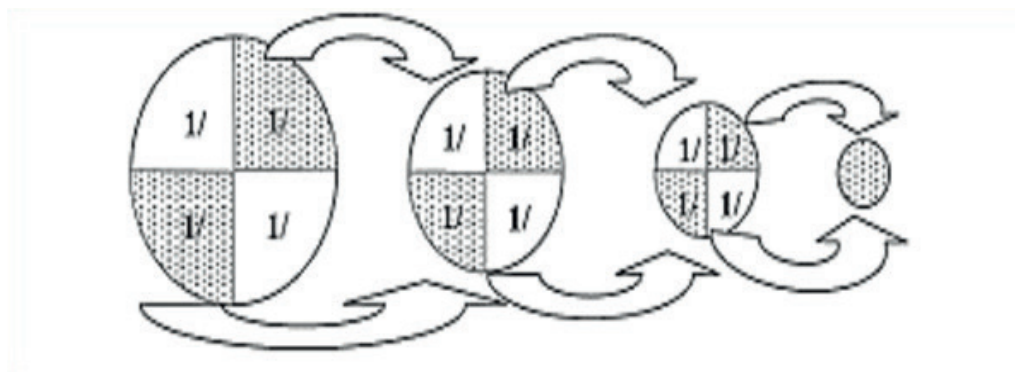


## 9.6. Procedimiento para realizar el método de cuarteo

Este método se usó para sacar una muestra representativa que se llevó al laboratorio, se realizó por corregimiento o por estrato en el caso de las comunas de Medellín.

- Para empezar el método de cuarteo, en un lugar previamente acondicionado para esta actividad, se esparcieron las muestras sobre un plástico acondicionado en el suelo para evitar la contaminación de las muestras con el suelo original.
- Se mezclaron las muestras sobre el plástico y se realizó una homogenización de las muestras de modo que quedaran bien mezclada.
- Habiendo hecho lo anterior se procedió a realizar el método de cuarteo como se muestra en la Ilustración 10

**Ilustración 10. Método del cuarteo**



**Fuente:** (Kunitoshi, 2000)

- Se procedió a dividir y separar las muestras previamente mezcladas en cuatro partes iguales. Como se observa en la Ilustración 10 se tomaron dos cuartos de la muestra que fueron directamente opuestas o en diagonal como son resaltadas en zonas más oscuras. Nota: se pudo tomar las partes oscuras o blancas, pero siempre fueron en diagonal u opuestas.
- A estas dos muestras extraídas, se procedió a realizar una nueva mezcla para homogenizarlas nuevamente y realizar igualmente la división en cuatro. Los otros dos cuartos restantes se recogieron y se almacenaron nuevamente en las bolsas.
- Así mismo, como se realizó en el primer cuarteo, tanto el segundo como el tercer cuarteo se sacaron otros dos cuartos de los residuos separados y los otros dos se depositaron otras bolsas de almacenamiento.
- Después del tercer cuarteo nuevamente se mezcló todo y se colocaron en una bolsa para proceder a sacar una muestra de 2Kg constituida de material orgánico, ordinario, reciclable y restos del barrido, donde se depositó en una bolsa previamente marcada con el nombre del proyecto, la fecha, la comuna y el estrato del que provenían los residuos, luego de lo cual se colocaron dentro en una nevera de poliestireno expandido, para preservar sus propiedades físicas y químicas, y luego ser llevaron al laboratorio.

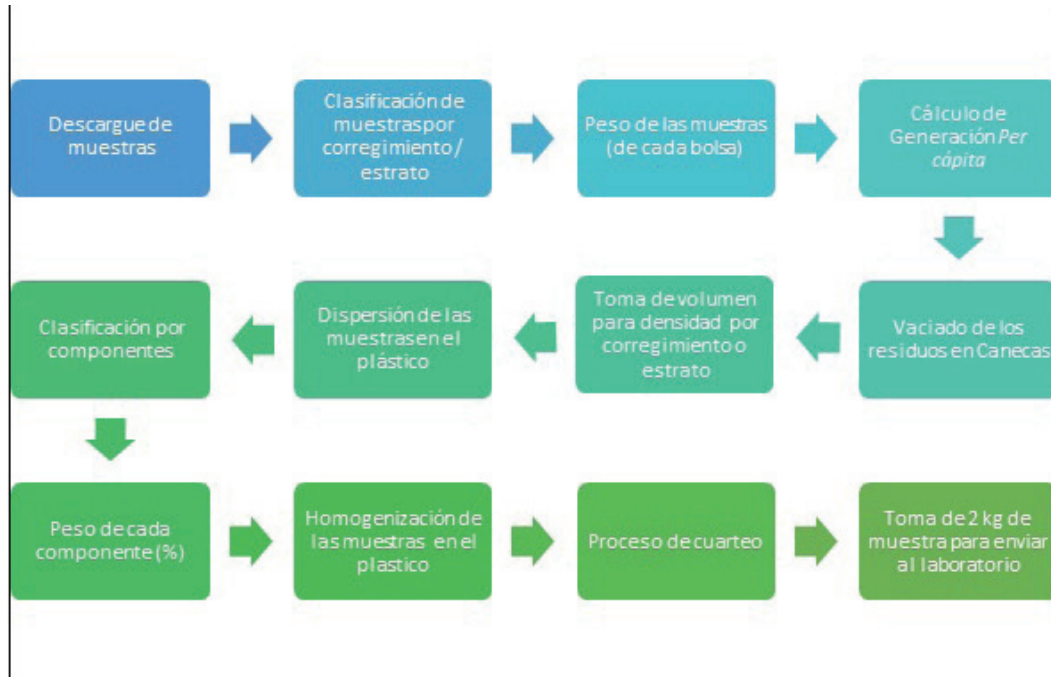




- Al final, las muestras nuevamente fueron depositadas dentro de las bolsas las cuales se entregaron al camión recolector del cual les dio disposición final respectiva.

En el diagrama de la **Ilustración 11** se registran las actividades realizadas en bodega, desde el descargue de las muestras hasta el pesaje de las bolsas para el cálculo de la producción per cápita y el cuarteo para sacar la muestra enviada al laboratorio.

**Ilustración 11. Diagrama del procedimiento para la caracterización de los residuos sólidos de Medellín y sus corregimientos**



*Fuente: Elaboración propia*

“ **La caracterización de los residuos** es la estrategia principal para la toma de decisiones en materia de aprovechamiento, tratamiento y disposición final de los residuos. ”





En las siguientes fotografías se registran las actividades del diagrama anterior

**Fotografía 3. Caracterización de los residuos sólidos en bodega**



**Fuente:** *Elaboración propia*





## 10. RESULTADOS DE LA PRODUCCIÓN PER CÁPITA PARA EL SECTOR RESIDENCIAL EN LOS CINCO CORREGIMIENTOS Y MEDELLÍN

Para el cálculo de la producción per cápita en los corregimientos de Medellín se verificaron los datos de las encuestas, como número de habitantes y días de almacenamiento de los residuos. Y como se tomaron dos muestras por vivienda, de acuerdo con la frecuencia de recolección de la zona o corregimiento, la mayoría de las muestras se tomaron en las cabeceras del corregimiento, además se tuvieron en cuenta muestras de las veredas cercanas a estas cabeceras. En la **Tabla 18**, se registra el número de viviendas que se visitaron en zona rural o zona urbana para cada corregimiento.

**Tabla 18. Ubicación de toma de muestras en corregimientos**

Corregimiento	Viviendas en Zona Urbana	Viviendas en Zona Rural	Total
Altavista	21	34	55
San Antonio de Prado	39	21	60
San Cristóbal	24	24	48
San Sebastián de Palmitas	28	14	42
Santa Elena	5	47	52

**Fuente:** Elaboración propia.

Teniendo claridad sobre la ubicación de las viviendas participantes, se calculó la producción per cápita promedio de cada vivienda promediando los valores de PPC de cada una de las dos recolecciones realizadas, como se observa en la **Ecuación 5**.

**Ecuación 5. Producción per cápita de cada vivienda**

$$\overline{PPC}.: \frac{PPC_{m1} + PPC_{m2}}{2}$$

Los resultados de la Tabla 19 se calcularon usando la Ecuación 2. Producción per cápita de residuos sólidos y la Ecuación 5





Tabla 19. Producción Per Cápita de los corregimientos de Medellín

CORREGIMIENTO	PPC (kg/h- día)
Altavista	0,36
San Antonio de Prado	0,35
San Cristóbal	0,42
San Sebastián de Palmitas	0,25
Santa Elena	0,33

**Fuente:** Elaboración propia.

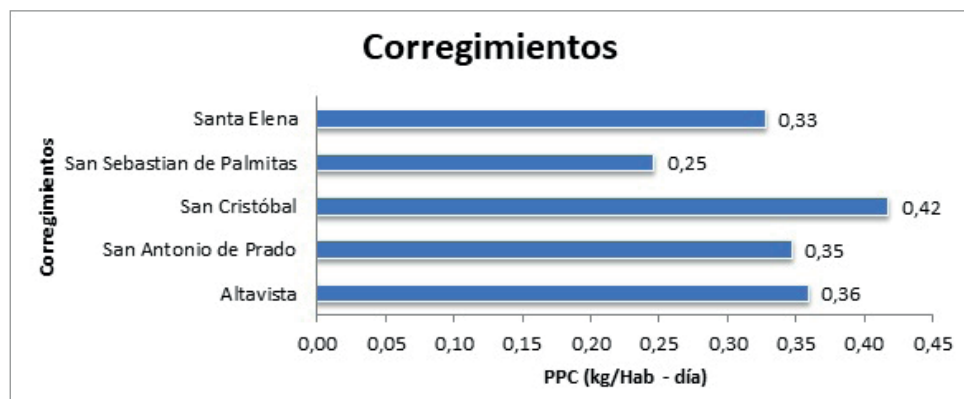
Y para hallar la PPC general de los corregimientos se utilizó la Ecuación 6

**Ecuación 6. Producción per Cápita para los corregimientos**

$$PPC_E: \frac{PPC_1 + PPC_2 + \dots + PPC_5}{5}$$

El resultado para la Producción per cápita para todos los corregimientos Medellín es de 0,34 kg/h- día. En el Gráfico 3 se aprecia el PPC para cada corregimiento.

**Gráfico 3. Producción Per-cápita para los Corregimientos**



**Fuente:** Elaboración propia

En la **Tabla 20** se puede comparar el PPC obtenido en el estudio actual con respecto a los PPC de los años 2014, 2011, 2009 y 2006, se puede observar que presenta una leve disminución, sin embargo, no cambia sustancialmente.



**Tabla 20. Comparación del PPC en estudios de caracterización de residuos sólidos anteriores para los corregimientos de Medellín**

2006 PPC (Kg/Hab- día)	2009 PPC (Kg/Hab - día)	2011 PPC (Kg/Hab - día)	2014 PPC (Kg/Hab - día)	2018 PPC (Kg/Hab - día)
0,27	0,39	0,45	0,36	0,34

**Fuente:** Elaboración propia.

Hay que tener en cuenta que, en el estudio anterior del 2014, el universo que se usó fue de 64 viviendas entre todos los corregimientos, en el presente estudio de caracterización, el universo son 257 viviendas, es decir, que los resultados no podrían ser comparados porque la diferencia entre los usuarios encuestados en la última caracterización de corregimientos con respecto a la actual es superior en datos, por lo tanto, arroja una información más certera.

Se puede decir que, los resultados que se obtuvieron en esta ocasión se acercan más a la realidad, debido a que representan un número más alto de la población censada, brindando al estudio más confiabilidad y precisión.

Para Medellín y sus comunas, el cálculo del PPC depende del estrato socioeconómico encontrado en las comunas, y se realizó teniendo en cuenta sólo las viviendas con dos muestras, en la **Tabla 21**.

**Tabla 21. Número de viviendas con dos muestras en Medellín**

Comuna	Total, Muestras recolectadas con las dos bolsas
C1 POPULAR	15
C2 SANTA CRUZ	20
C3 MANRIQUE	145
C4 ARANJUEZ	34
C5 CASTILLA	28
C6 DOCE DE OCTUBRE	26
C7 ROBLEDO	268
C8 VILLA HERMOSA	40
C9 BUENOS AIRES	39
C10 LA CANDELARIA	32
C11 LAURELES	106
C12 LA AMÉRICA	39





Comuna	Total, Muestras recolectadas con las dos bolsas
C13 SAN JAVIER	39
C14 EL POBLADO	41
C15 GUAYABAL	63
C16 BELEN	101
<b>TOTAL</b>	<b>1.036</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

Como se tuvo que hacer una programación nueva de encuestas y recolección debido a que, en la primera jornada, no se alcanzó el número de viviendas con dos muestras de residuos, se escogieron comunas estratégicas en donde hay presencia de los estratos socioeconómicos faltantes; en la comuna 7 hay presencia de todos los estratos, en el caso de la comuna 3 Manrique donde predominan los estratos 2 y 3, y donde predominan los estratos 4, 5 y 6 como en el caso de la comuna 11, es por esto que se aprecia en la tabla anterior, que hay un número mayor de viviendas con respecto a las otras comunas.

Si bien, se realizaron 1.578 encuestas en las 16 comunas de Medellín y en todos los estratos socioeconómicos, en el momento de la recolección de las muestras de residuos, sólo 1.036 viviendas cumplieron con la entrega de las dos muestras correspondientes a los días y frecuencia de recolección en cada comuna. De ahí que sólo se analicen los datos de las 1.036 viviendas para el cálculo de la Producción per cápita de Medellín y por estratos.

Para hallar la PPC de cada uno de los estratos socioeconómicos se calculó mediante la siguiente ecuación:

#### Ecuación 7. PPC por Estrato

$$\overline{PPCE1} : \left( \frac{PPC_1 + PPC_2 + \dots + PPC_n}{n} \right) * 1,60819$$

#### Donde:

- **PPC 1 + PPC2 +...+ PPCn:** es la sumatoria de las PPC de cada vivienda por estrato en cada comuna
- **n** es el número de viviendas por estrato muestreadas en Medellín
- **1,60819 es el factor de ponderación analítico**, que se obtiene multiplicando (para cada estrato) el peso de muestreo por el factor n/N, es decir, por la fracción de muestreo total,  $f = n/N$ , que relaciona el total de suscriptores del acueducto (N=644.202), con el número de viviendas muestreadas en total en los seis estratos, es decir, (n=1.036) (www.epidemos.wordpress.com, 2012), este factor se, multiplica por 1000 para dejar el valor en términos de miles.





El número de suscriptores de acueducto fue tomado de la base de datos EPM subsidios y contribuciones suministrada por la supervisión del contrato.

Y con la **Ecuación 8**, se obtiene la Producción Per cápita en todo Medellín

#### Ecuación 8. Producción per Cápita de Medellín

$$PPC_{Medellin} = \frac{PPC_{E1} + PPC_{E2} + \dots + PPC_{E6}}{N}$$

Donde N es el número de estratos muestreados en Medellín, es decir, 6 estratos. Usando los datos anteriores y la **Ecuación 8**, se obtuvo una PPC promedio para la ciudad de Medellín de **0,54 Kg/hab-día**, este resultado corresponde al promedio ponderado de los PPC para cada estrato. En la **Tabla 22** se observan los valores obtenidos para la producción per cápita por estrato.

**Tabla 22. PPC por estrato socio económico**

Estrato	Viviendas muestreadas (n)	PPC promedio (kg/hab-día)
1	93	0,52
2	330	0,52
3	320	0,55
4	152	0,50
5	110	0,60
6	31	0,55
<b>TOTAL/PROMEDIO</b>	<b>1.036</b>	<b>0,54</b>

**Fuente:** *Elaboración propia.*

Comparando con los estudios anteriores, en la Tabla 23 y en el Gráfico 4, se puede apreciar que para los estratos 1, 2 y 3 se obtuvo un aumento y que para los estratos 4, 5 y 6, la tendencia fue a disminuir, significativamente sobre todo en el estrato 6, en donde en el año 2014, reportados en el 2015, se obtuvo un PPC de 0,81 y en este estudio, el resultado fue de 0,55.







Tabla 23. Comparación de los PPC de los estudios de caracterización de residuos del 2006, 2009, 2011, 2014 y 2018.

ESTRATO	PPC 2006 (Kg/Hab-día)	PPC 2009 (Kg/Hab-día)	PPC 2011 (Kg/Hab-día)	PPC 2014 (Kg/Hab-día)	PPC 2018 (Kg/Hab-día)
1	0,32	0,34	0,44	0,37	0,52
2	0,29	0,37	0,47	0,41	0,52
3	0,42	0,42	0,52	0,43	0,55
4	0,45	0,52	0,6	0,53	0,50
5	0,55	0,7	0,74	0,65	0,60
6	0,69	0,99	0,88	0,81	0,55

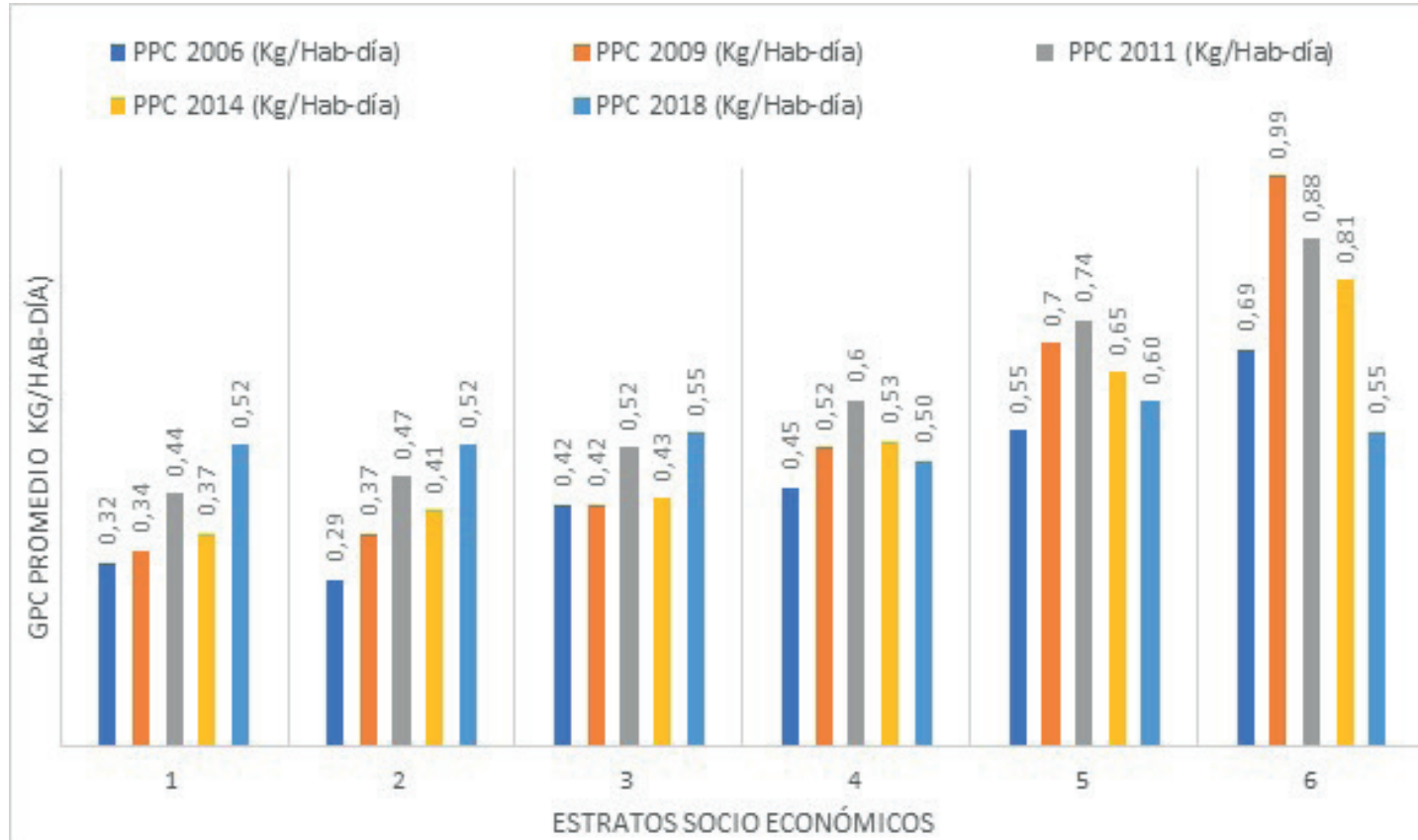
**Fuente:** Elaboración propia con datos tomados del (INFORME FINAL - ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN EL SECTOR RESIDENCIAL Y NO RESIDENCIAL DEL MUNICIPIO DE MEDELLÍN Y SUS CINCO CORREGIMIENTOS., 2014)

En el Gráfico 5 Se puede observar la tendencia creciente del PPC, a pesar de que viene de una disminución en el año 2014 con un valor de 0,5.





Gráfico 4. Comparación del PPC de estudios de caracterización de residuos sólidos de los años 2006, 2009, 2011, 2014 y 2018.

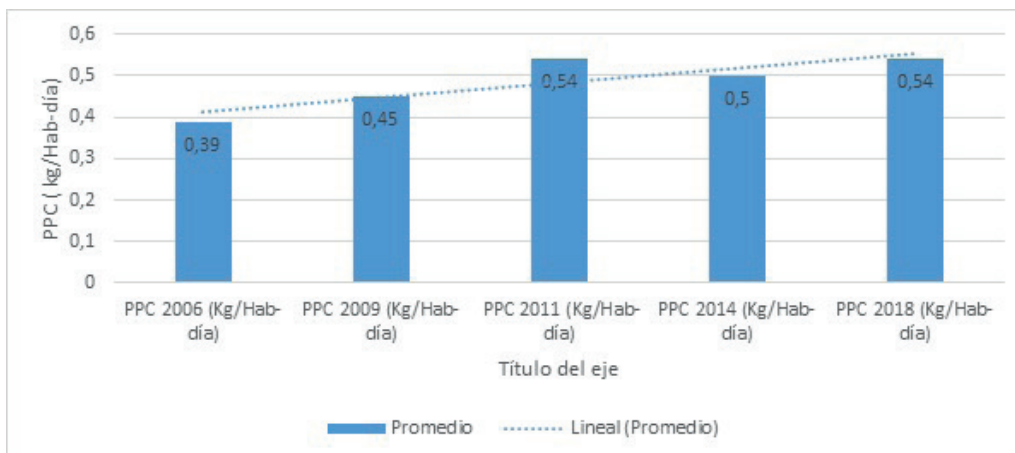


**Fuente:** Elaboración propia con datos del (INFORME FINAL - ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN EL SECTOR RESIDENCIAL Y NO RESIDENCIAL DEL MUNICIPIO DE MEDELLÍN Y SUS CINCO CORREGIMIENTOS., 2014)





Gráfico 5. Tendencia de la PPC promedio para el sector residencial en Medellín

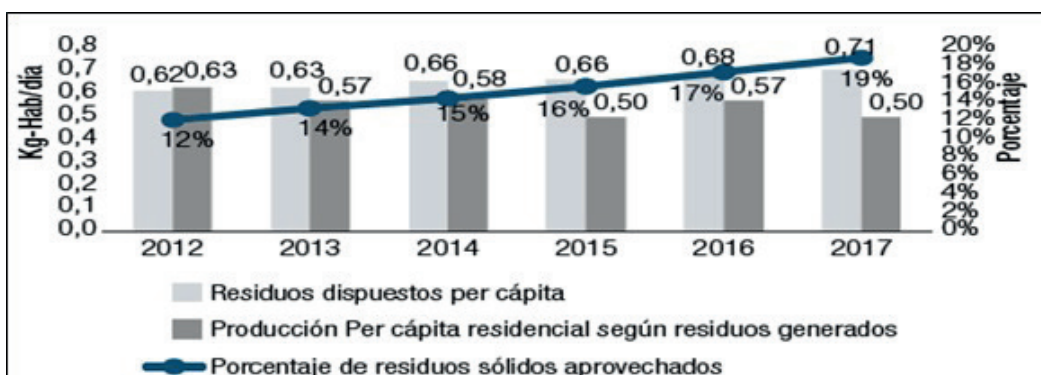


**Fuente:** Elaboración propia con datos del (INFORME FINAL - ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN EL SECTOR RESIDENCIAL Y NO RESIDENCIAL DEL MUNICIPIO DE MEDELLÍN Y SUS CINCO CORREGIMIENTOS., 2014)

Otros estudios como el (Informe de Calidad de Vida de Medellín 2017, 2018), reportan cifras similares para la PPC de la ciudad. Se puede decir que la tendencia es creciente tanto para la cantidad de residuos generados como para la cantidad de residuos dispuestos. En 2016 la cantidad de residuos dispuestos per cápita fue de 0,68 kg/hab-día, y en 2017 fue de 0,71 kg/hab-día.

Para el caso de los residuos generados, se puede observar un comportamiento relativamente estable de la producción residencial per cápita de residuos sólidos que aumentó entre 2015 y 2016 al pasar de 0,5 kg/hab-día a 0,57 kg/hab-día. En la Ilustración 12 se pueden ver dichas tendencias.

Ilustración 12. Gráfico Producción de residuos per cápita (kg-Hab/Día), residuos totales dispuesto per cápita y porcentaje de aprovechamiento entre el 2012-2017.



**Fuente:** Subdirección de Información y EMVARIAS (Residuos dispuestos per cápita)  
El indicador de generación de producción per cápita corresponde a residuos residenciales, mientras que la disposición de residuos corresponde al total dispuesto.

**Fuente:** Tomado de (Informe de Calidad de Vida de Medellín 2017, 2018)





Según la Secretaría de Medio Ambiente y los últimos informes de Calidad de Vida, la tasa de reciclaje en el sector residencial de Medellín, ha presentado un aumento en el porcentaje de residuos sólidos aprovechados, pasando de 16% en 2015 a 17% en 2016 y a 19% en el 2017. Sin embargo, de acuerdo con los registros de EMVARIAS, tanto la generación como la disposición de los residuos han aumentado en los últimos tres años, como se evidencia en la siguiente tabla:

**Tabla 24. Toneladas de residuos generados y dispuestos en Medellín en 2016, 2017 y 2018**

Año	Residuos dispuestos (ton/año)	Residuos generados (ton/año)
2016	627.733,6	733.201,16
2017	647.910,811	765.044,56
2018	661.563	816.571

**Fuente:** Datos tomados de los informes de calidad de vida 2016 y 2017, además dato suministrado por la supervisión del contrato.

## 10.1. Análisis estadístico

El análisis estadístico que a continuación se explica, fue realizado con el apoyo del software estadístico para análisis SPSS versión 25 y Excel Office versión 2013.

Para validar los datos y el comportamiento del índice de PPC obtenido en cada uno de los estratos socioeconómicos durante la realización del trabajo de campo en el Municipio de Medellín, en la **Tabla 25**, se muestra el resumen de los indicadores de PPC y los valores estadísticos descriptivos de los mismos, según la evaluación realizada para 1.036 muestras en el 2018.

**Tabla 25. Indicadores de la PPC para el sector residencial de Medellín**

n	Estrato	Media	Desviación estándar	Error estándar	Mínimo	Máximo
93	1	0,52	0,2903	0,030107163	0,04	1,91
330	2	0,52	0,2587	0,014238957	0,03	2,79
320	3	0,55	0,2222	0,012419405	0,04	1,62
152	4	0,50	0,2300	0,018655975	0,04	1,54
110	5	0,60	0,2881	0,02746965	0,04	2,09
31	6	0,55	0,2536	0,04555274	0,03	1,00

**Fuente:** Elaboración propia



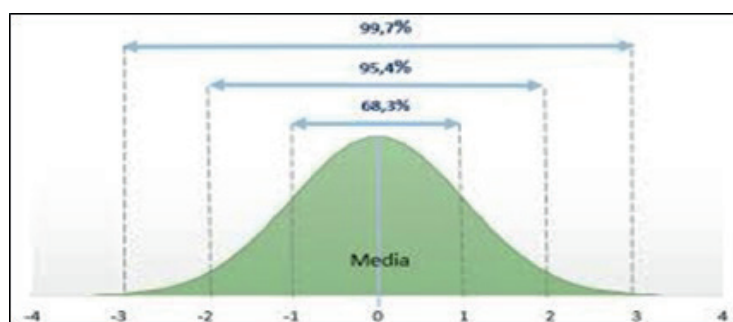


El valor de  $n$  representa el tamaño de la muestra que fue necesario para el estudio de caracterización de residuos sólidos en la ciudad de Medellín en los 6 estratos socioeconómicos a partir de los cuales se hicieron inferencias, este  $n$  es un valor representativo de la población de referencia, es decir, del tamaño real del número de viviendas suscriptoras al servicio de acueducto, según la Base de Datos de la Secretaría de Gestión y Control Territorial y de los Subsidio y Contribuciones de EPM.

Con Media muestral se estima la media poblacional para cada uno de los estratos analizados, lo que supone que todos los valores del PPC de cada una de las viviendas, deberían estar cercanos a este valor para comprobar la homogeneidad de la generación de residuos para cada uno de los mismos.

En la **Ilustración 13**, se puede apreciar la explicación de la desviación estándar, la cual indica qué tan dispersos están los datos con respecto a la media. Mientras mayor sea la desviación estándar, mayor será la dispersión de los datos y viceversa.

### Ilustración 13. Explicación gráfica de los intervalos de confianza



**Fuente:** (Inbestme.com, 2014)

Lo anterior quiere decir que, para cada uno de los estratos socioeconómicos, los valores de los PPC individuales están dispersos entre el cálculo de la media y (+- dos) la desviación estándar, si se tiene un intervalo de confianza del 95%, como se muestra en la **Tabla 26**, en donde también se puede analizar la homogeneidad o heterogeneidad de los datos, cuando se tienen en cuenta los Límites inferior y superior de los valores predichos o del pronóstico.

**Tabla 26. Intervalos de confianza para el pronóstico de los datos de la PPC para el año 2018**

Estrato	Media	Desviación Estándar	Valores del PPC por Estrato		Rango Valores del Intervalo de confianza para el pronóstico al 95%	
			Mínimo	Máximo	Límite inferior	Límite superior
1	0,52	0,29	0,04	1,91	-0,06	1,11
2	0,52	0,26	0,03	2,79	0,01	1,04
3	0,55	0,22	0,04	1,62	0,10	0,99





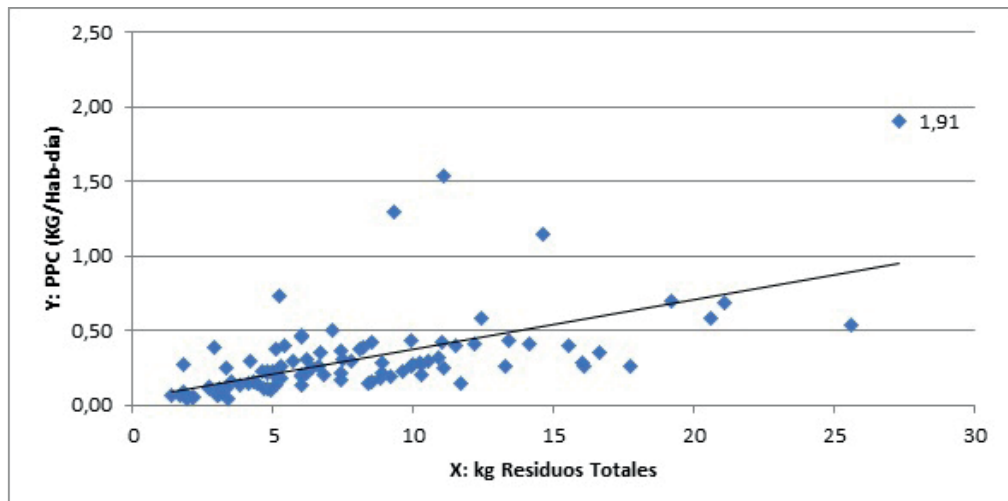
Estrato	Media	Desviación Estándar	Valores del PPC por Estrato		Rango Valores del Intervalo de confianza para el pronóstico al 95%	
			Mínimo	Máximo	Límite inferior	Límite superior
4	0,50	0,23	0,04	1,54	0,04	0,96
5	0,60	0,29	0,04	2,09	0,02	1,18
6	0,55	0,25	0,03	1,00	0,04	1,05

**Fuente:** Elaboración propia

Los rangos de valores del PPC o también conocido como intervalos de confianza para el pronóstico en la **Tabla 26**, indican que el 95% de los datos de la producción per cápita individual de todo el estudio están en este rango, es decir, que la población muestra un comportamiento homogéneo frente la generación de residuos.

A su vez, se obtuvo que los valores mínimos están dentro del rango del intervalo de confianza para el pronóstico, a excepción del valor mínimo del estrato 3 y del estrato 6 que no se cuentan dentro del intervalo de confianza del pronóstico. Sin embargo, todos los valores máximos sobrepasan el límite superior, es decir, no se encuentran dentro del intervalo de confianza, eso quiere decir que en todos los estratos se presenta un sesgo a la derecha, que pueden atribuirse a muestras atípicas, como se muestran en las siguientes graficas de dispersión para cada uno de los estratos.

**Gráfico 6. Dispersión datos de PPC para el estrato 1 en Medellín**

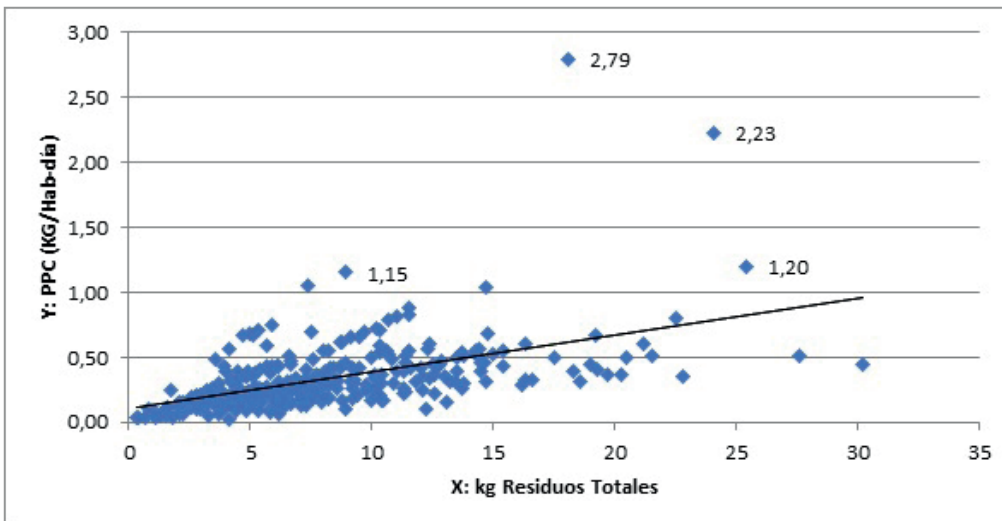


**Fuente:** Elaboración propia



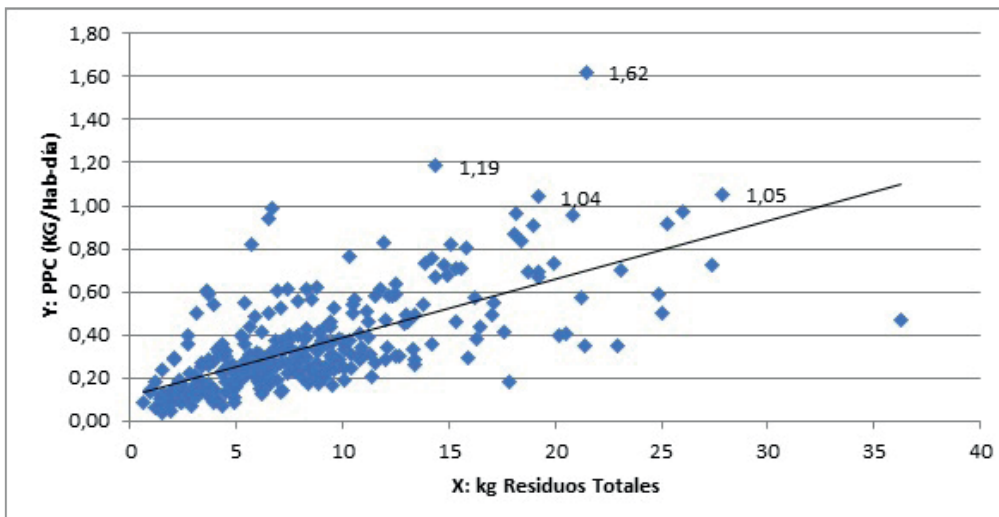


Gráfico 7. Dispersión de datos de la PPC para el estrato 2 en Medellín



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8. Dispersión de datos de la PPC para el estrato 3 en Medellín

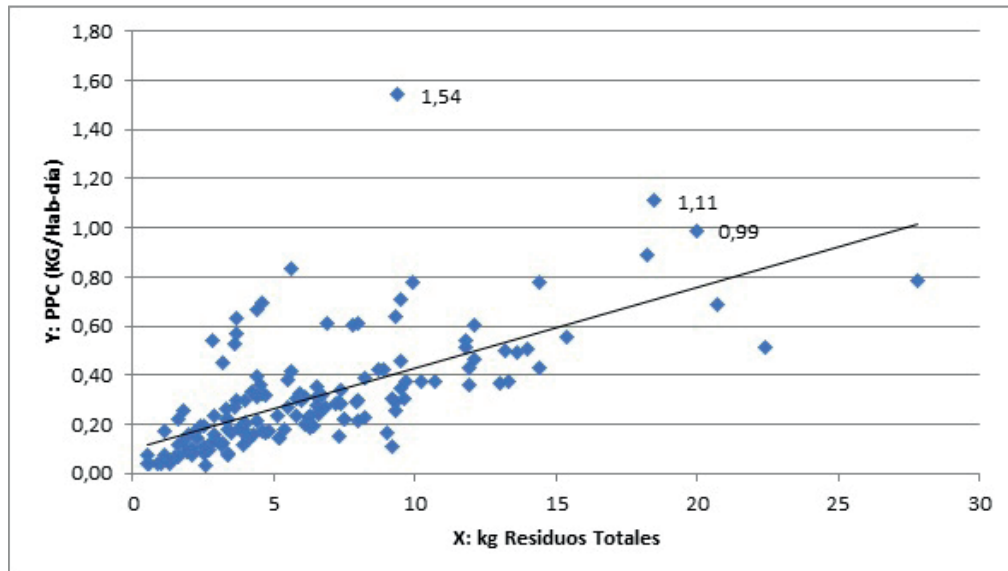


Fuente: Elaboración propia



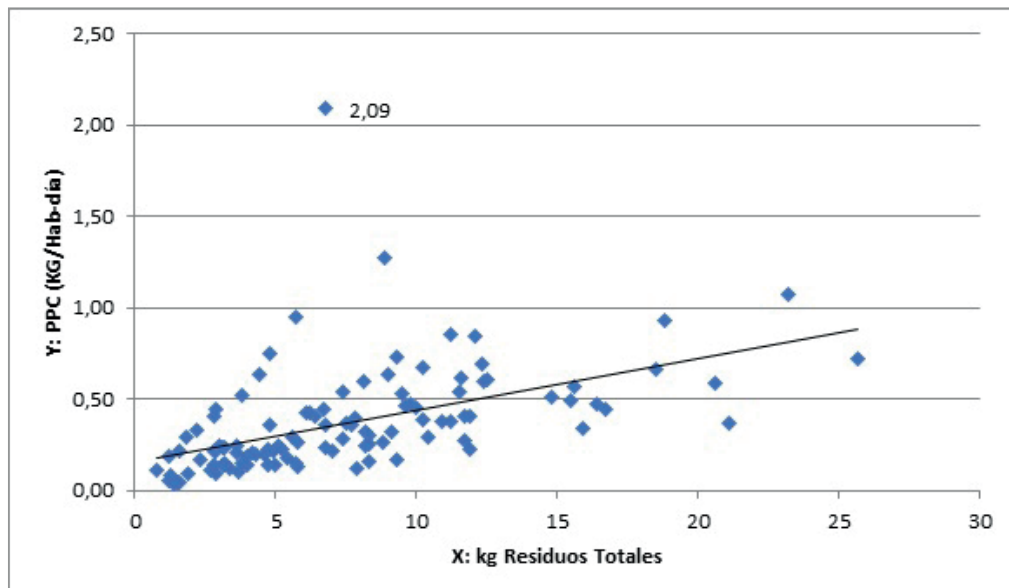


Gráfico 9. Dispersión de datos de la PPC para el estrato 4 en Medellín



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 10. Dispersión de datos de la PPC para el estrato 5 en Medellín



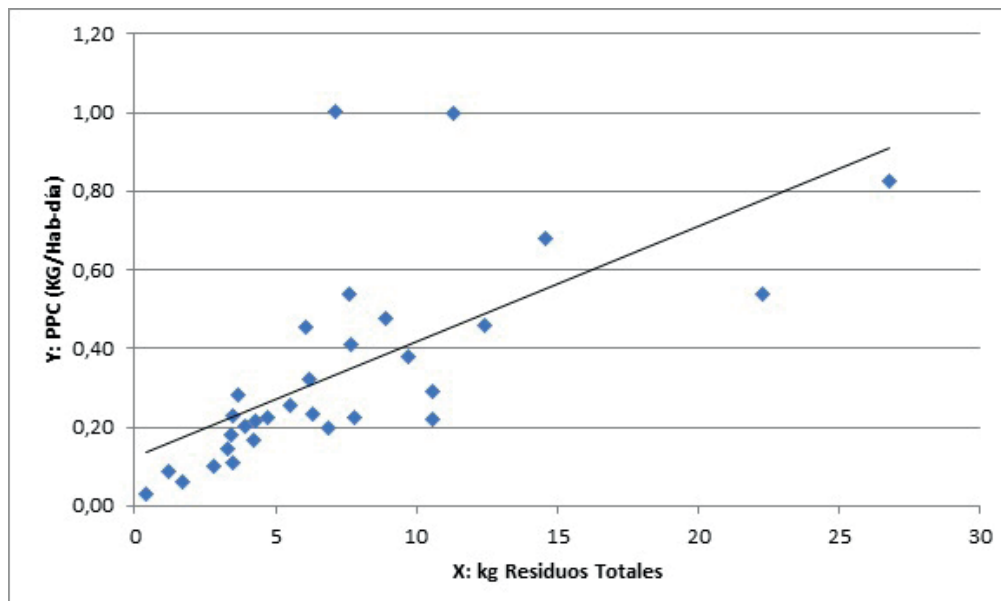
Fuente: Elaboración propia







Gráfico 11. Dispersión de datos de la PPC para el estrato 6 en Medellín



Fuente: Elaboración propia

De los gráficos anteriores se puede concluir que en todos los estratos existen viviendas con muestras atípicas, bien sea por el número de habitantes o por la cantidad de residuos que generan, entre otras razones como: cambio en los hábitos de consumo, estilos de vida, educación, ambientes sociales diferentes, entre otros.

De una muestra de 1.036 viviendas para el estudio de caracterización de los residuos sólidos de la ciudad de Medellín, tener aproximadamente 16 datos atípicos confirma con un 95% de confianza que los valores del PPC de este estudio se encuentran dentro del rango de valores, adicional a esto, los PPC por estrato están alrededor de la media de cada uno de los mismos y se tiene una buena dispersión, es decir, hay homogeneidad de los datos en cada uno de los estratos.

El Intervalo de Confianza del 95% para la media poblacional indica que, si el estudio se realiza cualquier cantidad de veces dentro de un período de tiempo determinado, en el 95% de los casos la media de cada uno de los ensayos estará dentro de ese intervalo. La comparación estadística del valor de la media para los estudios del 2009, 2011, 2014 y 2018 respecto a los intervalos de confianza se muestran en la **Tabla 27**



**Tabla 27. Comparación estadística de la media de los diferentes estudios de caracterización de residuos sólidos en Medellín desde el 2009 hasta el 2018**

Estrato	Media				Intervalo de confianza 95% para la media		
	Año	2009	2011	2014	2018	Límite inferior	Límite Superior
1		0,34	0,41	0,37	0,52	0,47	0,58
2		0,37	0,47	0,41	0,52	0,50	0,55
3		0,43	0,52	0,43	0,55	0,52	0,57
4		0,52	0,60	0,53	0,50	0,46	0,53
5		0,70	0,74	0,65	0,60	0,55	0,65
6		0,99	0,88	0,81	0,55	0,46	0,64

**Fuente:** Elaboración propia con datos del estudio de caracterización de (Universidad de Medellín, 2014) Con

los datos de la **Tabla 27** se puede contrastar si los valores de la media calculada en años anteriores se encuentran dentro del intervalo de confianza obtenido en este estudio. Se observa que para el año 2009 solo el valor de la media del estrato 4 se encuentra en el intervalo de este estudio. Para la media del año 2011 solo el estrato 3 se encuentra en el límite inferior del intervalo y para el año 2014 solo los valores de la media de los estratos 4 y 5 se encuentran el límite superior del intervalo de confianza.

Para el resto de los valores, la media de los estratos 1, 2, 3, 5 y 6 del 2009, la media de los estratos 1, 2, 4, 5 y 6 del año 2011 y la media de los estratos 1, 2, 3 y 6 del año 2014, no se encuentran dentro del intervalo de confianza del estudio actual, esto puede deberse a cambios en los hábitos de consumo de la población de Medellín y al aumento de la misma, que está directamente relacionado con el aumento del índice de producción per cápita entre los años 2014 y 2018.

En conclusión, se puede inferir que el presente estudio arrojó datos de PPC promedio inferiores a los reportados en el 2009 y 2014, y cercanos a los del estudio de 2011, sin embargo, al comparar los datos para la PPC promedio, se puede observar una tendencia creciente del índice para el año 2018, lo que corrobora la variabilidad del comportamiento de los resultados de este estudio a través del tiempo, como se puede apreciar en el Gráfico 5. Tendencia de la PPC promedio para el sector residencial en Medellín.

El análisis Anova es una prueba estadística que señala si las variables son dependientes o independientes. Esta prueba está relacionada con base a si las medias de la variable dependiente (PPC) son diferentes en las categorías o grupos de la variable independiente (estratos). Es decir, señala si las medias entre dos o más grupos son similares o diferentes. Se usa un análisis **Anova** de un factor en cuando se quiere saber si las medias de una variable son diferentes entre los niveles o grupos de otra variable.





A continuación, se plantea una prueba de hipótesis donde se determina si todas las medias de los estratos son iguales contra una prueba de hipótesis alternativa sobre si al menos una de las medias de los estratos difiere.

**Tabla 28. Análisis de varianza para comparar los resultados de los diferentes estudios de la PPC en Medellín- sector Residencial**

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	GL	Media Cuadrática	F	Probabilidad
Entre grupos	0,2909	5	0,0582	0,9273	0,046225938
Dentro de los grupos	64,6272	1030	0,0627	-	-
<b>Total</b>	<b>64,9181</b>	<b>1035</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

**Fuente:** Elaboración propia.

Al realizar este análisis de varianza por medio de la prueba **Anova**, ver **Tabla 28**, para verificar la diferencia de medias de la PPC entre los estratos socioeconómicos, se obtiene que el valor probabilidad  $P < 0,05$ , con una confiabilidad del 95%. Con lo anterior, se puede rechazar la hipótesis que todas las medias de los estratos son iguales y afirmar la hipótesis alternativa que al menos una de las medias es diferente, esto conlleva a concluir que la producción per cápita entre los estratos socioeconómicos tiene una diferencia o son independientes, Es decir, hay suficiente evidencia que cada estrato debe ser tratado y analizado de forma independiente, ver **Gráfico 4. Comparación del PPC de estudios de caracterización de residuos sólidos de los años 2006, 2009, 2011, 2014 y 2018.**

En el siguiente aparte, se analizarán algunos aspectos de manera que se explique la influencia de estos en los resultados.

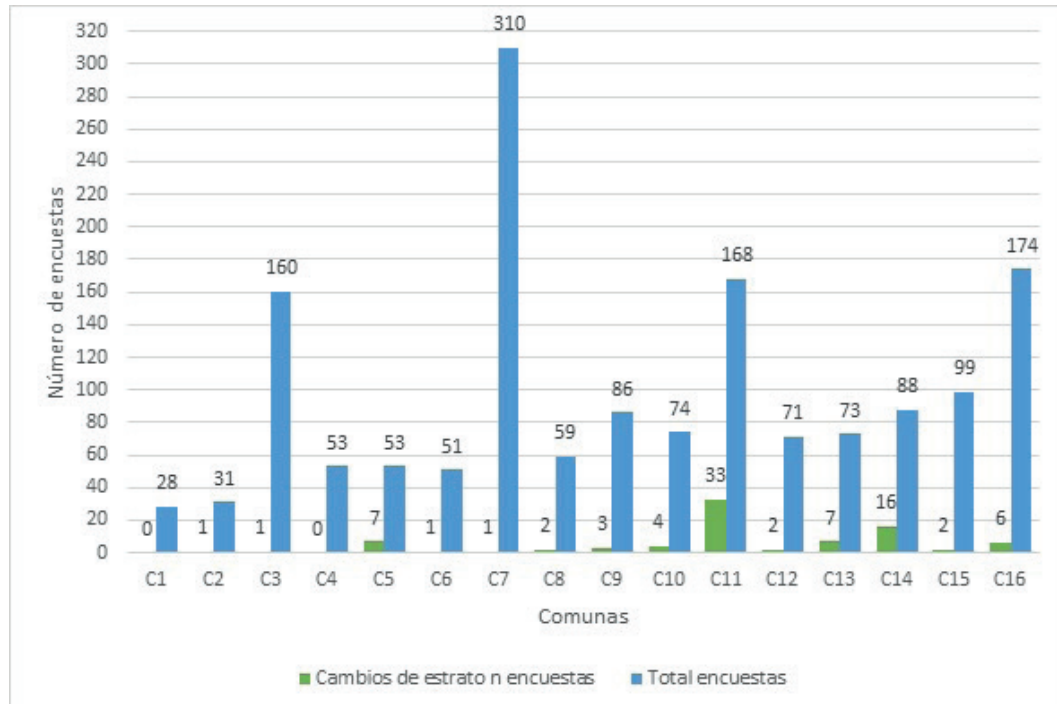
- **El cambio en la estratificación de algunas zonas de Medellín,**

Se evidenció que, en los primeros meses del 2018, en la comuna 11 Laureles-Estadio, se presentaron cambios en la estratificación de las viviendas, esta situación en particular se vio reflejada en las encuestas designadas ya que en principio se asignó un estrato teniendo en cuenta la estratificación predominante en cada comuna, y al momento de realizar la encuesta, los usuarios manifestaban que su vivienda tenía asignado otro estrato. De 167 encuestas que se realizaron en la comuna 11, Se presentaron aproximadamente 33 cambios de estrato como se puede apreciar en el **Gráfico 12**, en donde también se aprecia que los estratos predominantes se mantienen en casi todas las comunas, con excepción de la comuna 11 y la comuna 14.





**Gráfico 12. Cambios de estratificación según 1578 encuestas realizadas en el sector residencial en Medellín**



**Fuente:** Elaboración propia

### El cambio en infraestructura habitacional en Medellín, muy ligada al primer aspecto

Es relevante tener en cuenta los cambios en los últimos cuatro años que ha tenido la ciudad en cuanto a infraestructura, aumento de cobertura de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo, entre otros, ya que podría comenzar a presentarse un patrón de producción en función del origen por sector socioeconómico clasificados en 6 estratos socioeconómicos

En el Informe de calidad de Vida del 2016 de la Alcaldía de Medellín reportan que “En 2004, el número total de viviendas urbanas en Medellín era de 544.002 y, al cierre del período, en 2016, habían llegado a 824.807, esto es 280.805 viviendas más que en 2004, lo que equivalió a un crecimiento de 52%”.

Se habla también que Medellín tiene un déficit cuantitativo (número de viviendas) y cualitativo (calidad de las viviendas), “en el 2016 el déficit cuantitativo de vivienda totalizó 32.481 viviendas, esto es 8.282 viviendas más que en 2015. Por su parte, el déficit cualitativo al cierre de 2016 totalizó 51.408 viviendas. Al igual que el déficit cuantitativo, la mayor proporción estuvo en los estratos uno y dos, no obstante, para el estrato uno se observó una reducción del déficit. En cuanto a los componentes, el que mayores carencias presentó fue el de conexión a los servicios públicos de acueducto y alcantarillado” (Alcaldía de Medellín - Medellín Como Vamos, 2016)





## El acceso a servicios públicos

Desde hace varios años ha venido en aumento la cobertura con respecto a los servicios públicos, sin embargo, a 2016, “53.000 hogares carecían del servicio de alcantarillado y 38.000 del servicio de acueducto. La Alcaldía de Medellín en asocio con Empresas Públicas de Medellín están trabajando en un Plan para llevar estos servicios a 40.200 viviendas en la ciudad a 2019, de los cuales en 2016 alcanzaron algo más del 10% (4.813)” (Alcaldía de Medellín - Medellín Como Vamos, 2016)

## Las rutas selectivas que ha implementado Emvarias, por ejemplo, la ruta recicla en la comuna 14.

Esta ruta fue implementada por Emvarias desde noviembre del 2017, por la cual pasa alguno de los 4 vehículos compactadores de la Ruta de Reciclaje, la frecuencia es de una vez a la semana por cada zona residencial, entre las 6 am y las 2pm, y en la zona rosa y comercial de El Poblado, de lunes a sábado entre las 10 pm y las 2 am. Esta ruta solo capta papel, vidrio, plástico, cartón y latas limpias de bebidas y alimentos, es decir, residuos aprovechables. Estos residuos sólidos aprovechables son los “que han sido clasificados y pesados en una Estación de Clasificación y Aprovechamiento (ECA) por la persona prestadora de la actividad y han sido comercializados para su incorporación a una cadena productiva, contando con el soporte de venta a un comercializador o a la industria”

De acuerdo con las cifras reportadas en la página de Emvarias, se han captado desde noviembre de 2017 a agosto de 2018, 261.132 kg de residuos aprovechables. (Empresas Varias de Medellín- Grupo EPM, 2017).

**Ilustración 14. Publicidad de la Ruta Recicla en la comuna 14- Sector Residencial y no Residencial.**



**Fuente:** Foto tomada al Volante de Ruta Recicla entregado a usuarios de la comuna 14





## Programas del Municipio con respecto al fomento de la separación en la fuente

Desde la Alcaldía de Medellín, se viene trabajando en diferentes programas como la recuperación de puntos críticos en las comunas 2, 8, 9 y 13, la promoción de la interacción de los recuperadores de residuos con la ciudadanía, posibilitando la recolección de 69 kilogramos diarios por reciclador, en promedio, de residuos sólidos aprovechables. A la fecha se cuenta con 12 centros de acopio de residuos aprovechables. La mayoría de estos programas y proyectos están orientados al acompañamiento y la formalización de recicladores y a mejorar la gestión adecuada de los residuos en la ciudad. Todo lo anterior, con el objetivo de llegar a la meta de 25% de la tasa de aprovechamiento al término del cuatrienio. A 2018 esta tasa es en 19%. (Informe de Calidad de Vida de Medellín 2017, 2018)



*Fuente: Tomada por personal del Consorcio Residuos Sólidos Medellín.*

“ Los sistemas de gestión de residuos no han recibido tanta atención en el proceso de planificación de las ciudades como otros sectores, por ejemplo, el agua o la energía. ”





## 11. DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD Y LA COMPOSICIÓN FÍSICA PORCENTUAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL SECTOR RESIDENCIAL DE MEDELLÍN Y SUS CINCO CORREGIMIENTOS

De acuerdo con el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO F Sistemas de Aseo Urbano/,2012, la caracterización de los residuos se define como la “*Determinación de las características cualitativas y cuantitativas de los residuos sólidos, identificando sus contenidos y propiedades de interés con una finalidad específica*”.

A continuación, se presentan los resultados del cálculo de la densidad libre y la clasificación por tipología de residuos que se obtuvo en la caracterización de las muestras de acuerdo con la metodología descrita.

De todas las caracterizaciones realizadas para el sector residencial, se enviaron 63 muestras al laboratorio del Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares GIEM de la Universidad de Antioquia, para la realización de las pruebas de laboratorio respectivas. Este laboratorio cuenta con la certificación por parte del Instituto Colombiano Agrario (ICA como laboratorio de control de calidad de Fertilizantes y Acondicionadores Inorgánicos y Orgánicos).

En primer lugar, se presentarán los resultados de las caracterizaciones fisicoquímicas y microbiológicas de las muestras de residuos para el sector residencial de los cinco corregimientos y en segundo lugar para las muestras del sector residencial de Medellín.

### 11.1. Resultados de la densidad libre

La densidad es el peso de un material por unidad de volumen. Se define también como la medida de la masa dentro de un volumen dado, la cual se calculó usando la **Ecuación 3. Densidad de las muestras**.

En este caso, se usó un factor de ponderación analítico, que se obtiene multiplicando (para cada estrato) el peso de muestreo por el factor  $n/N$ , es decir, por la fracción de muestreo total,  $f = n/N$ , que relaciona el total de suscriptores del acueducto ( $N=694.981$ ), con el número de viviendas muestreadas en total en los seis estratos más las viviendas muestreadas en los cinco corregimientos, es decir, ( $n=1.293$ ) ([www.epidemos.wordpress.com](http://www.epidemos.wordpress.com), 2012), este factor se multiplica por 1.000 para dejar el valor en términos de miles.

Para el cálculo de la densidad se usó un factor de ponderación calculado teniendo en cuenta los corregimientos como un “estrato adicional”; estadísticamente, los corregimientos se pueden incluir dentro de la ponderación puesto que la densidad se calcula con el peso y el volumen de las muestras antes de hacer la separación por estratos y sus respectiva caracterización por tipología de residuos, así mismo, para los corregimientos no se tuvo en cuenta el estrato socioeconómico para el cálculo de la densidad, por tanto, se puede usar el factor de ponderación anteriormente descrito.

A diferencia del cálculo de la PPC el cual se calculó usando los pesos por vivienda y por estrato socioeconómico, y para el caso de la PPC de los corregimientos no se tuvo en cuenta





la clasificación por estrato socioeconómico, por lo que no se pueden incluir para el cálculo de un factor de ponderación.

El número de suscriptores de acueducto fue tomado de la base de datos de EPM subsidios y contribuciones suministrada por la supervisión del contrato. **Ver Tabla 29**

**Tabla 29. Número de suscriptores y número de viviendas muestreadas para el sector Residencial de Medellín y sus cinco corregimientos**

ESTRATOS	Suscriptores Acueducto	Total, viviendas por Estratos Programadas	Total, vivienda por Estratos Realizadas
1	55.922	95	93
2	198.457	339	330
3	205.618	351	320
4	86.286	147	152
5	63.493	108	110
6	34.426	59	31
CORREGIMIENTOS	50.779	320	257
<b>Total</b>	<b>694.981</b>	<b>1.419</b>	<b>1.293</b>

*Fuente: Elaboración propia.*

**Tabla 30. Densidad libre para los cinco corregimientos**

Corregimiento	Densidad Total (Kg/m3)
SAN CRISTOBAL	156,019
SAN ANTONIO DE PRADO	226,753
ALTAVISTA	189,613
PALMITAS	127,946
SANTA ELENA	166,436
PROMEDIO	173,352

*Fuente: Elaboración propia.*







En la **Tabla 30** se pueden observar los resultados para cada corregimiento. El valor más alto fue para San Antonio de Prado con 226,753 Kg/m<sup>3</sup> y el valor más bajo fue para San Sebastián de Palmitas con una densidad de 127,946 Kg/m<sup>3</sup>. Estos resultados concuerdan con la cantidad de residuos que se caracterizó en cada caso, es decir, el valor de los residuos orgánicos en el corregimiento de San Antonio de Prado fue más alto con respecto a los demás corregimientos, y en San Sebastián de Palmitas, la cantidad de residuos orgánico fue menor.

En la **Tabla 31** se presentan los resultados de las densidades libres ponderadas para cada estrato en Medellín y para el promedio de la densidad de los corregimientos.

**Tabla 31. Resultados de la densidad libre de los residuos sólidos en el sector residencial de Medellín y promedio Corregimientos**

Corregimiento	Densidad Total (Kg/m <sup>3</sup> )
1	238,95
2	236,11
3	242,53
4	204,53
5	229,80
6	183,31
Corregimientos	173,35
Promedio	218,175

**Fuente:** Elaboración propia.

Los valores más altos se presentaron en los estratos socioeconómicos 1 y 3 con valores de 238,95 Kg/m<sup>3</sup> y 242,53 kg/m<sup>3</sup> respectivamente, los valores más bajos fueron para los estratos 4 y 6 con 204,53 kg/m<sup>3</sup> y 183,31 kg/m<sup>3</sup> respectivamente. Desde el punto de vista del volumen, es posible que los estratos 4, 5 y 6 haya producido un mayor volumen de residuos que ocupan más espacio, aunque su peso no sea alto, también puede ser porque a diferencia del estudio pasado, en este caso, se tuvieron en cuenta más zonas y comunas por estrato, por lo cual el estudio puede ser susceptible a cambios en la producción de residuos de acuerdo con la comuna y no al estrato, tema que no se ha contemplado en este tipo de estudios de caracterización.

Con respecto a la densidad de los corregimientos del estudio del 2014 (209,36Kg/m<sup>3</sup>), se observa un valor menor (173,35 Kg/m<sup>3</sup>), esto puede deberse a que el número de muestras caracterizadas en este estudio fue significativamente menor con respecto a los estudios anteriores, es decir que, tanto el peso como el volumen de los residuos fue menor con respecto las muestras pasadas y al realizar la caracterización los valores fueron más altos.

En este caso, no se puede decir que el aumento de la densidad se debe a la cantidad de residuos orgánicos generados, ya que en este estudio, no se cumple porque como se puede





observar en la **Tabla 34** para los corregimientos, el porcentaje de residuos más alto fue el de residuos ordinarios seguido de los residuos biodegradables en cuatro de los cinco corregimientos, y para el caso de Medellín, en la **Tabla 35** se puede observar que el porcentaje de residuos biodegradables fue más alto para los estratos 4, 5 y 6 con 43,46%, 42,15% y 45,20% respectivamente y corresponden a las densidades más bajas. En conclusión, no se puede atribuir que un valor de densidad alto sólo se deberá al porcentaje de residuos biodegradables, sino que se debe tener en cuenta, que los residuos ordinarios afectan de manera importante el peso de las muestras, así como en la densidad.

Si se mira desde el punto de vista de la separación en la fuente y de material reciclable, se obtuvo que la cantidad de material reciclable que se caracterizó con respecto al peso de residuos que se recolectó fueron más altas en estos mismos estratos 4,5 y 6, como se puede apreciar en la **Tabla 32**.

Otra razón para la posible afectación de la densidad pudo deberse a una mayor generación de materiales poco densos como los ordinarios y los plásticos.

**Tabla 32. Porcentaje de reciclaje encontrado en las caracterizaciones de residuos sólidos en el sector residencial.**

Estrato	1	2	3	4	5	6	Total
Peso total (kg)	758,10	2.466,62	2.483,10	836,10	733,80	199,90	7.478
Peso reciclaje (kg)	14,60	116,00	151,00	117,30	93,40	29,10	521
% Peso Reciclaje	1,9%	4,7%	6,1%	14,0%	12,7%	14,6%	7%

**Fuente:** Elaboración propia.

Como se puede ver, el porcentaje más alto de reciclaje es el del estrato 6 con un 14,6% y el del estrato 4 con un 14%. Los porcentajes más bajos fueron para los estratos 1, 2 y 3 con 1,9%, 4,7% y 6,1% respectivamente. Comparando los resultados con los del estudio del año 2014 (**Tabla 33**), las diferencias son significativamente altas, esto debido a que se muestrearon más viviendas, por lo tanto, hubo más material para procesar en cada estrato socioeconómico como en cada corregimiento.

**Tabla 33. Comparativo de la densidad promedio del estudio de caracterización de los años 2014 y 2018**

Estrato socioeconómico	Densidad libre promedio (Kg/m <sup>3</sup> ) 2014	Densidad libre promedio (Kg/m <sup>3</sup> ) 2018
1	250,66	238,95
2	246,08	236,11
3	242,14	242,53
4	238,76	204,53





Estrato socioeconómico	Densidad libre promedio (Kg/m3) 2014	Densidad libre promedio (Kg/m3) 2018
5	243,26	229,80
6	251,59	183,32
Corregimientos	209,36	173,35
Promedio Ponderado	241,1	218,175

**Fuente:** Elaboración propia.

## 11.2. Composición física porcentual de los residuos sólidos en los cinco corregimientos

A continuación, se presentan los resultados de las composiciones físicas porcentuales que se obtuvieron de las caracterizaciones realizadas en los cinco corregimientos, las 16 comunas y sus 6 estratos socioeconómicos.

En primera instancia se analizarán los resultados de los cinco corregimientos con sus respectivos gráficos, ver Gráfico 13, Gráfico 14, Gráfico 15, Gráfico 16, Gráfico 17 y Gráfico 18.

En segunda instancia se presentan los resultados consolidados del sector residencial de Medellín analizado por estrato socioeconómico, en tercera instancia se realizó un análisis más puntual por estrato y se compararan los resultados con los estudios anteriores.

En la Tabla 34, se presentan los resultados de la composición física porcentual de los residuos sólidos para los corregimientos.

**Tabla 34. Compilación de la Composición física porcentual de los residuos sólidos generados en el sector residencial de los cinco corregimientos**

CORREGIMIENTO	SC	SA	ALT	PAL	SE	Promedio
COMPONENTE	%	%	%	%	%	%
<b>BIODEGRADABLE Y PUTRESCIBLES</b>	<b>23,21%</b>	<b>43,67%</b>	<b>28,10%</b>	<b>29,46%</b>	<b>30,55%</b>	<b>31,00%</b>
Residuos de alimentos	23,21%	41,46%	23,42%	29,46%	30,55%	29,62%
Residuos de jardín y poda	0,00%	2,21%	4,68%	0,00%	0,00%	1,38%
<b>MADERA</b>	<b>0,07%</b>	<b>0,16%</b>	<b>0,38%</b>	<b>0,97%</b>	<b>0,08%</b>	<b>0,33%</b>
<b>PAPEL</b>	<b>1,27%</b>	<b>0,22%</b>	<b>2,25%</b>	<b>0,62%</b>	<b>2,79%</b>	<b>1,43%</b>
<b>CARTÓN</b>	<b>3,51%</b>	<b>1,95%</b>	<b>1,56%</b>	<b>5,45%</b>	<b>4,89%</b>	<b>3,47%</b>





CORREGIMIENTO	SC	SA	ALT	PAL	SE	Promedio
COMPONENTE	%	%	%	%	%	%
<b>PLÁSTICOS</b>	<b>15,76%</b>	<b>11,19%</b>	<b>9,72%</b>	<b>14,27%</b>	<b>14,61%</b>	<b>13,11%</b>
PET (1)	7,04%	1,91%	1,63%	1,73%	3,13%	3,09%
PEAD (2)	0,12%	0,91%	2,60%	0,84%	2,10%	1,32%
PVC (3)	0,37%	0,00%	0,88%	0,22%	0,61%	0,41%
PEBD (4)	6,58%	7,24%	0,85%	9,88%	1,67%	5,24%
PP (5)	0,93%	0,53%	1,25%	0,22%	4,84%	1,55%
PS (6)	0,73%	0,51%	0,83%	1,37%	1,78%	1,04%
<b>OTROS PLÁSTICOS (7)</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,10%</b>	<b>1,68%</b>	<b>0,00%</b>	<b>0,48%</b>	<b>0,45%</b>
<b>VIDRIO</b>	<b>4,55%</b>	<b>3,91%</b>	<b>2,15%</b>	<b>1,91%</b>	<b>8,00%</b>	<b>4,10%</b>
<b>METALES</b>	<b>2,44%</b>	<b>0,43%</b>	<b>1,14%</b>	<b>2,48%</b>	<b>1,22%</b>	<b>1,54%</b>
<b>TEXTILES</b>	<b>6,94%</b>	<b>4,14%</b>	<b>4,47%</b>	<b>5,41%</b>	<b>4,30%</b>	<b>5,05%</b>
<b>ESPECIALES</b>	<b>5,97%</b>	<b>0,45%</b>	<b>0,61%</b>	<b>2,30%</b>	<b>1,51%</b>	<b>2,17%</b>
Escombros	0,00%	0,00%	0,00%	1,24%	0,00%	0,25%
Llantas	0,00%	0,02%	0,00%	0,31%	0,00%	0,07%
RAEE	4,90%	0,43%	0,61%	0,40%	0,74%	1,42%
Otros Especiales	1,07%	0,00%	0,00%	0,35%	0,77%	0,44%
<b>ORDINARIOS E INERTES</b>	<b>33,71%</b>	<b>32,62%</b>	<b>47,04%</b>	<b>36,42%</b>	<b>30,34%</b>	<b>36,03%</b>
Papel Higiénico, toallas higiénicas, pañales, servilletas, etc.	5,28%	13,40%	14,64%	11,08%	11,77%	11,23%
Papel no reciclable	4,29%	0,43%	2,58%	2,08%	1,57%	2,19%
Cartón no reciclable	2,51%	0,81%	2,11%	4,52%	1,22%	2,23%
Plástico aluminizado	1,44%	0,49%	1,94%	0,89%	0,69%	1,09%
Icopor	1,80%	0,24%	0,88%	1,06%	0,08%	0,81%
Tetrapack	1,02%	0,97%	1,51%	0,31%	0,56%	0,88%
Caucho	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,27%	0,05%
Cuero	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%





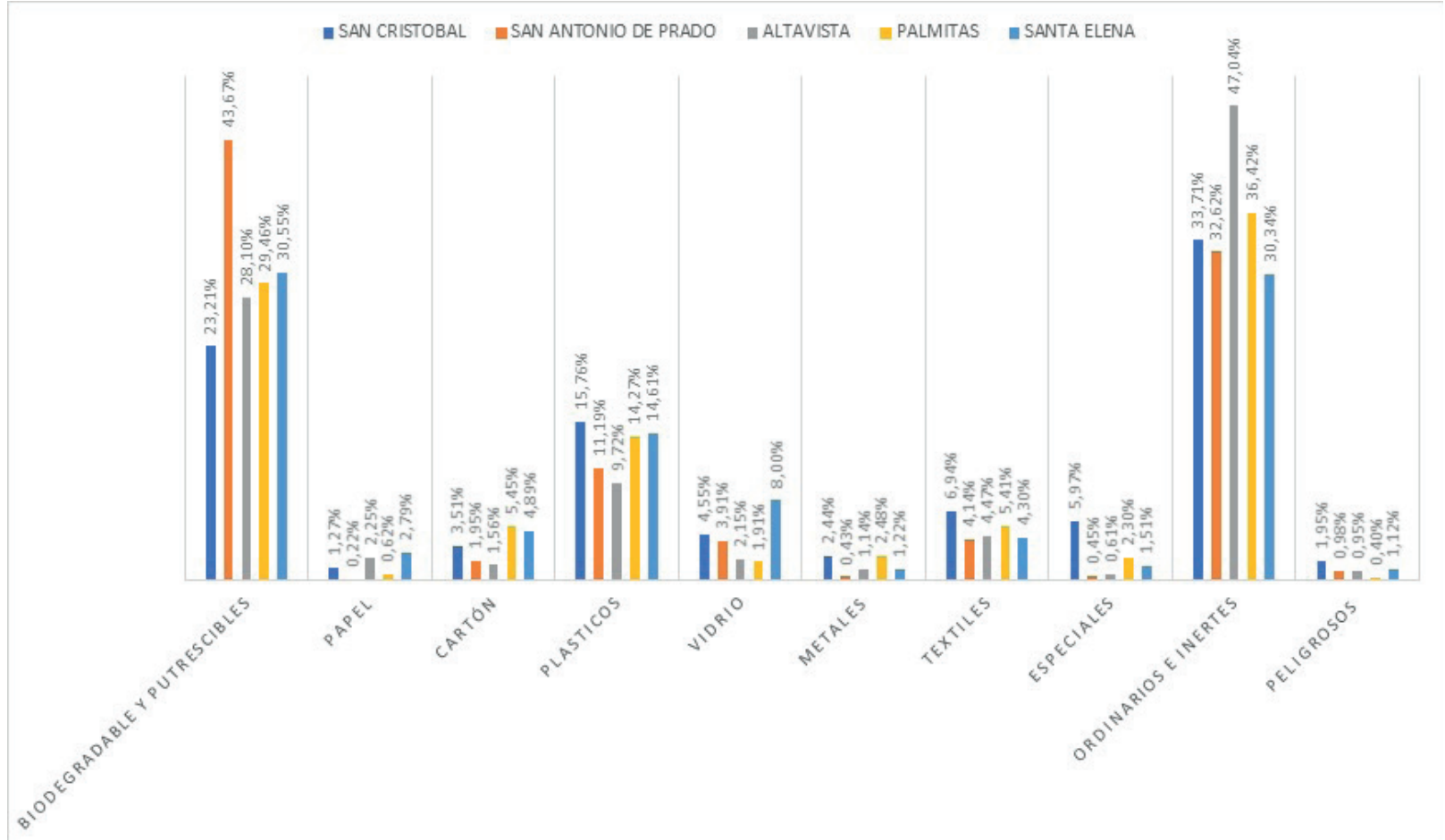
CORREGIMIENTO	SC	SA	ALT	PAL	SE	Promedio
COMPONENTE	%	%	%	%	%	%
Espumas	0,00%	0,00%	0,24%	0,58%	0,08%	0,18%
Otro ordinarios y barrido	17,36%	16,28%	23,16%	15,91%	14,11%	17,36%
<b>PELIGROSOS</b>	<b>1,95%</b>	<b>0,98%</b>	<b>0,95%</b>	<b>0,40%</b>	<b>1,12%</b>	<b>1,08%</b>
Madera Inmunizada	0,24%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%
Biosanitarios y cortopunzantes	0,29%	0,08%	0,17%	0,18%	0,21%	0,19%
Baterías, pilas y acumuladores	1,22%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,24%
Baterías acido-plomo	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,69%	0,14%
Lámparas fluorescentes	0,19%	0,00%	0,21%	0,04%	0,21%	0,13%
Tóner y cintas de impresión	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Pieles contaminadas	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Biocidas (venenos)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Fármacos	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Contaminados con Pinturas, Solventes	0,00%	0,08%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%
Contaminados con Aceites, grasas	0,00%	0,81%	0,00%	0,00%	0,00%	0,16%
Otros peligrosos	0,00%	0,00%	0,57%	0,18%	0,00%	0,15%
<b>Totales</b>	<b>99,37%</b>	<b>99,70%</b>	<b>98,37%</b>	<b>99,69%</b>	<b>99,42%</b>	<b>99,31%</b>

**Fuente:** Elaboración propia.



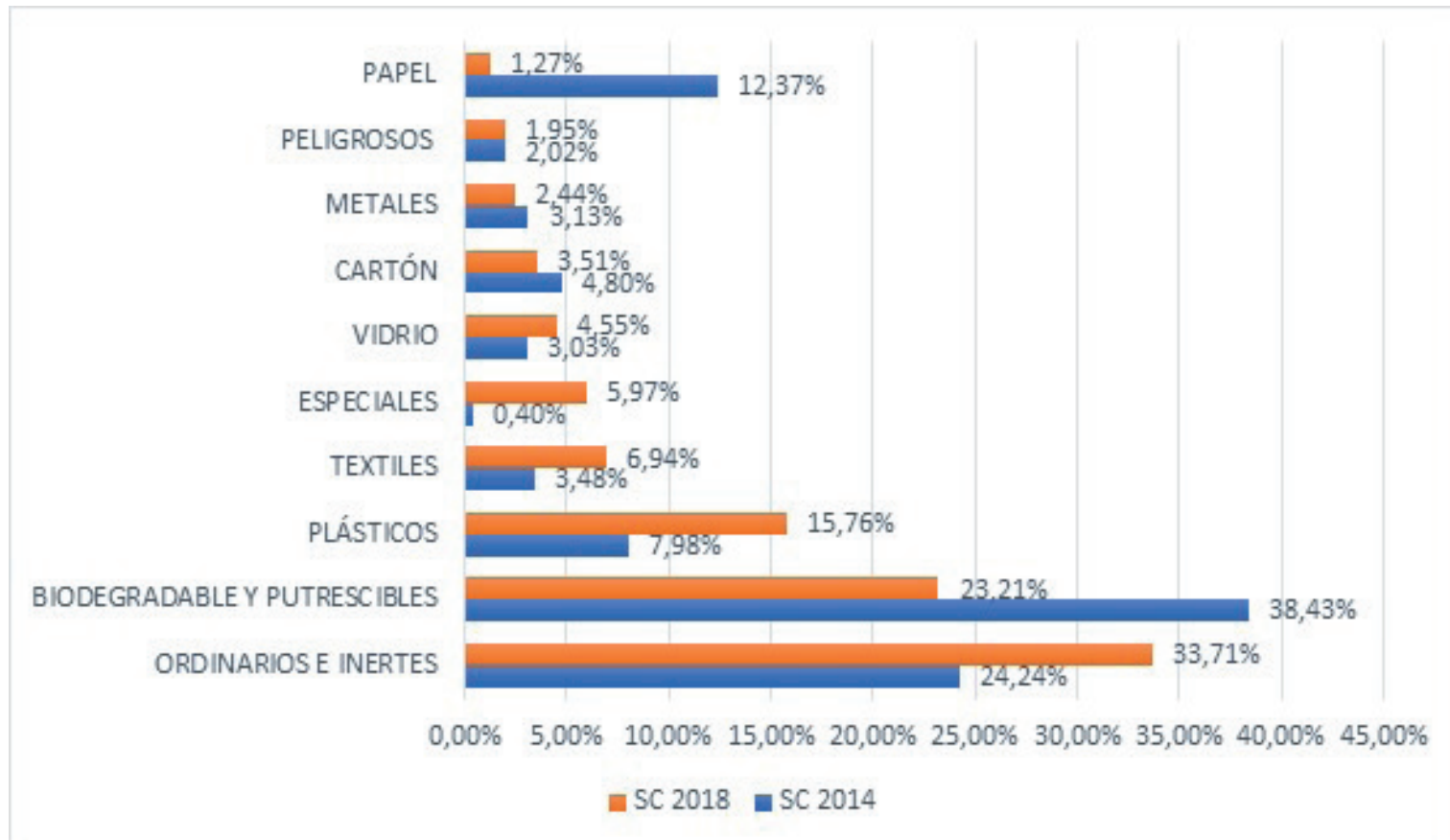


Gráfico 13. Comparativo de los resultados de la composición física de los residuos en los cinco corregimientos de Medellín



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 14. Comparativo resultados estudios de caracterización de residuos sólidos 2014 y 2018 para San Cristóbal

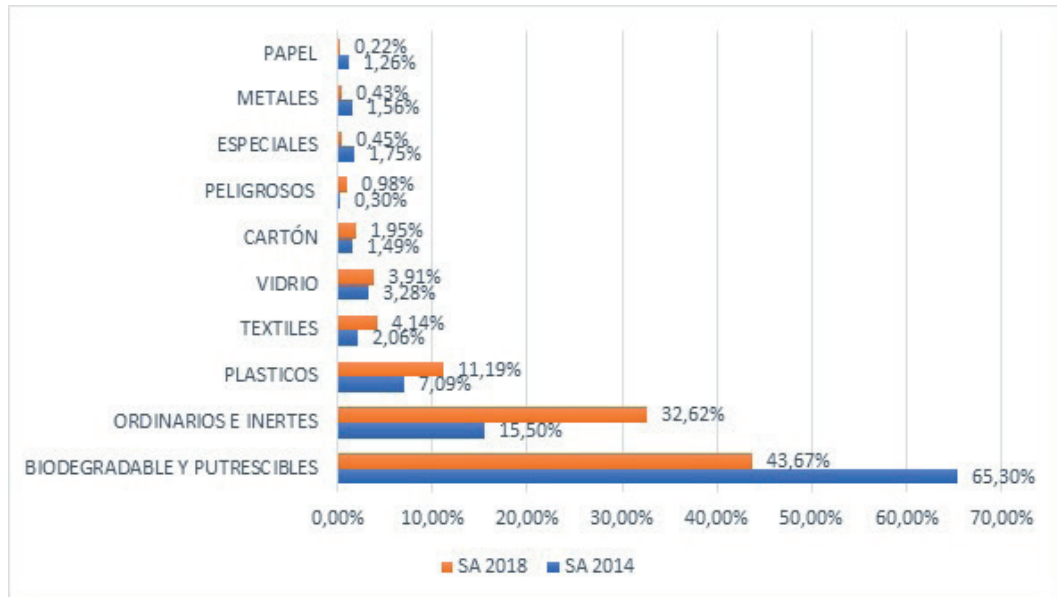


Fuente: Elaboración propia



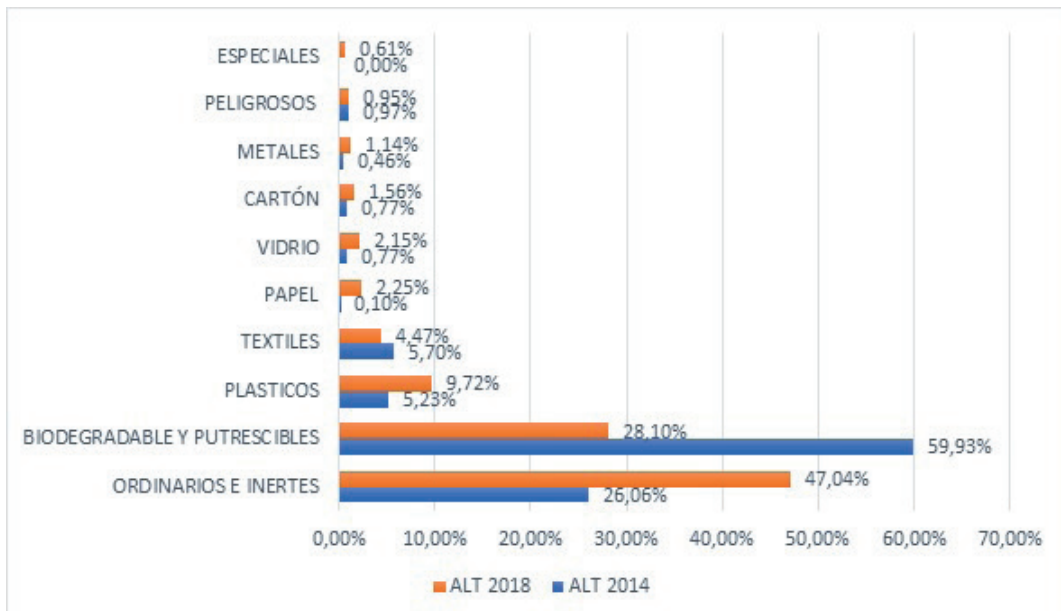


Gráfico 15. Comparativo resultados estudios de caracterización de residuos sólidos 2014 y 2018 para San Antonio de Prado



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 16. Comparativo resultados estudios de caracterización de residuos sólidos 2014 y 2018 para Altavista



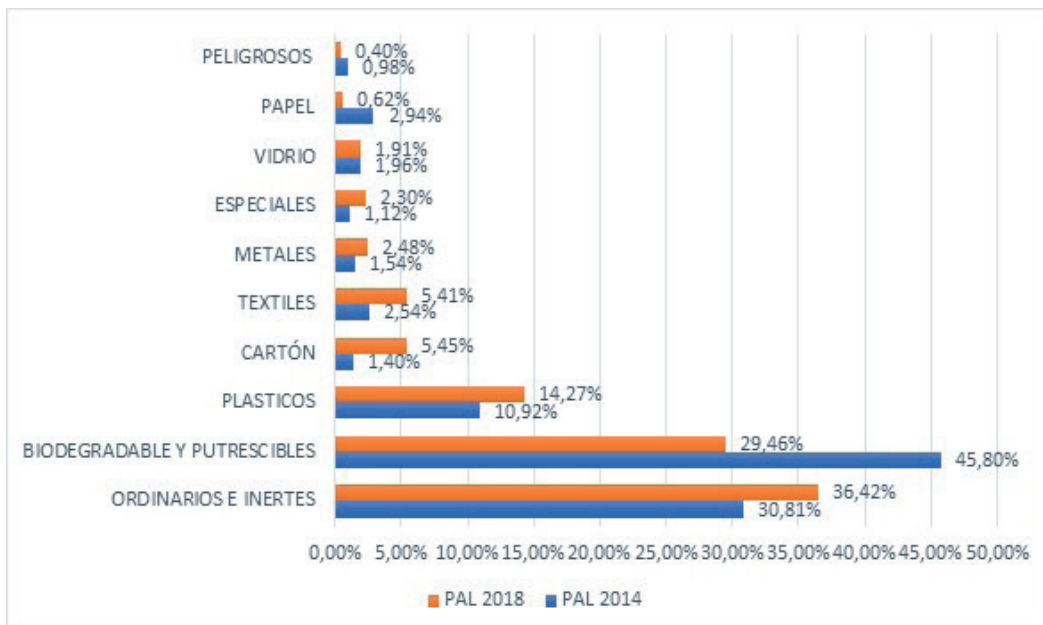
Fuente: Elaboración propia





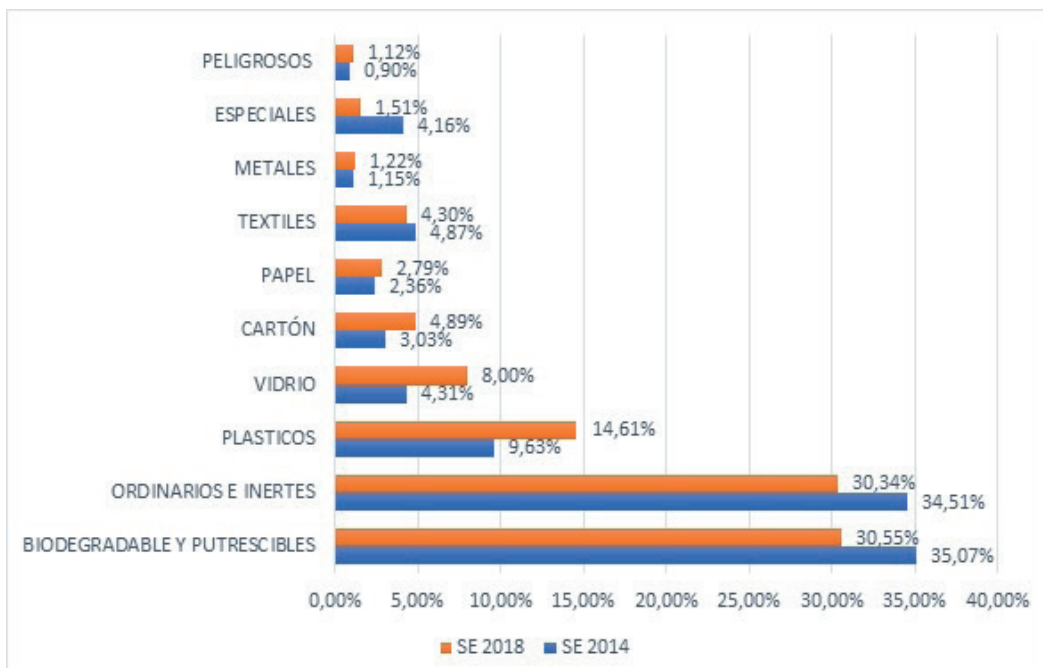


Gráfico 17. Comparativo resultados estudios de caracterización de residuos sólidos 2014 y 2018 para San Sebastián de Palmitas



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 18. Comparativo resultados estudios de caracterización de residuos sólidos 2014 y 2018 para Santa Elena



Fuente: Elaboración propia





En todos los corregimientos se aprecia una disminución en la producción de residuos biodegradables, con respecto al estudio del 2014, esto puede deberse a que, en el momento de la recolección, los habitantes de estas zonas rurales usan estos residuos como abono para sus propios cultivos, por lo tanto, no los entregan.

Con respecto a los residuos ordinarios e inertes, aumentó la producción de estos en San Antonio de prado, Altavista, Palmitas y San Cristóbal, con valores de 32,62%, 47,04%, 36,42% y 33,71% respectivamente, mientras que en Santa Elena disminuyó la producción de ordinarios pasando de 34,51% en el 2014 a. 30,34% en 2018

Los plásticos son el tercer residuo más producido por los corregimientos con una representación entre el 9% y 16% en general. Esto puede deberse a que los hábitos de consumo actual es casi inevitable no comprar o adquirir productos de plástico o que usen plásticos en sus empaques, por ejemplo, los productos de aseo, alimentos, bebidas y demás.

Lo anterior está estrechamente ligado a la producción de ordinarios, que en todos los casos a excepción del corregimiento de Santa Elena aumentó la cantidad de residuos de este tipo. Se reporta que el porcentaje de textiles producidos en los corregimientos aumentó en San Cristóbal, San Antonio de Prado, Altavista y en San Sebastián de Palmitas, y disminuyó en Santa Elena.

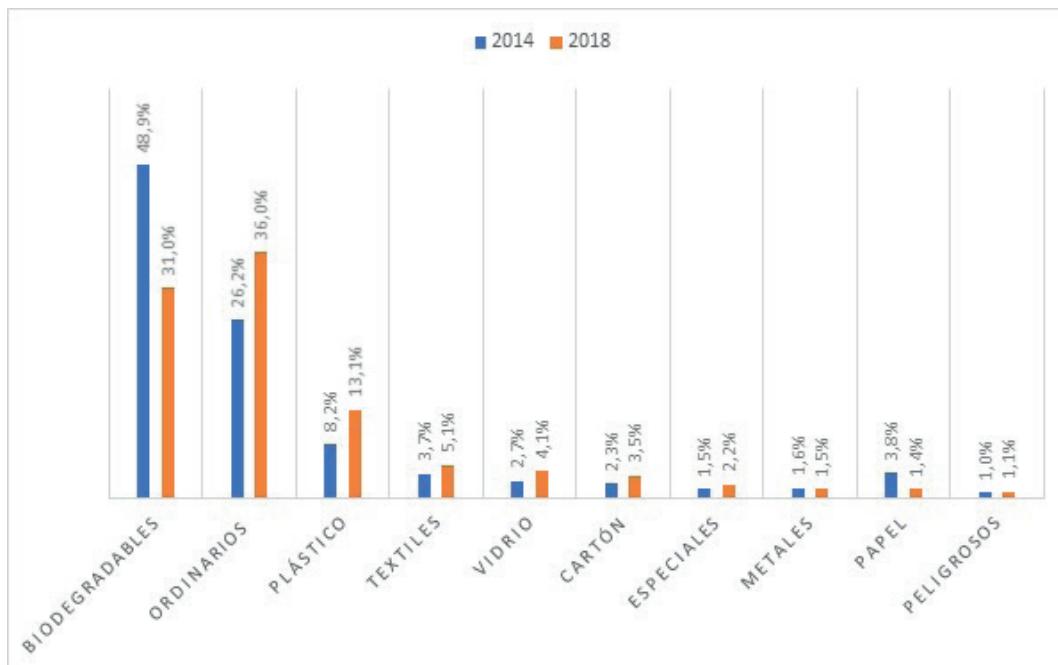
En cuanto a los residuos Peligrosos se aprecian cambios sustanciales en San Cristóbal en donde pasó de 0,9% en el 2014 a 1,95% en 2018; San Antonio de Prado pasó de 0,3% a 0,98%, En Santa Elena también aumentó pasando de 0,90% a 1,12%, en el caso de Palmitas disminuyó sustancialmente pasando de 0,98% a 0,4% y en el corregimiento de Altavista se mantuvo estable. Los residuos biosanitarios y cortopunzantes son los de mayor porcentaje dentro de esta categoría, lo que lleva a pensar que todavía no hay una cultura de la separación y el autocuidado en las viviendas al manejar estos residuos.

En comparación con el estudio del año 2014 (**ver Gráfico 19**), se observa que hubo un aumento en la generación de la mayoría de los residuos sólidos caracterizados menos en la producción de residuos biodegradables que pasaron del 48,9% al 31%, los ordinarios aumentaron en aproximadamente 10 unidades, posiblemente porque estos lugares no son ajenos a las tendencias consumistas que se presentan en la ciudad, además de su crecimiento poblacional, como es el caso de San Antonio de Prado, lo que hace que se tenga un mayor consumo de bienes y servicios que van ligados a la producción de residuos ordinarios.



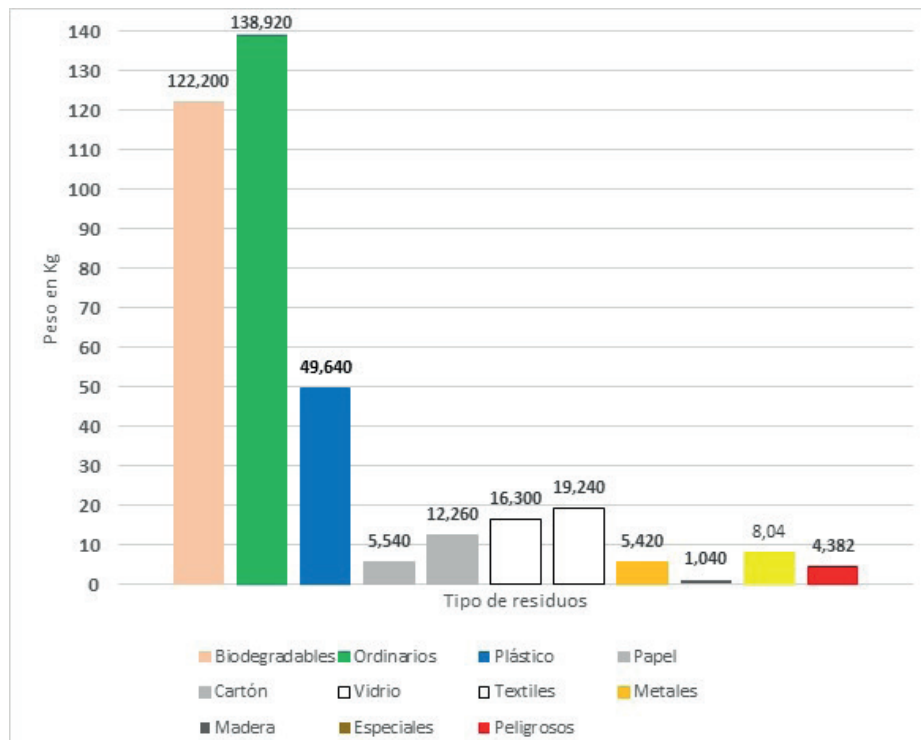


Gráfico 19. Comparativo de los resultados consolidados para los cinco corregimientos de los estudios de caracterización del año 2014 y 2018



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 20. Producción de residuos en los cinco corregimientos de Medellín, presentado en peso (kg)



Fuente: Elaboración propia





Haciendo el ejercicio de sumar los residuos que pueden ser susceptibles de reciclar como, papel, cartón, vidrio, metales y plásticos, se encuentra que estos son el 23,1% del total de residuos consolidados en los cinco corregimientos correspondiente a 89 kg aproximadamente., como se puede ver en el **Gráfico 20**.

Lo anterior significa que hay una buena oportunidad de potenciar la cultura del reciclaje en los cinco corregimientos para que aumente en el tiempo la cantidad de material reciclable que se puede aprovechar.

### 11.3. Composición física porcentual de los residuos sólidos en medellín

Para el caso de Medellín, el análisis de las composiciones encontradas en las caracterizaciones se hizo por estrato socioeconómico. En las siguientes gráficas se presentan los resultados del trabajo de campo.

**Tabla 35. Compilación de la Composición física porcentual de los residuos sólidos generados en el sector residencial de Medellín por estrato socioeconómico.**

Estrato	1	2	3	4	5	6	Prome- dio
COMPONENTE	%	%	%	%	%	%	%
<b>BIODEGRADABLE Y PUTRESCIBLES</b>	<b>37,11%</b>	<b>38,28%</b>	<b>34,98%</b>	<b>43,46%</b>	<b>42,15%</b>	<b>45,20%</b>	<b>40,20%</b>
Residuos de alimentos	36,25%	37,19%	33,74%	41,18%	40,02%	41,63%	38,33%
Residuos de jardín y poda	0,85%	1,09%	1,24%	2,28%	2,13%	3,57%	1,86%
<b>MADERA</b>	<b>0,40%</b>	<b>0,84%</b>	<b>0,39%</b>	<b>0,13%</b>	<b>0,03%</b>	<b>0,85%</b>	<b>0,44%</b>
<b>PAPEL</b>	<b>1,33%</b>	<b>2,49%</b>	<b>3,35%</b>	<b>3,15%</b>	<b>2,69%</b>	<b>3,18%</b>	<b>2,70%</b>
<b>CARTÓN</b>	<b>1,49%</b>	<b>1,58%</b>	<b>2,25%</b>	<b>3,84%</b>	<b>5,65%</b>	<b>4,14%</b>	<b>3,16%</b>
<b>PLÁSTICOS</b>	<b>10,92%</b>	<b>11,36%</b>	<b>12,20%</b>	<b>12,39%</b>	<b>14,04%</b>	<b>9,53%</b>	<b>11,74%</b>
PET (1)	2,53%	1,81%	2,40%	3,14%	3,10%	2,92%	2,65%
PEAD (2)	1,11%	1,21%	1,69%	1,23%	2,01%	2,36%	1,60%
PVC (3)	0,16%	0,09%	0,10%	0,08%	0,02%	0,45%	0,15%
PEBD (4)	4,10%	5,05%	4,46%	4,95%	4,80%	2,80%	4,36%
PP (5)	1,06%	1,32%	1,21%	1,29%	1,63%	2,97%	1,58%





Estrato	1	2	3	4	5	6	Prome- dio
COMPONENTE	%	%	%	%	%	%	%
PS (6)	1,30%	0,99%	1,12%	0,99%	1,11%	1,40%	1,15%
<b>OTROS PLÁSTICOS (7)</b>	<b>0,66%</b>	<b>1,30%</b>	<b>1,21%</b>	<b>1,21%</b>	<b>1,38%</b>	<b>1,17%</b>	<b>1,15%</b>
<b>VIDRIO</b>	<b>2,05%</b>	<b>3,92%</b>	<b>2,73%</b>	<b>2,27%</b>	<b>5,43%</b>	<b>8,14%</b>	<b>4,09%</b>
<b>METALES</b>	<b>0,59%</b>	<b>1,39%</b>	<b>1,24%</b>	<b>1,45%</b>	<b>1,32%</b>	<b>2,29%</b>	<b>1,38%</b>
<b>TEXTILES</b>	<b>4,91%</b>	<b>5,64%</b>	<b>3,79%</b>	<b>2,77%</b>	<b>1,96%</b>	<b>1,31%</b>	<b>3,40%</b>
<b>ESPECIALES</b>	<b>0,81%</b>	<b>1,46%</b>	<b>2,17%</b>	<b>1,03%</b>	<b>0,57%</b>	<b>0,00%</b>	<b>1,01%</b>
Escombros	0,68%	0,33%	1,60%	0,74%	0,60%	0,00%	0,66%
Llantas	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,05%	0,00%	0,01%
RAEE	0,13%	0,67%	0,63%	0,61%	0,21%	0,75%	0,50%
Otros Especiales	0,00%	0,45%	0,02%	0,10%	0,02%	0,00%	0,10%
<b>ORDINARIOS E INERTES</b>	<b>38,29%</b>	<b>29,12%</b>	<b>32,47%</b>	<b>26,78%</b>	<b>22,74%</b>	<b>21,93%</b>	<b>28,55%</b>
Papel Higiénico, toallas higiénicas, pañales, servilletas, etc.	9,52%	9,65%	9,79%	9,67%	7,57%	10,51%	9,45%
Papel no reciclable	1,09%	1,82%	1,90%	2,69%	2,18%	1,54%	1,87%
Cartón no reciclable	2,44%	2,44%	1,94%	2,05%	2,16%	1,79%	2,14%
Plástico aluminizado	0,77%	0,96%	0,71%	1,00%	0,64%	0,88%	0,83%
Icopor	0,10%	0,10%	0,23%	0,09%	0,09%	0,00%	0,10%
Tetrapack	0,91%	0,71%	0,83%	0,96%	0,86%	0,63%	0,82%
Caucho	0,14%	0,14%	0,20%	0,09%	0,02%	0,22%	0,14%
Cuero	0,00%	0,01%	0,09%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%
Espumas	0,00%	0,21%	1,29%	0,08%	0,04%	0,00%	0,27%
Otro ordinarios y barrido	23,48%	11,86%	15,49%	10,14%	9,18%	6,36%	12,75%



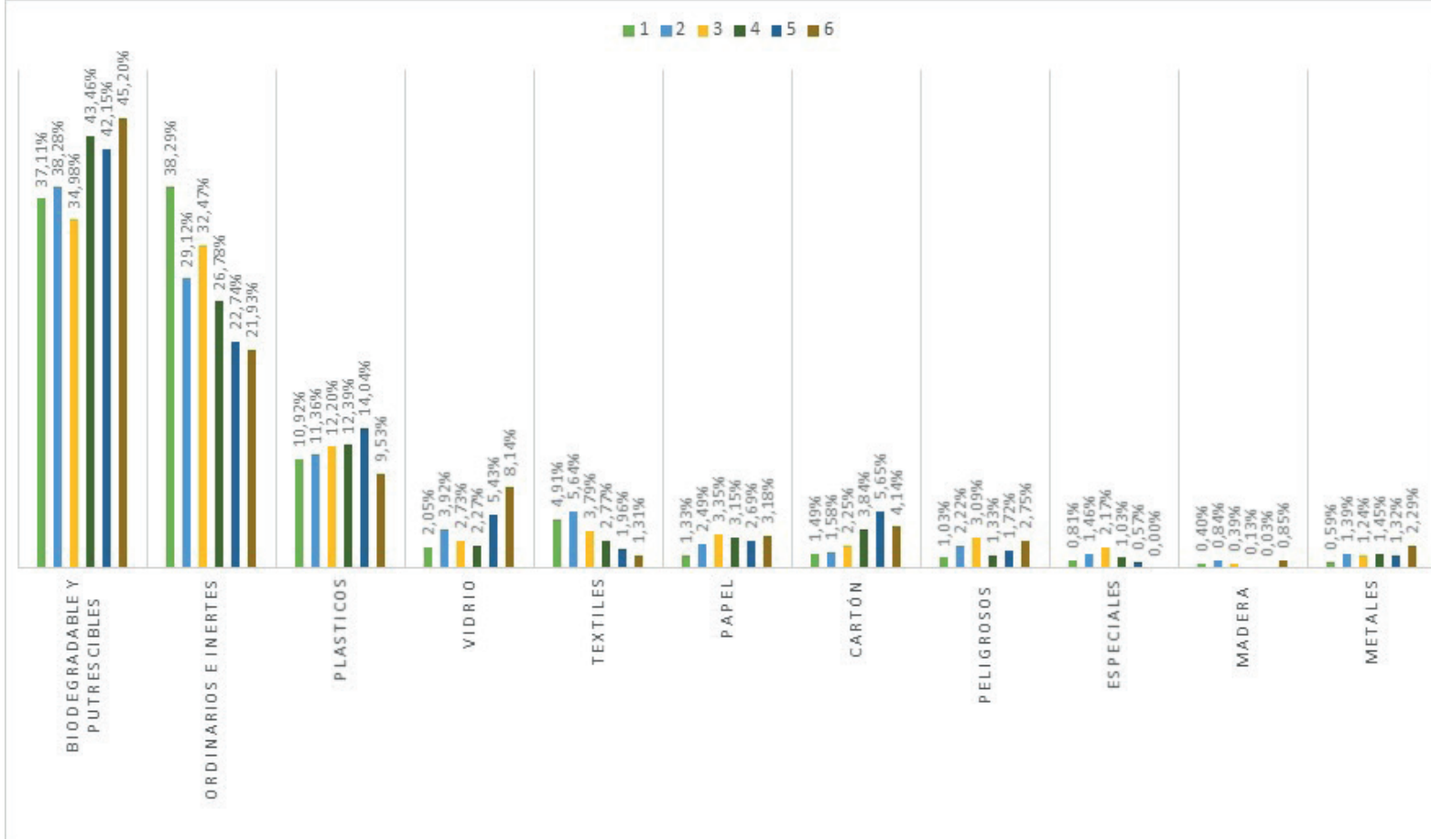


Estrato	1	2	3	4	5	6	Prome- dio
COMPONENTE	%	%	%	%	%	%	%
<b>PELIGROSOS</b>	<b>1,03%</b>	<b>2,22%</b>	<b>3,09%</b>	<b>1,33%</b>	<b>1,72%</b>	<b>2,75%</b>	<b>2,02%</b>
Madera Inmunizada	0,00%	0,00%	0,04%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%
Biosanitarios y cortopunzantes	0,31%	1,10%	1,76%	0,83%	0,73%	1,68%	1,07%
Baterías, pilas y acumuladores	0,01%	0,02%	0,03%	0,02%	0,00%	0,00%	0,01%
Baterías acido-plomo	0,03%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%
Lámparas fluorescentes	0,05%	0,12%	0,06%	0,11%	0,00%	0,12%	0,08%
Tóner y cintas de impresión	0,04%	0,06%	0,41%	0,00%	0,01%	0,00%	0,09%
Pielés contaminadas	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Biocidas (venenos)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%	0,01%
Fármacos	0,22%	0,09%	0,08%	0,13%	0,13%	0,43%	0,18%
Contaminados con Pinturas, Solventes	0,26%	0,37%	0,29%	0,12%	0,41%	0,49%	0,32%
Contaminados con Aceites, grasas	0,07%	0,36%	0,35%	0,10%	0,42%	0,00%	0,22%
Otros peligrosos	0,05%	0,10%	0,06%	0,03%	0,01%	0,00%	0,04%
<b>TOTALES</b>	<b>98,84%</b>	<b>98,30%</b>	<b>98,65%</b>	<b>98,60%</b>	<b>98,29%</b>	<b>99,32%</b>	<b>98,67%</b>

*Fuente: Elaboración propia*



**Gráfico 21. Comparativo de los resultados de la composición de residuos por estratos socioeconómicos**



Fuente: Elaboración propia





En el **Gráfico 21**, se puede apreciar que los residuos biodegradables y putrescibles son los que predominan en la generación de residuos en todos los estratos socioeconómicos con un promedio de 40,20% seguidos de los residuos ordinarios e inertes con un promedio de 28,55%. Los plásticos representan un 11,74%.

Los estratos 4, 5 y 6 son los que presentan los mayores porcentajes en la producción de residuos biodegradables y putrescibles con 43,46%, 42,15% y 45,20% respectivamente. En menor proporción está el estrato 3 con 34,98%.

La producción de residuos ordinarios e inertes estuvo en segundo lugar, donde los estratos 1 y 3 aportan la mayor parte con un 38,29% y 32,47%. El estrato 6 fue el menor generador de estos residuos con un 21,93%.

En tercer lugar, estuvo la generación de residuos plásticos en donde se identificó que el estrato 5 con un 14,04% es el mayor generador seguido del estrato 4 con un 12,39%. El menor generador de residuos plásticos fue el estrato 6 con un 9,53%.

A continuación, se presentan los resultados de la composición física porcentual por componente y su respectivo análisis.

**Tabla 36. Porcentajes de residuos biodegradables y putrescibles por estrato socioeconómico en Medellín -Sector Residencial**

Estrato	1	2	3	4	5	6
Residuos de alimentos	36,25%	37,19%	33,74%	41,18%	40,02%	41,63%
Residuos de jardín y poda	0,85%	1,09%	1,24%	2,28%	2,13%	3,57%
<b>TOTAL</b>	<b>37,11%</b>	<b>38,28%</b>	<b>34,98%</b>	<b>43,46%</b>	<b>42,15%</b>	<b>45,20%</b>

*Fuente: Elaboración propia*

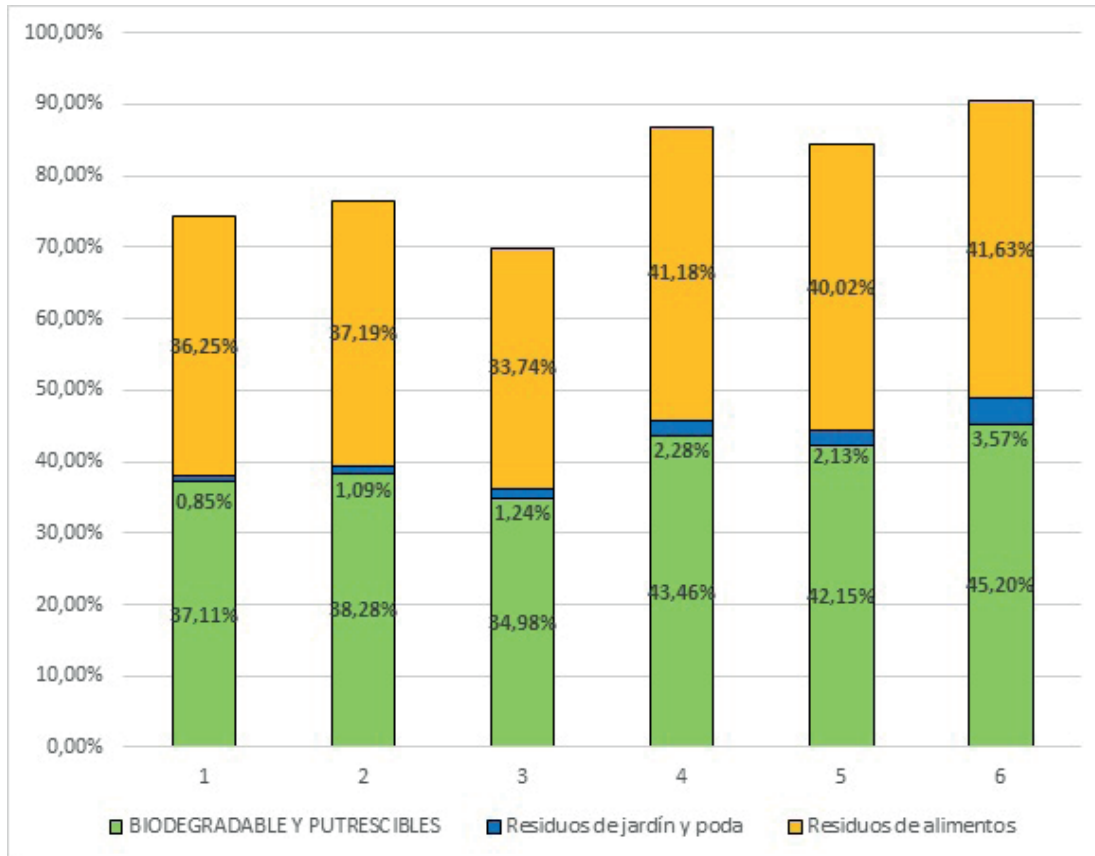
Los residuos de alimentos tienden a producirse en grandes cantidades en los seis estratos socioeconómicos de Medellín, principalmente en el estrato 4 (41,18%) y 6 (41,63%). Los residuos de poda en menor proporción se producen más en el estrato 6 con un 3,6%. En menor cantidad se producen en el estrato 3 y 1 con un 33,74% y 36,25% respectivamente.







**Gráfico 22. Porcentajes de residuos Biodegradable y Putrescibles por estrato socioeconómico en Medellín -Sector Residencial**



**Fuente:** Elaboración propia

Cabe anotar que estos residuos son los que contaminan los otros residuos con potencial aprovechamiento como papel, cartón y plástico, fue común ver en las caracterizaciones la mezcla de todos estos elementos convirtiéndolos en ordinarios.

En las siguientes fotografías se puede apreciar la mezcla de los residuos del sector residencial, en donde se nota que la separación en la fuente de materiales reciclables como plásticos y





cartón todavía no es una práctica común. En los círculos amarillos de las fotos se señala cómo los residuos orgánicos están mezclados con residuos de bolsas plásticas, envolturas de alimentos, entre otros.

**Fotografía 4. Caracterización de residuos en sector Residencial – Residuos orgánicos señalados**



*Fuente: Tomada por personal del Consorcio Residuos Sólidos Medellín*

**Fotografía 5. Caracterización de residuos en sector Residencial – Residuos orgánicos señalados**



*Fuente: Tomada por personal del Consorcio Residuos Sólidos Medellín*





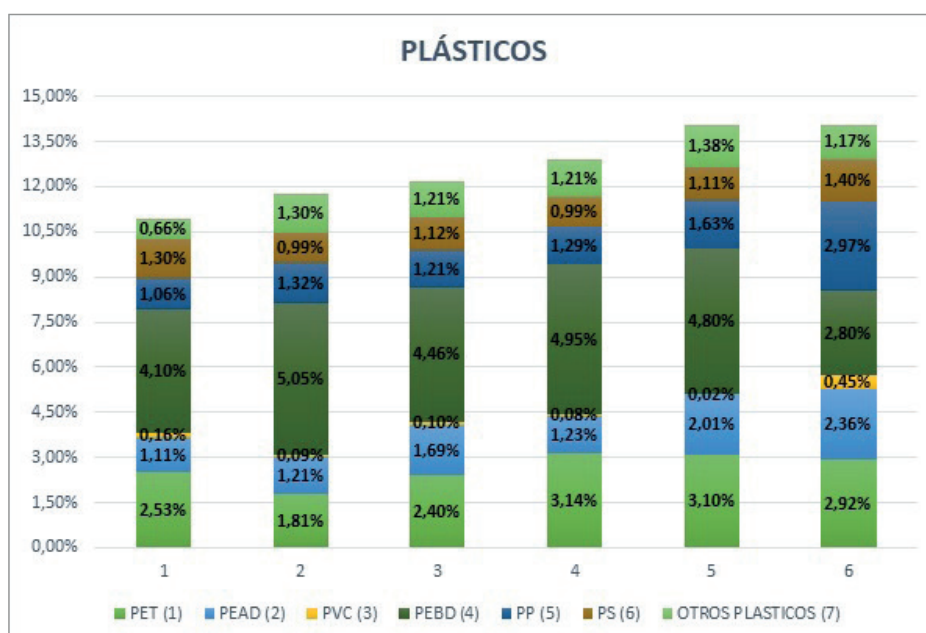
El porcentaje de Plásticos que se caracterizaron fue alto en todos los estratos, comparado con los reportados en el estudio de 2014; En la **Tabla 37** se reportan los resultados para cada tipo de plástico.

**Tabla 37. Porcentajes de residuos plásticos por estrato socioeconómico en Medellín -Sector Residencial**

Estrato	1	2	3	4	5	6
PET (1)	2,53%	1,81%	2,40%	3,14%	3,10%	2,92%
PEAD (2)	1,11%	1,21%	1,69%	1,23%	2,01%	2,36%
PVC (3)	0,16%	0,09%	0,10%	0,08%	0,02%	0,45%
PEBD (4)	4,10%	5,05%	4,46%	4,95%	4,80%	2,80%
PP (5)	1,06%	1,32%	1,21%	1,29%	1,63%	2,97%
PS (6)	1,30%	0,99%	1,12%	0,99%	1,11%	1,40%
OTROS PLASTICOS (7)	0,66%	1,30%	1,21%	1,21%	1,38%	1,17%
<b>TOTAL</b>	<b>10,9%</b>	<b>11,4%</b>	<b>12,2%</b>	<b>12,4%</b>	<b>14,0%</b>	<b>9,5%</b>

*Fuente: Elaboración propia*

**Gráfico 23. Porcentajes de residuos Plásticos por estrato socioeconómico en Medellín -Sector Residencial**



*Fuente: Elaboración propia*





El PET y el PEBD, son los plásticos que más usan todos los estratos socioeconómicos, los estratos 2 y 4 son los que más producen PEBD con un 5,05% y 4,95% respectivamente. El Estrato 6 es que me nos produce con un 2,8%. El PET tiene un uso más parejo en todos los estratos, con valores de 1,81% en el estrato 2 hasta 3,14% en el estrato 5. El PolivinilCloruro (PVC), fue el plástico con menores porcentajes en las caracterizaciones, todos por debajo del 1%. Ver **Gráfico 23**

### Fotografía 6. Caracterización de residuos sector residencial- Residuos de Plásticos señalados



**Fuente:** Tomada por personal del Consorcio Residuos Sólidos Medellín

Como se puede ver en la **Fotografía 6**, la cantidad de los diferentes tipos de plásticos en las muestras caracterizadas es significativamente alto, demostrando así la problemática actual que vive la humanidad actualmente el uso excesivo de estos materiales en el día a día, principalmente el Polietileno (PET) y el Polietileno de Baja Densidad (PEBD).

En cuanto a los residuos ordinarios, en la **Tabla 38** se presentan los residuos más comunes dentro de la clasificación de ordinarios. El papel higiénico, toallas higiénicas, pañales y servilletas, es el segundo valor más alto después de otros ordinarios y barrido, que en la caracterización se recogían y pesaban una vez se realizaba la clasificación del resto de materiales.

Con respecto al papel no reciclable, se obtuvo que el valor más alto es para el estrato 4 con 2,7% y el menor valor fue para el estrato 1 con 1,1%, Con respecto al cartón no reciclable, los valores más altos los presentaron ellos estrato 1 y 2 con un 2,4% cada uno, y el valor más bajo fue para el estrato 6 con 1,8%.



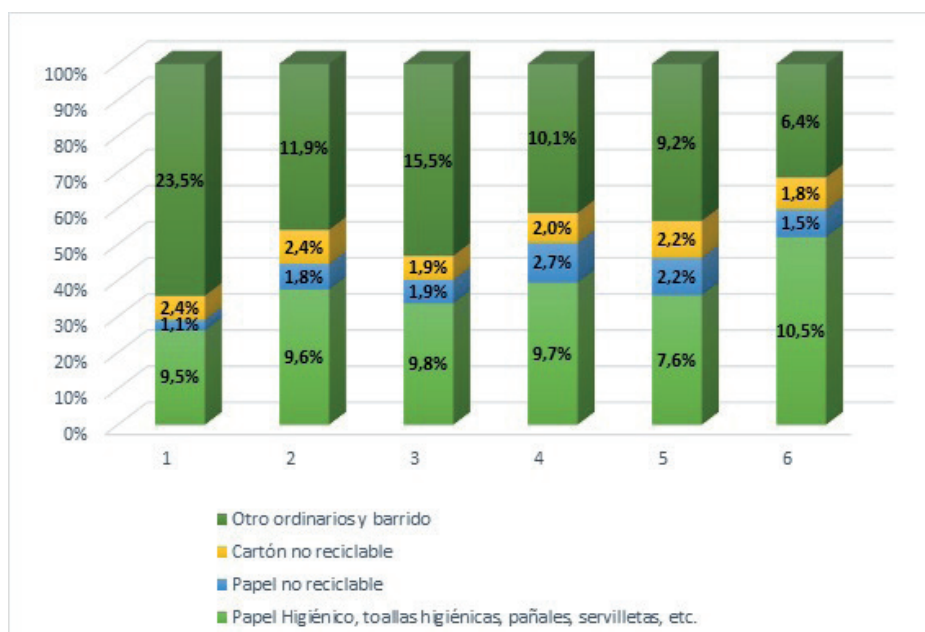


**Tabla 38. Resultados de residuos ordinarios e Inertes por estrato socioeconómico en Medellín -Sector Residencial**

Estrato	1	2	3	4	5	6
Papel Higiénico, toallas higiénicas, pañales, servilletas, etc.	9,5%	9,6%	9,8%	9,7%	7,6%	10,5%
Papel no reciclable	1,1%	1,8%	1,9%	2,7%	2,2%	1,5%
Cartón no reciclable	2,4%	2,4%	1,9%	2,0%	2,2%	1,8%
Plástico aluminizado	0,8%	1,0%	0,7%	1,0%	0,6%	0,9%
Icopor	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%	0,1%	0,0%
Tetrapack	0,9%	0,7%	0,8%	1,0%	0,9%	0,6%
Caucho	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%	0,0%	0,2%
Cuero	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%
Espumas	0,0%	0,2%	1,3%	0,1%	0,0%	0,0%
Otro ordinarios y barrido	23,5%	11,9%	15,5%	10,1%	9,2%	6,4%
<b>TOTAL</b>	<b>38,3%</b>	<b>29,1%</b>	<b>32,5%</b>	<b>26,8%</b>	<b>22,7%</b>	<b>21,9%</b>

Fuente: Elaboración propia

**Gráfico 24. Porcentaje de los residuos ordinarios e Inertes más significativos por estrato socioeconómico en Medellín – Sector Residencial**



Fuente: Elaboración propia





Los resultados de residuos peligrosos se reportan en la **Tabla 39**. Se deben resaltar los porcentajes de biosanitarios y cortopunzantes significativamente altos, ya que no deberían encontrarse este tipo de residuos por el alto riesgo que generan debido a su peligrosidad. Los porcentajes más altos se encontraron en los estratos 3 y 6 con 1,76% y 1,68% respectivamente. En menor porcentaje estuvo el estrato 1 con 0,31%.

**Tabla 39. Resultados de residuos Peligrosos por estrato socioeconómico en Medellín -Sector Residencial**

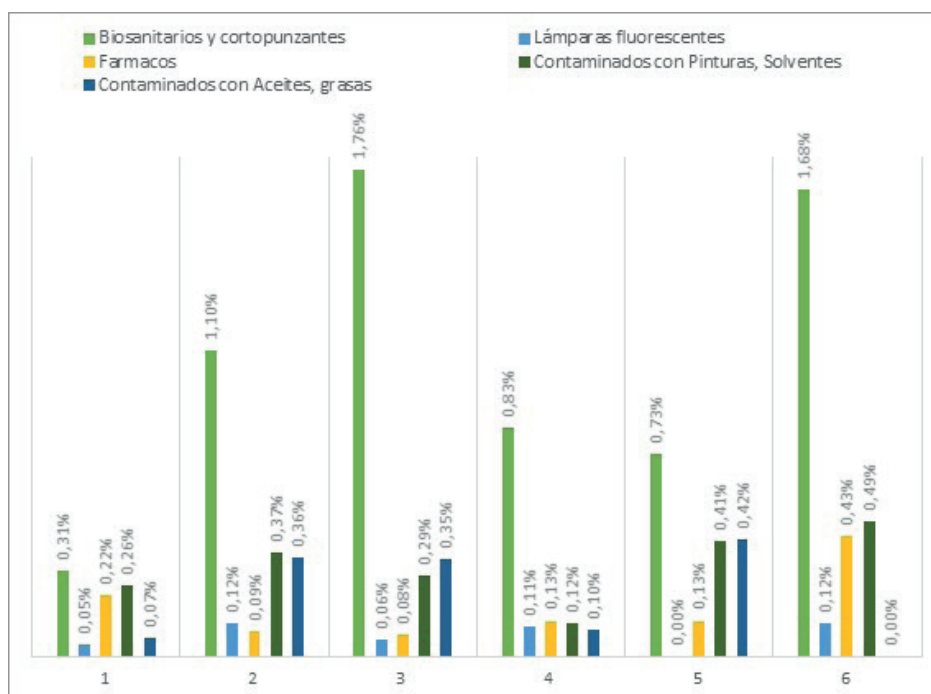
Estrato	1	2	3	4	5	6
Madera Inmunizada	0,00%	0,00%	0,04%	0,00%	0,00%	0,00%
Biosanitarios y cortopunzantes	0,31%	1,10%	1,76%	0,83%	0,73%	1,68%
Baterías, pilas y acumuladores	0,01%	0,02%	0,03%	0,02%	0,00%	0,00%
Baterías acido-plomo	0,03%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Lámparas fluorescentes	0,05%	0,12%	0,06%	0,11%	0,00%	0,12%
Tóner y cintas de impresión	0,04%	0,06%	0,41%	0,00%	0,01%	0,00%
Pieles contaminadas	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Biocidas (venenos)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%
Fármacos	0,22%	0,09%	0,08%	0,13%	0,13%	0,43%
Contaminados con Pinturas, Solventes	0,26%	0,37%	0,29%	0,12%	0,41%	0,49%
Contaminados con Aceites, grasas	0,07%	0,36%	0,35%	0,10%	0,42%	0,00%
Otros peligrosos	0,05%	0,10%	0,06%	0,03%	0,01%	0,00%
<b>TOTALES</b>	<b>1,03%</b>	<b>2,22%</b>	<b>3,09%</b>	<b>1,33%</b>	<b>1,72%</b>	<b>2,75%</b>

**Fuente:** Elaboración propia





Gráfico 25. Porcentajes de los residuos peligrosos más significativos por estrato socioeconómico en Medellín -Sector Residencial



Fuente: Elaboración propia

Los residuos contaminados con pinturas y solventes también fueron comunes en los seis estratos, El estrato 6 presentó un 0,49% y el estrato 5 un 0,41%. el menor valor lo presentó el estrato 4 con 0,12%

Si bien estos valores se encuentran por debajo del 1% debido a su naturaleza peligrosa, infecciosa, inflamable y demás, generan un alto riesgo tanto para la salud de los habitantes como para las personas encargadas de la recolección de residuos por parte de Emvarias, situación que se debe tener en cuenta para generar campañas de separación en la fuente enfocadas a identificar cuáles son los tipos de residuos que se producen en una vivienda, qué riesgos generan y cómo se deben disponer adecuadamente.

Realizando una comparación de los estudios anteriores, en la **Tabla 40** y **Gráfico 26**, con respecto a los residuos biodegradables y putrescibles se observa una tendencia a la disminución en la generación de este tipo de residuos en general, pasando de 55,39% en el año 2014 a un 40,20% en el año 2018. Caso contrario se evidencia en la generación de los residuos ordinarios en donde la generación aumentó en un 10% pasando del 18,45% en el 2014 al 28,55% en el 2018.

El aumento de la generación de residuos plásticos es quizá el tema de mayor preocupación en tiempos actuales, debido al gran impacto ambiental que están teniendo en el medio ambiente, específicamente en ecosistemas estratégicos como ríos y mares. En el 2011 se reportó un 8,23 %, en 2014 un 8,61% y en este estudio se está registrando un 11,74%.





Como se explicó anteriormente, el aumento del consumo de productos empacados con plásticos, como alimentos y bebidas que cambian su presentación por empaques más baratos buscando versatilidad, inocuidad en sus productos y facilitar su consumo al cliente, han hecho que sea cada vez más complicado para los consumidores no depender de estos, con más frecuencia se puede ver cómo los diferentes tipos de plástico, de un solo uso, se vuelven parte de la vida diaria, explicando así, tanto el aumento en la generación de residuos plásticos como ordinarios y la disminución de los residuos orgánicos. Otros residuos como el Tetrapack también reportan un aumento en su generación con respecto al año 2014, pasando de 0,15% a 0,82%.

**Tabla 40. Comparación de la composición física porcentual de los diferentes estudios de caracterización de residuos sólidos en el sector residencial de Medellín para los años 2009, 2001, 2014 y 2018.**

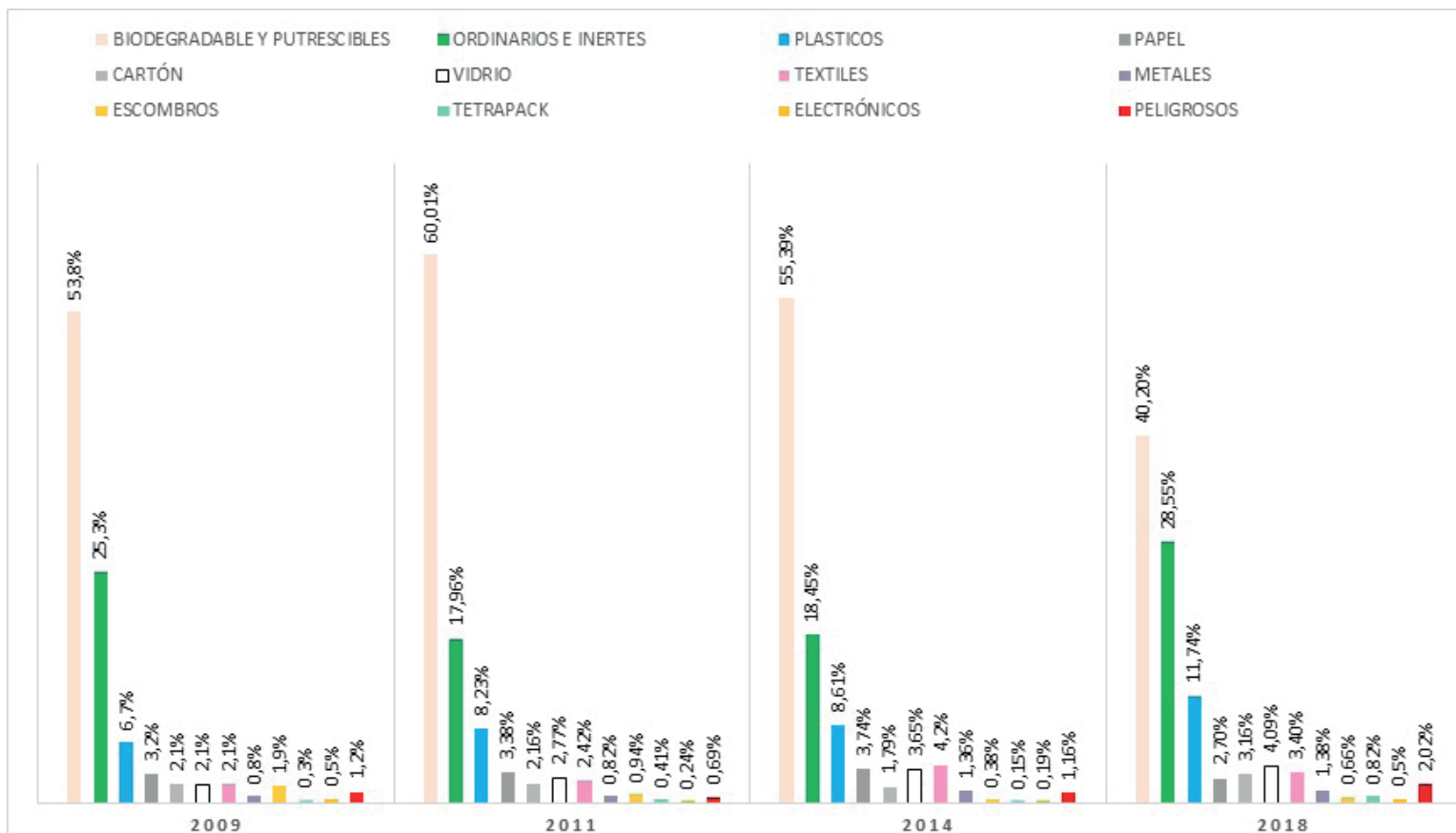
Componente	Porcentaje %			
	2009	2011	2014	2018
BIODEGRADABLE Y PUTRESCIBLES	53,8	60,01	55,39	40,20
ORDINARIOS E INERTES	25,3	17,96	18,45	28,55
PLÁSTICOS	6,7	8,23	8,61	11,74
PAPEL	3,2	3,38	3,74	2,70
CARTÓN	2,1	2,16	1,79	3,16
VIDRIO	2,1	2,77	3,65	4,09
TEXTILES	2,1	2,42	4,2	3,40
METALES	0,8	0,82	1,36	1,38
ESCOBROS	1,9	0,94	0,38	0,66
TETRAPACK	0,3	0,41	0,15	0,82
ELECTRÓNICOS	0,5	0,24	0,19	0,5
PELIGROSOS	1,2	0,69	1,16	2,02

**Fuente:** Elaboración propia con datos del informe de la (Universidad de Medellín, 2014)





**Gráfico 26. Comparativo de la composición física porcentual de los diferentes estudios de caracterización de residuos sólidos en el sector residencial de Medellín para los años 2009, 2011, 2014 y 2018.**



Fuente: Elaboración propia





## 11.4. Cálculo de la cantidad de residuos potencialmente aprovechables, según su naturaleza, determinada mediante aforos

Sumando los residuos que tiene un alto potencial de aprovechamiento, como el plástico, papel, cartón y metales, se puede apreciar en la **Tabla 41** que estos representan un 19% de todos los residuos, y que al ser mezclados con residuos orgánicos y ordinarios pierden sus propiedades para ser reciclados, por lo que ya entrarían en la clasificación de ordinarios y van directamente al relleno.

**Tabla 41. Porcentaje de residuos con potencial de aprovechamiento de acuerdo con su naturaleza.**

Estrato	1	2	3	4	5	6
Reciclables (Plástico, papel, cartón, metal)	14,34%	16,82%	19,04%	20,83%	23,70%	19,13%

**Fuente:** *Elaboración propia*

En la **Tabla 42** se reporta el material reciclado entregado por los habitantes de las todas comunas y estratos, este material se clasificó y se pesó aparte del material ordinario con el fin de conocer el porcentaje de separación en la fuente que hay en la ciudad. Así mismo, se cuantificó el número de viviendas que entregaron su reciclaje como se puede ver en el **Gráfico 27**, en el cual se puede corroborar que en los estratos más altos (4, 5 y 6) está más arraigada cultura de la separación de residuos y su reúso o reciclaje, ya que un mayor número de viviendas muestreadas en estos estratos entregaron su reciclaje, con respecto a los estratos más bajos reflejados en la **Tabla 41** y **Tabla 42**.



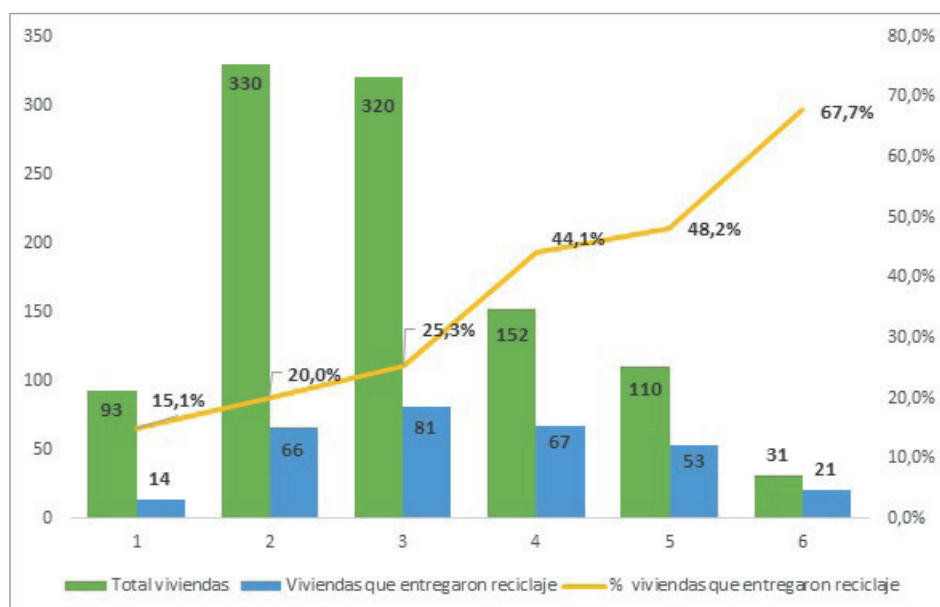


**Tabla 42. Peso de material reciclado entregado en los muestreos por estrato socioeconómico en Medellín.**

Estrato	1	2	3	4	5	6	Total
Peso total (kg)	758,10	2.466,62	2.483,10	836,10	733,80	199,90	7.478
Peso reciclaje (kg)	14,60	116,00	151,00	117,30	93,40	29,10	521
% Peso Reciclaje	1,9%	4,7%	6,1%	14,0%	12,7%	14,6%	7%

**Fuente:** Elaboración propia

**Gráfico 27. Comparativo por estrato socioeconómico de la entrega de reciclaje**



**Fuente:** Elaboración propia

En el estudio del 2014, el estrato 6 tuvo un porcentaje de separación del 84% (21 de las 25 viviendas visitadas entregaron reciclaje); el estrato 5 un 68%, correspondiente a la separación en 32 de las 50 viviendas visitadas y en el estrato 4, el 77% de las viviendas separó sus residuos, correspondiente a 50 de las 65 viviendas visitadas.

En comparación con el estudio anterior, siguen siendo los estratos socioeconómicos más altos los que más separan sus residuos, al encontrarse en el estudio del 2018 que un 67,7% de las viviendas participantes en el estrato 6, entregaron sus residuos separados, un 48,2% en el estrato 5 y un 44,1% en el estrato 4. **Ver Gráfico 27.**





Al momento de la recolección de los residuos en los estratos 1 y 2, hubo muchas personas que reconocían que, si separaban, especialmente plástico y cartón, sin embargo, que no entregarían su material reciclado porque su venta era una parte de su sustento económico. También se evidenció en la recolección de las muestras, que todavía existe confusión en la separación de los residuos en las viviendas, es decir, no todas las personas saben qué tipo de materiales son reciclables y cuáles no, especialmente con los plásticos y Tetrapack.

Es importante que las campañas y proyectos futuros que desarrollen desde la Alcaldía, afiancen estos temas de separación en la fuente y clasificación de residuos, para facilitar la separación, clasificación y posterior uso o aprovechamiento de todos estos materiales en la Ciudad.

### 11.5. Análisis descriptivo de datos de cantidad de residuos que van al sistema de disposición final

Para conocer la cantidad de residuos sólidos que están llegando diariamente al relleno sanitario La Pradera, se realiza un cálculo basado en la PPC calculada anteriormente para la ciudad de Medellín (0,54 Kg/hab-día) y para los corregimientos (0,34 Kg/hab-día), la población proyectada para el 2018 tanto de Medellín (2.529.403) como de corregimientos (255.705) en las proyecciones del DANE , se multiplica por el porcentaje calculado para cada tipo de residuos producto de la caracterización de estos. Los resultados se reportan en la Tabla 43 .

**Tabla 43. Proyección y estimación de Toneladas diarias generadas en Medellín y en los corregimientos, por tipo de residuos.**

Componente	Medellín (Ton/día)	Corregimientos (Ton/día)	Medellín (%)	Corregimientos (%)
Biodegradables	556,32	26,95	40,73%	30,98%
Ordinarios	395,15	31,32	28,93%	36,01%
Plástico	162,54	11,40	11,90%	13,10%
Vidrio	56,68	3,57	4,15%	4,10%
Textiles	46,99	1,34	3,44%	1,54%
Cartón	43,71	3,02	3,20%	3,47%
Papel	36,84	1,24	2,73%	1,43%
Peligrosos	28,00	0,936	2,05%	1,08%
Metales	19,12	4,392	1,40%	5,05%
Especiales	13,93	0,936	1,02%	1,08%
Madera	6,15	1,89	0,45%	2,17%
<b>TOTAL, DISPUESTOS EN EL RELLENO (TON/DÍA)</b>	<b>1365,88</b>	<b>86,98</b>	<b>100,00%</b>	<b>100,00%</b>

*Fuente: Elaboración propia.*





De acuerdo con lo anterior, se estimó que aproximadamente el 40,73% de los residuos que se generan (556,32 ton/día), son residuos biodegradables con alto potencial de aprovechamiento tanto material como energético. Para los corregimientos se reporta que el 30,98% (26,95 ton/día) son residuos orgánicos biodegradables. Con respecto al año 2014, bajó la producción de estos residuos ya que se reportaron 45,21 ton/día.

En Medellín, los residuos ordinarios aumentaron su producción a un 28,93% (395,15 ton/día), con respecto al año 2014 que se estimaron 227 ton/día. En el caso de los corregimientos los residuos orgánicos ocupan el primer lugar con un 36,01% (31,32 ton/día).

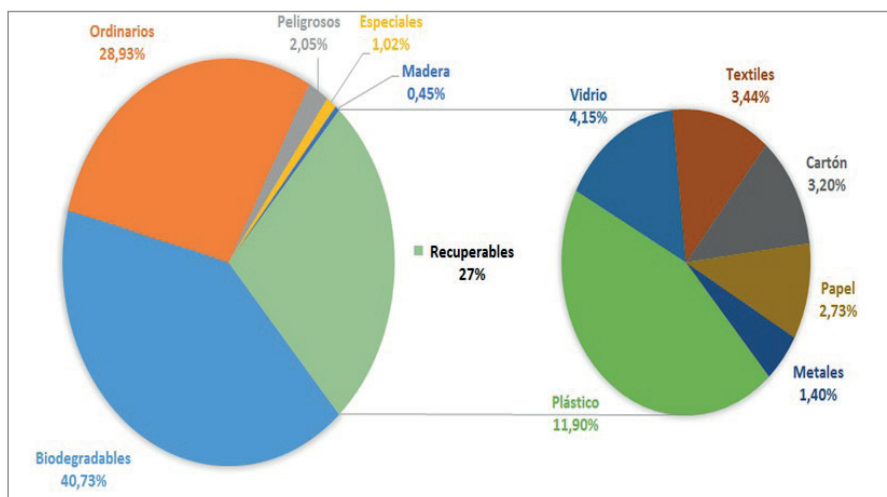
Los plásticos siguen en tercer lugar tanto para Medellín como para Corregimientos, con un 11,9% (162,54 ton/día) y 13,10% (11,40 ton/día) respectivamente, que con respecto al estudio anterior también aumentó la cantidad estimada sustancialmente, al reportarse en Medellín unas 106 ton/día y 6,93 ton/día para corregimientos.

En total, se estima que la generación en el sector residencial diariamente es de 1.365,88 ton/día de residuos y para los corregimientos es de 86,98 ton/día, para un total de 1.452,86 ton/día dispuestas en el relleno sanitario La Pradera. De este total, un 27% aproximadamente, es decir, 391,29 toneladas son residuos recuperables como papel, cartón, textiles, vidrio, metales y plásticos y si se le suman las 583,27 ton/día de residuos biodegradables, serían el 67% de residuos aprovechables que están llegando al relleno sanitario para su disposición. Ver **Gráfico 28**.

Es importante resaltar que al relleno se estima que están llegando diariamente unas 28,94 toneladas de residuos peligrosos y de residuos especiales unas 14,87 toneladas. Estos residuos a pesar de que las personas los identifican como peligrosos, posiblemente todavía no tiene el conocimiento de cómo disponerlos adecuadamente, por lo que los presentan con los ordinarios, es el caso también de los residuos especiales, como aparatos eléctricos y electrónicos, escombros, aceites de cocina usado, entre otros.

Se recomienda que los desarrollos y avances en el manejo de los residuos sólidos urbanos, entre estos los residuos orgánicos que son los de mayor producción, sean prioritarios para la ciudad de Medellín, dado que éstos pueden convertirse en un problema de salud pública si no se cuenta con estrategias adecuadas de aprovechamiento o disposición.

**Gráfico 28. Estimación porcentual de los residuos sólidos producidos en Medellín**



**Fuente:** Elaboración propia





## 12. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA Y PODER CALORÍFICO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL SECTOR RESIDENCIAL

Para realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica de los residuos sólidos del sector residencial, se compuso muestras de cada uno de los estratos socioeconómicos y de diferentes zonas, para un total de 63 muestras de aproximadamente dos (2) kilogramos, llevadas al laboratorio del Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares GIEM, de la Universidad de Antioquia.

Este número se calcula con un tamaño de muestra de una población finita o contable, es decir, realizar 1.420 muestras para cumplir con 2.500 muestras en la ciudad de Medellín que abarca las 16 comunas y los 5 corregimientos, teniendo definida una población finita con esta información se puede calcular cual es el tamaño ideal de muestras a enviar a laboratorio. Para lo anteriormente definido la ecuación para el tamaño de muestra es:

$$n = \frac{(Z_{\alpha/2})^2 \sigma^2 N}{e^2(N-1) + (Z_{\alpha/2})^2 \sigma^2}$$

### Donde:

**n** = es el tamaño de la muestra poblacional a obtener.

**N** = es el tamaño de la población total.

**σ** = Representa la desviación estándar de la población. En caso de desconocer este dato es común utilizar un valor constante que equivale a 0,5

**Z** = es el valor obtenido mediante niveles de confianza. Su valor es una constante, por lo general se tienen dos valores dependiendo el grado de confianza que se desee siendo 99% el valor más alto (este valor equivale a 2,58) y 95% (1,96) el valor mínimo aceptado para considerar la investigación como confiable.

**e** = representa el límite aceptable de error muestral, generalmente va del 1% (0,01) al 9% (0,09), para nuestro caso usaremos un 5,26%.

Se Calcula la muestra con esos Valores:

$$n = \frac{(1,96)^2 0,5^2 (1420)}{0,00526^2 (1419) + (1,96)^2 0,5^2} = 63,07 \approx 63$$

Después de lo anterior y definido el tamaño de muestras a enviar al laboratorio para el sector residencial, se hace una distribución entre los seis estratos y las 16 comunas proporcional al número de viviendas a visitar. Para el caso de los corregimientos se acordó enviar al laboratorio diez muestras en total, dos por cada corregimiento y para el caso de Medellín se tuvo en cuenta la presencia de los estratos en las diferentes comunas. Así pues, la distribución de las 53 muestras restantes para el sector residencial se puede ver en la **Tabla 44** y para los corregimientos en la **Tabla 45**.



**Tabla 44. Distribución de muestras por estrato para ser analizadas en el laboratorio.**

ESTRATOS	TOTAL, MUESTRA POR ESTRATOS	CANTIDAD DE MUESTRAS
1	96	5
2	339	16
3	351	17
4	147	7
5	108	5
6	59	3
<b>TOTAL</b>	<b>1.100</b>	<b>53</b>

*Fuente: Elaboración propia*

**Tabla 45. Distribución de muestras por corregimiento para ser analizadas en el laboratorio**

CORREGIMIENTOS	TOTAL, MUESTRA POR CORREGIMIENTOS	CANTIDAD DE MUESTRAS
SANTA ELENA	64	2
SAN CRISTOBAL	64	2
SAN ANTONIO DE PRADO	64	2
PALMITAS	64	2
ALTAVISTA	64	2
<b>TOTAL</b>	<b>320</b>	<b>10</b>

*Fuente: Elaboración propia*

Para la distribución de las muestras por comunas se tuvo en cuenta la programación de recolección de éstas entre octubre y diciembre de 2018. En la **Tabla 46** se puede observar cuantas muestras fueron tomadas por comunas.

**Tabla 46. Distribución de muestras llevadas al laboratorio por comuna según los estratos socioeconómicos**

CORREGIMIENTOS	TOTAL, MUESTRA POR CORREGIMIENTOS	CANTIDAD DE MUESTRAS
C1 POPULAR	E1 E2	2
C2 SANTA CRUZ	E1 E2 E3	3
C3 MANRIQUE	E1 E2 E3	3





CORREGIMIENTOS	TOTAL, MUESTRA POR CORREGIMIENTOS	CANTIDAD DE MUESTRAS
C4 ARANJUEZ	E1 E2 E3	3
C5 CASTILLA	E2 y E3 (y una E3 en M2)	3
C6 DOCE DE OCTUBRE	E2 y E3	2
C7 ROBLEDO	E2, E3 y E4 (tres en M1 y una E3 en M2)	4
C8 VILLA HERMOSA	E2, E3 y E4 (tres en M1 y una E3 en M2)	4
C9 BUENOS AIRES	E2, E3 y E4 y E5	4
C10 LA CANDELARIA	E2, E3 y E4	3
C11 LAURELES	E2, E3, E4, E5 y E6	5
C12 LA AMÉRICA	E2, E3, E4 y E5	4
C13 SAN JAVIER	E1, E2, E3	3
C14 EL POBLADO	E2, E3, E5 y E6	4
C15 GUAYABAL	E2 y E3	2
C16 BELEN	E2, E3, E4, E5	4
<b>TOTAL MUESTRAS DE LABORATORIO</b>		<b>53</b>

*Fuente: Elaboración propia*

## 12.1. Preparación de las muestras

Una vez llegaban las muestras de la recolección de la comuna indicada, se procedía a hacer el pesaje de las bolsas provenientes de diferentes barrios, luego se realizaba el cuarteo de los residuos y por último se tomaba la muestra compuesta de la mayor cantidad de residuos que se encontraban en la caracterización, garantizando que la muestra tuviera orgánicos, barridos y reciclable, se pesaba hasta obtener 2 kilos, se empacaba en una bolsa resellable y se transportaba en nevera de poliestireno expandido hacia el laboratorio, debidamente marcada con su procedencia y fecha.

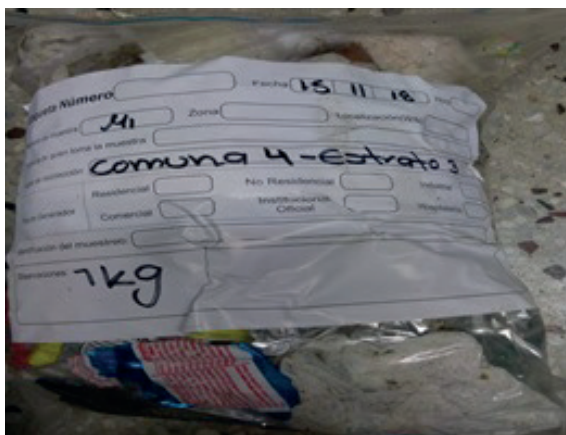
En la **Fotografía 7** se puede evidenciar mediante un formato de cadena de custodia, la entrega de las 53 muestras al laboratorio GIEM.







Fotografía 7. Presentación y entrega de muestras de residuos al laboratorio



Fuente: Tomada por profesionales del Consorcio Residuos Sólidos Medellín

Fotografía 8. Transporte de las muestras al laboratorio.



Fuente: Tomada por profesionales del Consorcio Residuos Sólidos Medellín

### 12.3. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para analizar en los residuos sólidos

Los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y fitotóxicos permiten conocer propiedades de los residuos para su potencial uso como productos agrícolas o como potenciales combustibles derivados de residuos por su poder calorífico.

De acuerdo con lo anterior, se analizan y comparan con respecto a dos normas, la norma NTC 5167 y los parámetros designados en la RAS.

La NTC 5167 no permitirá el uso de los residuos sólidos urbanos si no están separando en la fuente, ya que se minimizan los riesgos de contaminación por metales pesados y microorganismos patógenos. Por lo tanto, se recomienda que estos análisis se hagan una vez





la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos se haya separado del resto y haya pasado por un proceso de estabilización de la materia orgánica, ya que es la que más potencial agrícola tiene.

La otra fracción compuesta por residuos ordinarios y reciclables o recuperables, contiene potencial energético interesante debido a su poder calorífico, como se analizará en los capítulos siguientes. Dentro del pliego de contratación los análisis fisicoquímicos a realizar son:

**Análisis Fisicoquímicos:** Nitrógeno Orgánico, Porcentajes de Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Zinc (Zn) y Sodio (Na), Porcentaje de humedad, Carbono Orgánico, Relación Carbono Nitrógeno (C/N), pH, Conductividad, Cenizas, Densidad, Capacidad de retención de agua (CRA), Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), Tamaño de partícula, Poder Calorífico Superior.

**Análisis Microbiológicos:** Recuento de mesoaerobios, termófilos, mohos, levaduras, enterobacterias, salmonella, protozoos, nemátodos (presencia - ausencia)

**Análisis fitotóxicos:** Pruebas de germinación y actividad respirométrica.

**Metales pesados:** Cr, Cd, Pb, Ni, Hg, As.

Según el RAS título F, los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para tener en cuenta son aquellos que permiten tener un conocimiento más completo de las características de los residuos, con el fin de proponer tratamientos y procesos de aprovechamiento según su naturaleza como en el caso de los residuos orgánicos que si son separados en fuente, se pueden aprovechar mediante tratamientos como el compostaje o la digestión anaerobia, o para los residuos plásticos, de acuerdo con sus características pueden volver al ciclo de producción de fibra de plástico para hacer diferentes materiales.

A continuación, se presenta una breve explicación de los parámetros más importantes y su significado, lo que servirá de insumo para proponer los posibles aprovechamientos principalmente de los residuos orgánicos, teniendo como base comparativa la NTC 5167.

**Contenido de Carbono Orgánico:** Este contenido de carbono orgánico oxidable es considerado un parámetro importante ya que define el aporte potencial de materia orgánica degradable que presenta una fuente natural orgánica. El principio del método es la oxidación a CO<sub>2</sub>. De ahí su importancia para evaluar las emisiones de CO<sub>2</sub> de estas fuentes.

**Contenido de Nitrógeno:** Dado que el nitrógeno es un macronutriente para los seres vivos, es trascendental definir las cantidades presentes. El procedimiento utilizado para la determinación de nitrógeno orgánico total es el Método de Kjeldhal.

**Contenido de Fósforo:** El Fósforo interviene en funciones vitales de los seres vivos y las plantas lo utilizan para crecer y desarrollar su potencial genético. Las fracciones de Fósforos en las muestras se cuantifican por espectrofotometría. Es el elemento menos móvil y participa en la transmisión de información genética. En los suelos con pH bajos, el P es fijado rápidamente y asimilado por las plantas en forma iónica.

**Contenido de Humedad (%):** Esta variable se utiliza para el control de calidad del producto debido a que cuando hay contenidos apreciables de humedad se reactiva la colonización microbiana, cuya actividad provoca cambios considerables en el contenido de micro y





macronutrientes en las muestras. El principio del método es la gravimetría. La humedad en las muestras de residuos que pasarán por un proceso biooxidativo para degradar la materia orgánica, permite el transporte de enzimas bacterianas para la formación de los abonos. Cuando los porcentajes de humedad son pequeños, el proceso fermentativo es lento, y cuando es alto se asocia a la putrefacción o procesos de degradación. La NTC 5167 presenta el porcentaje de humedad requeridos dependiendo del tipo de material de origen a utilizarse para realizar abonos orgánicos; para residuos de origen animal, el máximo es 20% y para residuos vegetales el máximo es 35%.

**Contenido de cenizas:** Determina la cantidad de material no volátil presente en las muestras. Está directamente relacionado con el contenido de materia orgánica. El principio del método es la gravimetría.

**Capacidad de retención de agua (CRA):** Permite regular el balance hídrico. Favorece la retención de nutrientes

**Conductividad eléctrica:** Indica el nivel de iones en el compost. De acuerdo con este parámetro puede utilizarse para corrección de suelos de explotación intensiva

**Tamaño de partícula:** El tamaño de una partícula de materia orgánica define la disponibilidad de degradación microbiana de cualquier materia orgánica. El principio del método es Filtración y gravimetría.

**Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C):** Es el conjunto de procesos reversibles por medio de los cuales las partículas sólidas retienen y liberan iones de la fase acuosa y simultáneamente intercambian cationes hasta equilibrar las dos fases. Esto se atribuye a la materia orgánica que funciona como intercambiador. Para una buena fertilidad del suelo debe haber una alta CIC que pueda retener cationes procedentes de la mineralización, meteorización o fertilización, y así evitar su pérdida por lixiviación. En un suelo productivo, por lo general el orden de iones intercambiables según la abundancia es el siguiente:  $Ca^{2+} > Mg^{2+} > K^{+} \sim NH_4^{+} \sim Na^{+}$ .

**Relación Carbono Nitrógeno (C/N):** Este factor se relaciona con los nutrientes y es elemento limitante en el crecimiento y reproducción de los microorganismos. El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. El carbono constituye la fuente de energía y el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células. Estas bacterias consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo que la relación óptima de estos dos elementos en la materia prima se considera en un rango de 30:1 hasta 20:1

La descomposición de materiales con alto contenido de carbono, superior a 35:1, ocurre más lentamente, porque la multiplicación y desarrollo de bacterias es bajo, por la falta de nitrógeno, pero el período de producción de biogás es más prolongado. En cambio, con una relación C/N menor de 8:1 se inhibe la actividad bacteriana debido a la formación de un excesivo contenido de amonio, el cual en grandes cantidades es tóxico e inhibe el proceso.

En términos generales, se considera que una relación C/N óptima que debe tener el material “fresco o crudo” que se utilice para iniciar la digestión anaeróbica, es de 30 unidades de carbono por una unidad de nitrógeno, es decir,  $C/N = 30/1$ . Por lo tanto, cuando no se tiene un residuo con una relación C/N inicial apropiada, es necesario realizar mezclas de materias en las proporciones adecuadas para obtener la relación C/N óptimas. (MANUAL DE BIOGÁS, 2011)





**Metales pesados:** Son elementos que tienen un peso molecular relativamente alto. Usualmente tienen una densidad superior a 5,0 g/cm<sup>3</sup>, por ejemplo, plomo (Pb), plata (Ag), mercurio (Hg), cadmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu), hierro (Fe), molibdeno (Mo), níquel (Ni), zinc (Zn).

**Análisis Microbiológicos:** permite definir si el producto final es ambientalmente aceptable, agrónomicamente seguro e inocuo. La población de patógenos debe desaparecer por la acción de la temperatura controlada. En general, se realiza un recuento total de mesoaerobios, termófilos, mohos, levaduras, enterobacterias, salmonella para cuantificar qué tan contaminada está una muestra con respecto a otra desde este punto de vista fitosanitario.

**Pruebas fitosanitarias en campo (% de germinación):** En semillero sembrar especies de crecimiento rápido como rábano, frijol o gramíneas para evaluar el porcentaje de germinación y la coloración. Si la germinación es inferior a 50% no se recomienda utilizar en aplicaciones al suelo, es necesario reprocesar para poder utilizarlo en actividades agrícolas u otras que impliquen su aplicación al suelo. Igualmente, si en el desarrollo de las pruebas se observa marchitez, amarillamiento o pudrición en alguna de las partes de los individuos vegetales de la prueba, es un indicador de que el proceso no alcanzó la temperatura adecuada para controlar patógenos. Así mismo si se presenta crecimiento de malezas en el producto obtenido a partir de semillas fértiles que persistieron al proceso de compostaje, indica que el proceso no alcanzó la temperatura adecuada.

**Actividad Respirométrica:** Proporciona una medición directa del oxígeno consumido por los microorganismos del aire o un ambiente enriquecido con oxígeno en un recipiente cerrado bajo condiciones de temperatura y agitación constantes.

## 12.4. Resultados y análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de los residuos sólidos en el sector residencial

De acuerdo con Título F del RAS, las características fisicoquímicas y microbiológicas y contenidos de metales pesados se deben comparar con normas como la (NORMA TECNICA COLOMBIANA 5167, 2011) o normas ICONTEC o aquellas que las complementen o modifiquen. De acuerdo con esto, los resultados presentados a continuación se compararán con la NTC 5167 para abonos y enmiendas orgánicas.

En este punto se presentan los resultados de los parámetros anteriormente descritos obtenidos en los análisis de laboratorio entregados por el Grupo GIEM de la UdeA. Estos resultados se presentarán por estrato socioeconómico, recordando que se tomó muestra de cada estrato en diferentes comunas y en todas las zonas de la ciudad. Las convenciones usadas para referirse a la técnica empleada, parámetro analizado, unidad de medida entre otras son descritas en la **Tabla 47**.

**Tabla 47. Convenciones usadas en los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos**

<b>Parámetros</b>	CO: Carbono orgánico, CRA: Capacidad de Retención de Agua, CIC: Capacidad de Intercambio Catiónico, CIC/CO. CIC en términos de CO, C/N: carbono/nitrógeno, u.f.c / g: Unidades formadoras de colonia /gramo
<b>Unidades</b>	g: gramos, meq: miliequivalentes, mS: milisimens, cm: centímetros, cm <sup>3</sup> : centímetro cúbico, ppm: partes por millón, P/V: Peso/Volumen, V/V: Volumen/Volumen,





<b>Técnicas</b>	A.A. Absorción Atómica, EC: Electroforesis capilar, PDP: Polarografía diferencial de pulso, SSLMM-42-2-92: Soil Survey Laboratory Methods Manual Reporte N°42, Versión 2.0, 1992
<b>Otras</b>	Mta: muestra, ND: No Detectado, NC: No cuantificable, de: desviación estándar, LD: Límite de detección, NTC: Norma Técnica Colombiana, SM: Standard Methods, APHA: American Public Health Association, AWWA: American Water Works Association, WPCF: Water Pollution Control Federation, AOAC: Association of Oficial Analytical Chemists, FAO: food and agriculture organization.
<b>BS</b>	Los cálculos se realizaron en base seca.

**Fuente:** Elaboración propia con datos tomados de los informes de resultados del GRUPO GIEM

Cabe anotar que como estas muestras se tomaron los residuos sólidos urbanos con poca separación en la fuente, no se recomienda por la misma Norma realizar procesos de transformación de la materia orgánica como compostaje o digestión anaerobia debido que los productos obtenidos de estos tratamientos presentarán un alto riesgo de contaminación con agentes patógenos y metales pesados que impedirán su uso como producto agrícola. Sin embargo, son parámetros que permitirán definir qué tipo de tratamiento se recomienda de acuerdo con los resultados.

**Tabla 48. Límites máximos permisibles para metales pesados según normatividad colombiana**

Parámetro	Máximo permisible para sólidos urbanos separados en la fuente (mg/kg Base Seca) Tabla F5.6 Categoría A. Título F del RAS 2000	Valor máximo Permisible en abonos o fertilizantes orgánicos sólidos (ppm) NTC 5167
Arsénico (As)	15	41
Cadmio (Cd)	0,70	39
Cromo (Cr)	70	1.200
Mercurio (Hg)	0,4	17
Níquel (Ni)	25	420
Plomo (Pb)	140	300
Zinc (Zn)	2.000	

**Fuente:** Elaboración propia con datos tomados de (NORMA TECNICA COLOMBIANA 5167, 2011) y (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO F Sistemas de Aseo Urbano, 2012)





**Tabla 49. Parámetros fisicoquímicos para garantizar según la normatividad colombiana en residuos sólidos urbanos separados en fuente y productos agrícolas a partir de estos**

Parámetro	Tabla F5.6 Categoría A. Título F del RAS 2000 Categoría A	NTC 5167
Cenizas (%)	< 60%	Máximo 60%
Capacidad de Intercambio Catiónico CIC (meq/100g)	> 30,0	Mínimo 30 (meq/100g)
Carbono orgánico oxidable (%)	>15%	Mínimo 15%
Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) en base seca	< 0,6	Mínimo 0,6
P2O5 total (%)	Reportar si es mayor al 1%	Reportar si es mayor al 1%
K2O total (%)	Reportar si es mayor al 1%	Reportar si es mayor al 1%
Humedad (%)	45-50%	Para materiales de origen vegetal máximo 30% Para mezclas el contenido deberá ponderarse en proporción a la mezcla
N total (%)	Reportar si es mayor al 1%	Reportar si es mayor al 1%
pH (10%)	Ente 5 y 7	Mayor de 4 y menor de 9
Relación C/N	20:1 – 25:1	Reportar
CRA	> 100,0	Mínimo su propio peso

*Fuente: Elaboración propia con datos tomados de (NORMA TECNICA COLOMBIANA 5167, 2011) y (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO F Sistemas de Aseo Urbano, 2012)*

**Tabla 50. Límites máximos permisibles para parámetros microbiológicos según normatividad colombiana en residuos sólidos urbanos separados en fuente y productos agrícolas a partir de estos**

Parámetros microbiológicos	Tabla F5.6 Categoría A. Título F del RAS 2000 Categoría A y NTC 5167
Salmonella sp.	Ausente en 25 gramos de muestra de producto final (en base seca)
Entero bacterias totales (Coliformes totales)	< 1,00 E (+3) NMP/g de producto final (En base seca)





Parámetros microbiológicos	Tabla F5.6 Categoría A. Título F del RAS 2000 Categoría A y NTC 5167
Huevos de helmintos	< 1 Huevo de helminto viable/4 g de muestra de producto final (en base seca)
Fitopatógenos	Ausentes

Fuente: Elaboración propia con datos tomados de (NORMA TECNICA COLOMBIANA 5167, 2011) y (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO F Sistemas de Aseo Urbano, 2012)

Según la NTC 5167, los productos orgánicos sólidos empleados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores del suelo, deben cumplir con los requisitos establecidos en la siguiente tabla.

**Tabla 51. Porcentajes para macro contaminantes en muestras según NTC 5167**

Macro contaminantes	Límite (% en masa seca)
Plástico, metal, caucho > 2mm	< 0,2
Vidrio > 2mm	< 0,02
Piedras > 5mm	< 2
Vidrio > 16 mm detección (si/no)	no

Fuente: Elaboración propia con datos tomados de (NORMA TECNICA COLOMBIANA 5167, 2011) y (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO F Sistemas de Aseo Urbano, 2012)

### 12.3.1. Resultados de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y fitotóxicos para el estrato 1

A continuación se reportan los resultados para los diferentes parámetros relacionados anteriormente para el **estrato 1** en la zona 1 las muestras de la comuna 1 (MC1E1), comuna 2 (MC2E1), comuna 3 (MC3E1) y comuna 4 (MC4E1) y la de la zona 5 la muestra de la comuna 13 (MC13E1), en la **Tabla 52, Tabla 53, Tabla 54, Tabla 55** y posteriormente se encuentra el análisis de dichos resultados.

Los valores de color rojo en las diferentes tablas son los que no cumplen con los parámetros establecidos por la NTC 5167 o los del Título F del RAS 2000 Categoría A.

En el caso específico de los Metales Pesados el análisis se realizará con respecto a los parámetros del Título F del RAS 2000 Categoría A.





**Tabla 52. Resultados de metales pesados en muestras del estrato 1 tomadas en diferentes zonas de Medellín**

Zona	Zona 2				Zona 5
(ID Muestra)	(MC1E1)	(MC2E1)	(MC3E1)	(MC4E1)	(MC13E1)
Parámetro	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado	Resultado
Cadmio total (ppm)	6,95	< 0,003	1,370	< 0,003	< 0,003
Cromo total (ppm)	< 0,02	39,8	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Níquel total (ppm)	15,9	6,9	18,7	16,76	21,6
Plomo total (ppm)	9,4	< 0,01	17,9	< 0,01	< 0,01
Mercurio (ppm)	< 0,01	N.D	< 0,01	< 0,01	N.D
Arsénico (ppm)	0,025	N.D	< 0,1	< 0,1	< 0,1

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 53. Resultados de los parámetros fisicoquímicos para las muestras del estrato 1 tomadas en diferentes zonas de Medellín**

Zona	Zona 2				Zona 5
(ID Muestra) / Parámetro	(MC1E1)	(MC2E1)	(MC3E1)	(MC4E1)	(MC13E1)
Calcio total (%)	3,066	4,69	11,83	2,272	8,89
Magnesio total (%)	0,321	0,493	0,458	0,1925	0,266
Potasio total (%)	1,668	0,7656	1,453	2,267	1,131
Sodio total (%)	0,232	0,189	0,369	0,231	0,284
Zinc total (%)	0,0184	0,01574	0,0219	0,02107	0,0294
Fósforo total (%)	0,83	2,27	2,92	1,15	2,89
Nitrógeno total (%)	2,27	1,65	2,29	1,57	1,21
Nitrógeno orgánico total (%)	2,29	1,44	2,23	1,56	1,16
Carbono orgánico oxidable total (%)	35,8	20,2	31,4	36,1	31,7
Cenizas (%)	13,4	33,7	21,6	9,73	16,4
CIC (meq/100 g)	29,5	29,4	19	31,3	9,2







Zona	Zona 2				Zona 5
(ID Muestra) / Parámetro	(MC1E1)	(MC2E1)	(MC3E1)	(MC4E1)	(MC13E1)
CIC/CO (meq/100 g CO)	82,3	145,8	60,4	86,8	28,9
Conductividad eléctrica (1/200) (dS/m)	0,87	0,87	0,93	0,9	2,78
CRA (%)	464,0	465,0	421,7	460,0	286,0
Densidad (20°C) (g/cm <sup>3</sup> )	0,15	0,16	0,14	0,14	0,17
Humedad (%)	66,4	54	56,8	71,6	51,4
pH (10%)	8,63	8,5	8,4	8,55	7,69
Relación C/N	15,6	14	18	23,2	27,4
Poder calorífico superior (Kcal/Kg)	4268	4213	4587	4982	3985

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 54. Resultados de los parámetros microbiológicos para el estrato 1 en diferentes zonas de Medellín**

Zona	Zona 2				Zona 5
(ID Muestra) / MICROORGANISMO	(MC1E1)	(MC2E1)	(MC3E1)	(MC4E1)	(MC13E1)
Mesófilos u.f.c / g	2,10E+09	2,60E+09	3,00E+02	1,70E+09	3,30E+08
Termófilos u.f.c / g	1,80E+07	1,10E+08	3,00E+06	7,00E+06	2,00E+06
Mohos u.f.c / g	1,00E+03	4,30E+05	0,00E+00	2,00E+03	1,70E+06
Levaduras u.f.c / g	1,40E+06	1,80E+06	4,50E+06	1,00E+05	2,00E+03
Nemátodos	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Enterobacterias u.f.c / g	5,00E+02	4,00E+02	8,00E+02	7,00E+02	1,00E+02
Salmonella / 25 g	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

Fuente: Elaboración propia



**Tabla 55. Resultados de los Parámetros Fitotóxicos para las muestras del estrato 1 en diferentes zonas de Medellín**

Zona	Zona 2				Zona 5
(ID Muestra) / parámetro	(MC1E1)	(MC2E1)	(MC3E1)	(MC4E1)	(MC13E1)
Respirometría 24 horas mg (CO <sub>2</sub> ) /g	6,34	8,74	8,91	8,83	0,19
% Germinación*	25	15	5	10	20

**Fuente:** Elaboración propia \*Concentración (% P/V) Mta sólida para el testigo de 10 y 80% de germinación

En la **Tabla 52**, se encontró que para la muestra de ME1C1 y ME1C3 los valores de Cadmio superaron el límite máximo permisible que es 0,7ppm. Y la muestra del ME1C2 superó el límite máximo permisible de Níquel (25 pm), de resto los valores se encontraron dentro de los límites permitidos o no se detectaron, por lo que no representan peligrosidad.

El Nitrógeno (N total) y el Fósforo (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> total) y El Potasio (K<sub>2</sub>O) se consideran macronutrientes fundamentales tanto para el suelo como para las plantas, debido a que influyen en diferentes procesos fisiológicos y nutricionales de estos, en el caso de los abonos orgánicos según la NTC 5167 se deben reportar si su cantidad es mayor al 1%. En las muestras del estrato 1, todas las muestras reportan contenidos de K<sub>2</sub>O menos para la MC2E1, En el caso del P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> todas las muestras lo contienen menos la MC1E1, el Nitrógeno está por encima del 1% en todas las muestras. **Ver Tabla 53.**

La carga negativa predominante de los coloides del suelo produce la retención de cationes y reduce su pérdida por lixiviación. Ello es de vital importancia, puesto que, gracias a este proceso de adsorción, los cationes están disponibles para la vegetación. Esto es válido para iones alcalinos y alcalinotérreos, como Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>, los cuales, debido a su tamaño y baja carga, precipitan con mucha dificultad. Debido a esto es importante cuantificarlos ya que se consideran micronutrientes para el suelo y las plantas. En el caso del % de Calcio el promedio de las cinco muestras fue de 6,150%, para el magnesio fue de 0,346%, para el Sodio el promedio fue de 0,261% y de Zinc de 0,21%. ver **Tabla 53.**

En el caso del Carbono Orgánico total, todas las muestras cumplen ya que el mínimo es 15%, el promedio de las cinco muestras es de 31,04%. Todas las muestras cumplen con el porcentaje de Cenizas necesario, ya que están por debajo del 60% con un promedio de 18,9%. De las cinco muestras, cuatro (MC1E1, MC2E1 MC3E1 y MC13E1) no cumplen con el mínimo solicitado por la Norma, solo la muestra de la comuna 4 cumple, entre mayor es la CIC, mayor es la cantidad de cationes como Calcio, Magnesio y Potasio que puede retener, indispensables para la fertilidad de los suelos. El intercambio de cationes es determinante y de suma importancia para mantener el equilibrio natural, puesto que regula el consumo de nutrientes por parte de las plantas. Ello tiene lugar por intercambio con iones H<sup>+</sup> generados durante la respiración de las plantas. El intercambio catiónico forma parte del mecanismo auto depurador del suelo al retener los metales tóxicos, impidiendo su movilización en el ecosistema (Doménech, 1997).





Todas las muestras cumplen ya que la Capacidad de Retención de Agua debe ser mayor al 100%, Todas las muestras cumplen con la densidad según la NTC y el Ras 2000, porque la densidad máxima es 0,6 (g/cm<sup>3</sup>), todas las muestras cumplen con el pH entre 5 y 9. Para el caso de la humedad, todas las muestras sobrepasan el límite que es del 30%.

El Nitrógeno es el elemento responsable de la aceleración del proceso reproductivo de los microorganismos, El factor Carbono/Nitrógeno (C/N) indica la relación necesaria de carbono con respecto al nitrógeno para formar abono de óptima y rápida fermentación, y se considera adecuada cuando está entre el rango de 20 a 30, para el caso de las cinco muestras del estrato 1 solo cumplen las MC3E1, MC4E1 y MC13E1.

Con respecto a los parámetros microbiológicos (**Tabla 54**), se debe tener especial cuidado con que las muestras cumplan con los niveles máximo-permisibles para enterobacterias (Coliformes) y Salmonella, al ser microorganismos patógenos para los seres humanos.

La Salmonella, en el ámbito mundial, está asociada frecuentemente a las enfermedades diarreicas, las cuales continúan siendo una de las causas más importantes de morbilidad y mortalidad sobre todo en lactantes, niños y ancianos. Las infecciones agudas del tracto gastrointestinal están consideradas como una de las enfermedades más frecuentes en Colombia, Estos microorganismos que se hallan ampliamente distribuidos en la naturaleza, se encuentran en el tracto gastrointestinal de los mamíferos domésticos y salvajes, los reptiles, las aves y los insectos. (Parra, 2002).

El término habitual “coliformes” comprende E. coli y diversas especies pertenecientes a otros géneros de la familia Enterobacteriaceae. la mayor parte de estas, proceden de contaminaciones de origen fecal y su presencia en gran número puede indicar una manipulación no higiénica o un almacenamiento inadecuado. En las cinco muestras del Estrato 1 está ausente la Salmonella y las enterobacterias es menor a 1000 u.f.c/g.

Debido a que la fracción de residuos orgánicos es la mayor en la composición de los residuos sólidos urbanos, la eliminación de residuos de alimentos constituye un problema importante asociado al crecimiento de patógenos y a su rápida degradación. Si bien, los residuos contienen diferentes microorganismos presentes, la alta tasa de actividad microbiana y la cantidad de nutrientes en los residuos de alimentos facilitan el crecimiento de patógenos, lo que causa mal olor, problemas de saneamiento e incluso puede conducir a enfermedades infecciosas (D. Arancon, Sze Ki Lin, Chan, Him Kwan, & Luque, 2013)

Como la NTC 5167 define los parámetros para abonos orgánicos, es decir, residuos sólidos que ya han pasado por un proceso de degradación de materia orgánica en donde los protagonistas son los microorganismos como los Mesófilos y termófilos, por tal razón es normal que haya una cantidad de estos relativamente alto en los residuos sólidos, sobre todo si hay presencia de residuos orgánicos. Hongos y levaduras estarán presentes en la medida que haya una humedad importante en las muestras, por lo que también es normal su presencia.

Para los parámetros fitotóxicos como la respirometría y el % de Germinación (**Tabla 55**), Los valores mayores a 2 mg CO<sub>2</sub>/g indican una alta biodegradabilidad, es decir, alta actividad microbiana y posibles procesos de descomposición en curso. Sólo la MC13E1 presentó una respirometría de 0,19 mg CO<sub>2</sub>/g, de resto las muestras reportaron valores por encima de 6 mg CO<sub>2</sub>/g.





Si la germinación es inferior al 50% no se recomienda utilizar el material en aplicaciones al suelo, es necesario acudir a procesos de degradación oxidativa de la materia orgánica como compostaje o digestión anaerobia para poder utilizar el producto en actividades agrícolas u otras que impliquen su aplicación al suelo. Ninguna muestra presenta un porcentaje de germinación mayor al 50%, el promedio es de 15%

### 12.3.2. Resultados de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y fitotóxicos para el estrato 2

Los resultados para los diferentes parámetros del estrato 2 se midieron en todas las zonas de Medellín con una muestra por comuna, así pues el ID de las muestras son: comuna 1 (MC1E2), comuna 2 (MC2E2), comuna 3 (MC3E2) y comuna 4 (MC4E2), comuna 5 (MC5E2), comuna 6 (MC6E2), comuna 7 (MC7E2), comuna 8 (MC8E2), comuna 9 (MC9E2), comuna 10 (MC10E2), comuna 11 (MC11E2), comuna 12 (MC12E2) comuna 13 (MC13E2), comuna 14 (MC14E2), comuna 15 (MC15E2), comuna 16 (MC15E2); posteriormente se encuentra el análisis de dichos resultados.



**Fuente:** Tomada por personal del Consorcio Residuos Sólidos Medellín.



Tabla 56. Resultados de metales pesados en muestras del estrato 2 tomadas en diferentes zonas de Medellín

Zona	Zona 1				Zona 2			Zona 3		Zona 4			Zona 5	Zona 6		Zona 7	
ID Muestra/Parámetro	MC 1E2	MC 2E2	MC 3E2	MC 4E2	MC 5E2	MC 6E2	MC 7E2	MC 8E2	MC 9E2	MC 11E2	MC 12E2	MC 13E2	MC 14E2	MC 15E2	MC 16E2	MC 10E2	
Cadmio total (ppm)	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	1,81	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	2,28	<0,003	<0,003
Cromo total (ppm)	<0,02	<0,02	<0,02	15,5	<0,02	<0,02	446,9	1651	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Níquel total (ppm)	<0,003	<0,003	16	24,9	13,07	8,2	56,7	32,13	22,30	9,01	12,00	4,36	17,30	11,40	13,30	16,00	
Plomo total (ppm)	<0,01	<0,01	28,76	15,4	12,63	<0,01	18,9	<0,01	906,90	<0,01	16,00	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Mercurio (ppm)	N, D	N, D	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	N,D	<0,01
Arsénico (ppm)	<0,01	<0,01	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,123	2,358	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 57. Resultados de los parámetros fisicoquímicos para las muestras del estrato 2 tomadas en diferentes zonas de Medellín

Zona	Zona 1				Zona 2			Zona 3		Zona 4			Zona 5	Zona 6		Zona 7
ID Muestra/Parámetro	MC 1E2	MC 2E2	MC 3E2	MC 4E2	MC 5E2	MC 6E2	MC 7E2	MC 8E2	MC 9E2	MC 11E2	MC 12E2	MC 13E2	MC 14E2	MC 15E2	MC 16E2	MC 10E2
Calcio total (%)	1,65	5,099	3,499	5,150	11,99	4,550	3,828	6,878	4,178	4,33	8,88	0,874	2,789	11,4	7,831	3,173
Magnesio total (%)	0,193	0,2696	0,335	0,386	0,333	0,291	0,179	0,28	0,258	0,198	0,269	0,0594	0,233	0,249	0,251	0,232
Potasio total (%)	1,413	1,757	2,43	0,971	1,844	2	2,55	1,8	1,721	0,67	1,55	0,1946	1,194	1,376	11,460	1,311



Zona	Zona 1				Zona 2			Zona 3		Zona 4			Zona 5	Zona 6		Zona 7
ID Muestra/ Parámetro	MC 1E2	MC 2E2	MC 3E2	MC 4E2	MC 5E2	MC 6E2	MC 7E2	MC 8E2	MC 9E2	MC 11E2	MC 12E2	MC 13E2	MC 14E2	MC 15E2	MC 16E2	MC 10E2
Sodio total (%)	0,2197	0,438	0,313	0,71	0,582	0,2216	0,746	0,421	0,536	0,451	0,329	0,4908	0,3296	0,3463	0,2824	0,491
Zinc total (%)	0,0152	0,00672	0,0224	0,032	0,0148	0,0063	0,00894	0,014	0,0204	0,00465	0,0175	0,00638	0,00577	0,01	0,03401	0,02193
Fósforo total (%)	0,044	1,49	0,63	1,53	0,66	5,04	0,32	0,92	1,36	0,045	N,D	N,D	1,22	0,65	0,41	1,25
Nitrógeno total (%)	2,86	1,31	1,5	1,55	2,03	1,24	2,39	1,48	1,29	1,26	0,84	2,32	0,9	2,74	6,65	1,87
Nitrógeno orgánico total (%)	2,7	1,33	1,43	1,53	1,98	1,23	2,35	1,4	1,27	1,2	0,82	2,24	0,9	2,67	6,61	1,86
Carbono orgánico oxidable total (%)	38,6	35,8	21	33,9	35,4	36,5	25,1	35,4	40,4	42,7	34,5	43	36,5	25,6	28,3	35,5
Cenizas (%)	7,01	13,5	12,5	13,4	20,2	13,8	78,7	27,7	11,3	21,2	13,8	4,7	8,29	22,7	12,7	50,5
CIC (meq/100 g)	25,4	21,5	29,2	21,2	20,1	41,1	17,9	15,4	29,6	17,2	19,5	9,65	32,8	8,9	18,4	23,2
CIC/CO (meq/100 g CO)	65,8	60,1	139	62,7	56,7	113	71,5	43,6	73,2	40,3	56,5	22,4	89,9	34,8	65,1	65,5
Conductividad eléctrica (1/200) (dS/m)	0,95	3,57	0,95	2,86	3,1	3,18	2,07	2,01	4,71	4,03	1,13	3,17	1,5	2,29	1,29	2,27
CRA (%)	473	232	458	585	577	304	233	226	261	263	325	348	323	323	336	254
Densidad (20°C) (g/cm <sup>3</sup> )	0,19	0,17	1,31	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,14	0,17	0,18	0,22	0,17	0,16	0,2	0,18
Humedad (%)	73,2	42	65,4	50,3	58,8	76,1	64,3	46,7	51,8	57,6	63,4	48,6	51,4	86	69,7	78,8
pH (10%)	8,65	6,19	8,55	6,39	5,97	6	7,22	7,94	5,16	5,6	7,97	6,15	7,34	8,88	7,36	8,07



Zona	Zona 1				Zona 2			Zona 3		Zona 4			Zona 5	Zona 6		Zona 7
ID Muestra/ Parámetro	MC 1E2	MC 2E2	MC 3E2	MC 4E2	MC 5E2	MC 6E2	MC 7E2	MC 8E2	MC 9E2	MC 11E2	MC 12E2	MC 13E2	MC 14E2	MC 15E2	MC 16E2	MC 10E2
Relación C/N	18,3	26,9	14,7	22,2	17,9	29,7	10,7	25,3	31,8	35,6	42,1	19,2	40,4	9,6	4,27	19,1
Poder calorífico superior (Kcal/Kg)	5084	4406	4032	4373	3458	3850	4194	4370	4767	3025	3947	3844	5025	4450	4100	5023

Fuente: Elaboración propia

Tabla 58. Resultados de los parámetros microbiológicos para el estrato 2 en diferentes zonas de Medellín

Zona	Zona 1				Zona 2			Zona 3		Zona 4			Zona 5	Zona 6		Zona 7	
ID Muestra/ Parámetro	MC 1E2	MC 2E2	MC 3E2	MC 4E2	MC 5E2	MC 6E2	MC 7E2	MC 8E2	MC 9E2	MC 11E2	MC 12E2	MC 13E2	MC 14E2	MC 15E2	MC 16E2	MC 10E2	
Mesófilos u.f.c / g	1,10E+09	3,20E+09	3,60E+09	1,60E+09	2,00E+09	6,20E+07	2,80E+09	8,90E+07	3,80E+09	2,70E+09	2,60E+09	2,60E+08	1,80E+08	3,70E+08	1,50E+09	3,00E+09	
Termófilos u.f.c / g	3,00E+06	6,00E+07	7,00E+06	2,10E+06	2,00E+06	1,00E+06	7,00E+06	3,00E+06	1,20E+08	7,00E+05	1,00E+08	3,10E+08	2,30E+07	3,00E+06	1,00E+06	4,00E+06	
Mohos u.f.c / g	1,90E+04	1,20E+03	0,00E+00	8,00E+03	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	7,50E+05	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	
Levaduras u.f.c / g	3,10E+04	2,70E+06	2,50E+06	0,00E+00	9,10E+05	3,40E+05	1,60E+07	5,10E+04	1,20E+04	3,70E+06	1,30E+05	1,80E+06	5,50E+05	7,60E+05	3,30E+06	4,50E+06	
Nemátodos	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	
Enterobacterias u.f.c / g	1,00E+02	6,00E+02	6,00E+02	1,00E+02	1,00E+02	2,00E+07	4,00E+02	1,00E+01	2,50E+02	2,00E+02	0,00E+00	0,00E+00	6,00E+01	1,00E+02	6,00E+02	0,00E+00	
Salmonella / 25 g	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Presente	Ausente	Presente	Ausente

Fuente: Elaboración propia



Tabla 59. Resultados de los Parámetros Fitotóxicos para las muestras del estrato 2 en diferentes zonas de Medellín

Zona	Zona 1				Zona 2			Zona 3		Zona 4			Zona 5	Zona 6		Zona 7
ID Muestra/ Parámetro	MC 1E2	MC 2E2	MC 3E2	MC 4E2	MC 5E2	MC 6E2	MC 7E2	MC 8E2	MC 9E2	MC 11E2	MC 12E2	MC 13E2	MC 14E2	MC 15E2	MC 16E2	MC 10E2
Respirometría 24 horas mg (CO2)/g	8,88	7,75	7,99	7,23	8,41	8,88	3,02	8,85	8,88	8,58	7,78	8,7	9,08	8,78	9,07	8,81
% Germinación Muestra	10	0	60	0	0	15	0	30	0	0	0	10	15	20	5	0

Fuente: Elaboración propia

“ Los gobiernos de América Latina y el Caribe enfrentan la problemática de la gestión de residuos y sus impactos en un contexto de **preocupación mundial por la sostenibilidad económica, ambiental y social de los servicios** ”







En la **Tabla 56**, se encontró que la muestra MC8E2 no cumple con los límites máximos permisibles de Cadmio (1,81ppm), Cromo (1.651 ppm) y Níquel ( 32,13 ppm), la muestra MC7E2 sobrepasó los límites de Cromo (449ppm) y de Níquel (56,7 ppm), la muestra MC9E2 sobrepasó el límite de Plomo (906.9 ppm) y la MC15E2 superó el límite para Cadmio (2,28 ppm). De resto los valores se encontraron dentro de los límites permitidos o no se detectaron, por lo que no representan peligrosidad.

En las muestras del estrato 2, la mayoría de las muestras reportan contenidos de K<sub>2</sub>O mayores al 1% menos la MC4E2, MC11E2 y MC13E2, con respecto al contenido de fósforo, sólo las muestras MC2E2 (1,49%), MC4E2 (1,53%, MC6E2 (5,04%), MC9E2 (1,36%), MC14E2 (1,22%) y MC10E2 (1,25%) se reportan, el resto están por debajo del 1%. La mayoría de las muestras reportan más del 1% de contenido de nitrógeno, menos la MC12E2 y la MC14E2. **Tabla 57**

En el caso del % de Calcio el promedio de las 16 muestras fue de 5,38%, para el magnesio fue de 0,251%, para el Sodio el promedio fue de 0,4317% y de Zinc de 0,015%. ver **Tabla 57** En la misma tabla, el porcentaje para el Carbono Orgánico total, de todas las muestras cumplen ya que el mínimo es 15%, el promedio de las 16 muestras es de 34,26%. 15 muestras cumplen con el % de Cenizas necesario, ya que están por debajo del 60% con un promedio de 20,75%, a excepción de la MC7E2 (78.7%). Para la CIC, De las 16 muestras, solo dos cumplen (MC6E2, y MC14E2) de resto no cumplen con el mínimo solicitado por la Norma que es 30 (meq/100 g)

Todas las muestras cumplen ya que la Capacidad de Retención del agua debe ser mayor al 100%, Todas las muestras cumplen con la densidad según la NTC y el Ras 2000, porque la densidad máxima es 0,6 (g/cm<sup>3</sup>), todas las muestras cumplen con el pH entre 5 y 9. Para el caso de la humedad, todas las muestras sobrepasan el límite que es del 30%.

La relación carbono/ nitrógeno (C/N) indica la relación necesaria de carbono con respecto al nitrógeno para formar abono de óptima y rápida fermentación, y se considera adecuada cuando está entre el rango de 20 a 30, para este caso solo cumplen las MC2E2 (26,9), MC4E2 (22,2) y MC63E2 (29,7), MC8E2 (25,3)

Con respecto a los parámetros microbiológicos (**Tabla 58**), se reporta Salmonella en las MC14E2 y MC16E2 y se encontró un valor superior al límite de las enterobacterias que debe ser menor a 1000 u.f.c/g en la muestra MC6E2 (2.00E+07).

Para los parámetros fitotóxicos como la respirometría, todas las muestras salieron favorables con respecto a este parámetro, sin embargo, para el porcentaje de germinación que debe ser mayor al 50%, sólo la MC3E2 presentó un 60%, el resto de las muestras tienen un promedio es de 7%. **Ver Tabla 59.**





### 12.3.3. Resultados de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y fitotóxicos para el estrato 3

Los resultados para los diferentes parámetros del estrato 3 se midieron en todas las zonas de Medellín con una muestra por comuna, con excepción de la comuna 1 en donde no se muestreó el estrato ya que no se encontró el estrato en las muestras seleccionadas en esta comuna y en las comunas 5, 7 y 8 se analizaron 2 muestras más, con esto, se analizaron en total 18 muestras del estrato 3 en toda la ciudad., así pues el ID de las muestras son: comuna 2 (MC2E3), comuna 3 (MC3E3) y comuna 4 (MC4E3), comuna 5 (M1C5E3 y M2C5E3 ), comuna 6 (MC6E3), comuna 7 (M1C7E3 y M2C7E3), comuna 8 (M1C8E3 y M2C8E3), comuna 9 (MC9E3), comuna 10 (MC10E3), comuna 11 (MC11E4), comuna 12 (MC12E3) comuna 13 (MC13E3), comuna 14 (MC14E3), comuna 15 (MC15E3), comuna 16 (MC15E3); posteriormente se encuentra el análisis de dichos resultados.

**Tabla 60. Resultados de metales pesados en muestras del estrato 3 tomadas en las zonas 1, 2 y 3 de Medellín**

Zona	Zona 1			Zona 2					Zona3		
ID Muestra/ Parámetro	MC2E3	MC3E3	MC4E3	M1C5E3	M2C5E3	MC6E3	M1C7E3	M2C7E3	M1C8E3	M2C8E3	MC9E3
Cadmio total (ppm)	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	4,79	< 0,003	1,03
Cromo total (ppm)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	21.693	65,4	22	14,14
Níquel total (ppm)	17,00	92,22	15,3	12,02	12,34	13,7	15,1	16,9	35,6	16,9	17,90
Plomo total (ppm)	< 0,01	124,5	19,5	< 0,01	18,6	< 0,01	< 0,01	22,5	186,7	22,5	24,9
Mercurio (ppm)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	N,D	< 0,01	< 0,01	N,D	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Arsénico (ppm)	< 0,01	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1

**Fuente:** Elaboración propia



Tabla 61. Resultados de metales pesados en muestras del estrato 3 tomadas en las zonas 4, 5, 6 y 7 de Medellín

Zona	Zona 4			Zona 5	Zona 6		Zona 7
ID Muestra/Parámetro	MC11E3	MC12E3	MC13E3	MC14E3	MC15E3	MC16E3	MC10E3
Cadmio total (ppm)	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Cromo total (ppm)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	166,9	< 0,02	37,5	< 0,02
Níquel total (ppm)	0,316	11,7	17,5	49,6	21	33,5	6,1
Plomo total (ppm)	23,37	13,25	16,36	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Mercurio (ppm)	< 0,01	< 0,01	N.D	< 0,01	N.D	< 0,01	N.D
Arsénico (ppm)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	1,258	< 0,1	< 0,1	N.D

**Fuente:** Elaboración propia

Tabla 62. Resultados de parámetros fisicoquímicos en muestras del estrato 3 tomadas en las zonas 1, 2 y 3 de Medellín

Zona	Zona 1			Zona 5					Zona 3		
ID Muestra/Parámetro	MC 2E3	MC 3E3	MC 4E3	M1C 5E3	M2C 5E3	MC 6E3	M1C 7E3	M2C 7E3	M1C 8E3	M2C 8E3	MC 9E3
Calcio total (%)	6,28	6,62	3,23	3,29	11,91	5,229	2,404	8,57	3,88	8,57	11,282
Magnesio total (%)	0,287	0,366	0,235	0,545	0,516	0,62	0,602	0,281	0,288	0,281	0,366
Potasio total (%)	1,78	1,888	1,057	1,243	2,2272	0,574	31	1,346	2,23	1,346	2,186
Sodio total (%)	0,172	0,26	0,4123	0,2696	0,457	0,205	1.104	0,3071	0,2884	0,3071	0,606
Zinc total (%)	0,01022	0,0698	0,0061	0,008	0,009	0,01164	0,02054	0,02134	0,0362	0,02134	0,0106
Fósforo total (%)	0,75	0,8	0,14	0,35	1,02	3,38	0,49	3,42	0,34	3,42	1,07
Nitrógeno total (%)	1,22	2,69	1,54	1,06	1,38	1,1	0,62	2,4	0,68	2,4	1,26





Zona	Zona 1			Zona 5					Zona 3		
	MC 2E3	MC 3E3	MC 4E3	M1C 5E3	M2C 5E3	MC 6E3	M1C 7E3	M2C 7E3	M1C 8E3	M2C 8E3	MC 9E3
Nitrógeno orgánico total (%)	1,22	2,52	1,54	1,05	1,38	1,07	0,59	2,32	0,66	2,32	1,24
Carbono orgánico oxidable total (%)	44,3	33,1	36	40,2	34,3	27,4	39,9	38,1	37,5	38,1	27,3
Cenizas (%)	12,8	12,3	8,36	10,2	13,7	19,9	11	27,7	31	27,7	33
CIC (meq/100 g)	29,7	22,2	18,9	27,2	22,2	20,7	21,4	11,9	24,6	11,9	20,6
CIC/CO (meq/100 g CO)	67,1	66,9	52,6	67,7	64,8	75,6	53,5	31,3	65,6	31,3	75,5
Conductividad eléctrica (1/200) (dS/m)	0,91	0,86	2,77	0,89	4,75	3,01	3,1	3,51	2,1	3,51	2,81
CRA (%)	530	505	609	535	245	289	217	279	301	279	267
Densidad (20°C) (g/cm <sup>3</sup> )	0,15	0,15	0,13	0,17	0,19	0,2	0,2	0,2	0,18	0,2	0,24
Humedad (%)	67,3	57,6	60	57,9	75,8	53,5	51,6	72,8	51,2	72,8	60,2
pH (10%)	8,67	8,7	6,77	8,35	5,56	6,4	6,11	5,7	8,5	5,7	6,55
Relación C/N	36,3	16,8	23,3	38,4	24,8	25,6	67,4	16,4	57,1	16,4	22
Poder calorífico superior (Kcal/Kg)	3987	4583	5790	5048	3987	4526	4001	4779	5020	4630	4895

Fuente: Elaboración propia

Tabla 63. Resultados de parámetros fisicoquímicos en muestras del estrato 3 tomadas en las zonas 4, 5, 6 y 7 de Medellín

Zona	Zona 4			Zona 5	Zona 6		Zona 7
	MC11E3	MC12E3	MC13E3	MC14E3	MC15E3	MC16E3	MC10E3
Calcio total (%)	4,41	5,89	3,91	5,04	2,496	2,85	1,162
Magnesio total (%)	0,316	0,369	0,174	0,267	0,234	0,223	0,1206





Zona	Zona 4			Zona 5	Zona 6		Zona 7
ID Muestra/Parámetro	MC11E3	MC12E3	MC13E3	MC14E3	MC15E3	MC16E3	MC10E3
Potasio total (%)	1.572	2.004	0,567	1.255	1,7307	1.536	0,4912
Sodio total (%)	0,3987	1,67	0,306	0,206	0,166	0,3922	0,684
Zinc total (%)	0,01995	0,01079	0,00806	1.465	0,0144	0,013	0,00784
Fósforo total (%)	5,04	0,094	0,1	1,22	0,08	0,13	0,22
Nitrógeno total (%)	2,01	1,1	1,05	1,25	0,89	1,02	1,6
Nitrógeno orgánico total (%)	1,92	1,04	1,05	1,19	0,77	0,99	1,56
Carbono orgánico oxidable total (%)	37,6	39,6	32	33,3	32,5	31,3	49
Cenizas (%)	2,78	32,9	14,6	18	65,4	45,4	18,1
CIC (meq/100 g)	22,2	25,5	7,78	25,8	23	17,5	27,3
CIC/CO (meq/100 g CO)	59,2	64,4	24,4	77,4	70,8	55,8	55,7
Conductividad eléctrica (1/200) (dS/m)	3,04	1,12	1,55	2	1,24	1,42	2,33
CRA (%)	323	280	329	274	290	294	279
Densidad (20°C) (g/cm <sup>3</sup> )	0,16	0,17	0,14	0,26	0,25	0,16	0,17
Humedad (%)	74,5	73,2	56,5	73,8	63,9	62,1	63,6
pH (10%)	5,49	8,15	7,23	6,03	7,81	8,49	6,6
Relación C/N	19,6	38,1	30,3	28	42,1	31,7	31,5
Poder calorífico superior (Kcal/Kg)	4316	3772	5358	5210	3890	4654	4571

**Fuente:** Elaboración propia





Tabla 64. Resultados de parámetros microbiológicos en muestras del estrato 3 tomadas en las zonas 1, 2 y 3 de Medellín

Zona	Zona 1			Zona 2					Zona 3		
ID Muestra/ Parámetro	MC2E3	MC3E3	MC4E3	M1C5E3	M2C5E3	MC6E3	M1C7E3	M2C7E3	M1C8E3	M2C8E3	MC9E3
Mesófilos u.f.c / g	3,20E+09	6,40E+09	1,30E+09	2,60E+09	2,80E+09	5,60E+07	3,00E+09	5,30E+07	1,40E+08	5,30E+07	1,20E+10
Termófilos u.f.c / g	1,00E+06	5,00E+06	6,00E+06	2,20E+06	3,00E+06	6,20E+07	1,10E+07	4,00E+06	3,30E+06	4,00E+06	1,00E+06
Mohos u.f.c / g	7,90E+04	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	9,00E+03
Levaduras u.f.c / g	1,00E+06	2,70E+06	1,40E+06	2,00E+03	9,90E+06	3,00E+05	4,90E+06	1,90E+05	3,80E+05	1,90E+05	1,60E+04
Nemátodos	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Enterobacterias u.f.c / g	7,00E+02	3,10E+02	5,00E+02	5,00E+02	0,00E+00	3,00E+02	1,00E+01	5,00E+01	2,00E+02	5,00E+01	2,00E+01
Salmonella / 25 g	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Presente	Presente	Presente	Ausente

Fuente: Elaboración propia

Tabla 65. Resultados de parámetros microbiológicos en muestras del estrato 3 tomadas en las zonas 4, 5, 6 y 7 de Medellín

Zona	Zona 4			Zona 5	Zona 6		Zona 7
ID Muestra/Parámetro	MC11E3	MC12E3	MC13E3	MC14E3	MC15E3	MC16E3	MC10E3
Mesófilos u.f.c / g	3,70E+07	2,00E+09	1,50E+09	3,30E+07	1,60E+08	1,50E+09	4,40E+09
Termófilos u.f.c / g	1,00E+06	4,20E+08	2,10E+08	4,00E+06	1,00E+08	2,00E+06	3,00E+06
Mohos u.f.c / g	0,00E+00	0,00E+00	1,50E+02	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Levaduras u.f.c / g	5,40E+05	1,00E+04	2,00E+05	5,60E+05	1,10E+06	4,00E+06	5,00E+06
Nemátodos	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes





Zona	Zona 4			Zona 5	Zona 6		Zona 7
ID Muestra/Parámetro	MC11E3	MC12E3	MC13E3	MC14E3	MC15E3	MC16E3	MC10E3
Enterobacterias u.f.c / g	4,00E+02	1,00E+02	3,00E+02	4,00E+02	0,00E+00	0,00E+00	2,00E+02
Salmonella / 25 g	Ausente	Ausente	Presente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 66. Resultados de parámetros fitotóxico en muestras del estrato 3 tomadas en las zonas 1, 2 y 3 de Medellín**

Zona	Zona 1			Zona 2							
ID Muestra/Parámetro	MC 2E3	MC 3E3	MC 4E3	M1C 5E3	M2C 5E3	MC 6E3	M1C 7E3	M2C 7E3	M1C 8E3	M2C 8E3	MC 9E3
Respirometría 24 horas mg (CO2) /g	4,16	6,56	8,79	7,85	7,06	8,56	6,60	9,06	8,66	9,06	6,94
Concentración (% P/V) Mta sólida testigo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
% Germinación testigo	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Concentración (% P/V) Mta sólida Muestra	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
% Germinación Muestra	15	25	0	20	0	0	0	15	10	15	0

**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 67. Resultados de parámetros fitotóxico en muestras del estrato 3 tomadas en las zonas 4, 5, 6 y 7 de Medellín**

Zona	Zona 4			Zona 5	Zona 6		Zona 7
ID Muestra/Parámetro	MC11E3	MC12E3	MC13E3	MC14E3	MC15E3	MC16E3	MC10E3
Respirometría 24 horas mg (CO <sub>2</sub> ) /g	9,06	8,87	8,53	9,00	8,93	7,43	7,96
Concentración (% P/V) Mta sólida testigo	0	0	0	0	0	0	0
% Germinación testigo	80	80	80	80	80	80	80
Concentración (% P/V) Mta sólida Muestra	10	10	10	10	10	10	10
% Germinación Muestra	0	15	0	15	30	0	0

**Fuente:** Elaboración propia

La mayoría de los metales pesado se encontraron en diversas muestras, lo que corrobora que la separación en la fuente de materiales con este tipo de contenidos como residuos de aparatos eléctricos y electrónicos, no se está realizando adecuadamente. En la **Tabla 60 y Tabla 61** se reporta presencia de Cadmio en las M1C8E3 y MC9E3, se reporta presencia alta de Cromo en la MC14E3 (166,9 ppm), en las muestras MC3E3 (92,22 ppm), M2C8E3 (35,6ppm), MC14E3 (49,6 ppm) y MC16E3 (33,5ppm) se reportan presencia de Níquel, En Plomo no cumple la M2C8E3 con 186,7ppm. Los valores de Mercurio y Arsénico están por debajo del límite permisible o no fueron detectables.

Analizando la Tabla 62 y Tabla 63, para el porcentaje de Potasio, todas las muestras tienen un porcentaje mayor a 1% con excepción de la MC6E3, MC13E3 y MC10E3, con respecto a la cantidad de Fósforo, no cumplen MC2E3, MC3E3, MC4E3, M1C5E3, M1C7E3, M1C8E3, MC12E3. Y los porcentajes de Nitrógeno están sobre el 1% para la mayoría de las muestras menos para M1C7E3, M1C8E3, MC15E3. El porcentaje de Carbono Orgánico Total están sobre el 30% en la mayoría de las muestras con excepción de MC6E3 y MC9E3.

El porcentaje de Cenizas están por debajo del límite, es decir, todas las muestras cumplen menos la MC15E3 la cual presentó un porcentaje de cenizas de 65,4%. El requisito de Mínimo 30 me/100g) de CIC, ninguna muestra lo cumple. Para la CRA, todas las muestras cumplen ya que están por encima de 100, así como para la densidad reportada, todas las muestras cumplen con este parámetro, a diferencia del porcentaje de Humedad, debido a que todas las muestras presentan valores superiores al 30%, por lo tanto, no cumplen.





Todas las muestras presentan un pH dentro del rango recomendado por la norma, sin embargo, la relación Carbono/ Nitrógeno es apta solo en las muestras MC3E3, M2C5E3, MC6E2, MC9E3, MC13E3 y MC14E3 ya que están entre 20 y 30.

En la **Tabla 64 y la Tabla 65** lo más relevante es reportar que las muestras M2C7E3 y M1C8E3 y M2C8E3 y MC13E3 dieron presencia de Salmonella. De resto, todos los microorganismos se encuentran dentro de los rangos permitidos.

Para los parámetros fitotóxicos como la respirometría (**Tabla 66 y Tabla 67**), todas las muestras salieron favorables con respecto a este parámetro, sin embargo, para el porcentaje de germinación que debe ser mayor al 50%, todas las muestras presentan valores por debajo del 25% con un promedio es de 8,8%.

### 12.3.4. Resultados de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y fitotóxicos para el estrato 4

Los resultados para los diferentes parámetros del estrato 4 se midieron en las zonas 2, 3, 4, 6 y 7 de Medellín, se analizaron en total 7 muestras del estrato 3 en toda la ciudad., así pues, el ID de las muestras son comuna 7 (MC7E4), comuna 8 (MC8E4), comuna 9 (MC9E4), comuna 11 (MC11E4), comuna 12 (MC12E4), comuna 10 (MC10E4), comuna 16 (MC16E4); posteriormente se encuentra el análisis de dichos resultados.

**Tabla 68. Resultados de metales pesados para muestras del estrato 4 en las zonas 2, 3, 4, 6 y 7**

Zona	Zona 2	Zona 3		Zona 4		Zona 6	Zona 7
ID Muestra/Parámetro	MC7E4	MC8E4	MC9E4	MC11E4	MC12E4	MC16E4	MC10E4
Cadmio total (ppm)	< 0,003	< 0,003	1,36	< 0,003	< 0,003	< 0,003	< 0,003
Cromo total (ppm)	17,5	< 0,02	29	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Níquel total (ppm)	14,08	19	24,97	17,6	19,3	41,33	13,2
Plomo total (ppm)	14,2	< 0,01	16,6	15,7	27,34	< 0,01	< 0,01
Mercurio (ppm)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	N.D	< 0,01	< 0,01	N.D
Arsénico (ppm)	0,101	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,147	N.D

**Fuente:** Elaboración propia





Tabla 69. Resultados de parámetros fisicoquímicos para muestras del estrato 4 en las zonas 2, 3, 4, 6 y 7

Zona	Zona 2	Zona 3		Zona 4		Zona 6	Zona 7
ID Muestra/Parámetro	MC7E4	MC8E4	MC9E4	MC11E4	MC12E4	MC16E4	MC10E4
Calcio total (%)	6,9	10,49	12,776	8,82	6,24	8,32	1,96
Magnesio total (%)	0,358	0,317	0,226	0,31	0,239	0,284	0,18
Potasio total (%)	1,4084	2,2904	0,304	2,326	0,775	0,534	1,636
Sodio total (%)	0,566	0,331	0,138	2,256	0,2711	0,1815	0,155
Zinc total (%)	0,01465	0,0334	0,00977	0,01184	0,0174	0,01984	0,00963
Fósforo total (%)	0,84	1,89	0,073	0,19	0,066	N,D	0,39
Nitrógeno total (%)	1,2	0,78	0,84	0,95	1,28	0,65	0,82
Nitrógeno orgánico total (%)	1,2	0,74	0,83	0,94	1,25	0,6	0,82
Carbono orgánico oxidable total (%)	37,5	33,2	37,8	32,8	122	27	38,6
Cenizas (%)	46,3	4,8	9,2	36,4	11,7	14,8	7,1
CIC (meq/100 g)	18	16,6	25,6	19,5	28,9	7	21
CIC/CO (meq/100 g CO)	48,1	49,9	67,5	59,4	23,7	26	54,4
Conductividad eléctrica (1/200) (dS/m)	1,35	1,06	2,99	2,38	1,45	1,26	1,98
CRA (%)	226	286	624	295	268	304	285
Densidad (20°C) (g/cm <sup>3</sup> )	0,22	0,19	0,12	0,17	0,15	0,18	0,17
Humedad (%)	70,9	46,5	58,7	69	68,6	57,7	55,5
pH (10%)	7,55	6,7	6,58	8,21	7,65	7,99	7,22
Relación C/N	31,4	44,6	45,7	35	19	45,1	47,1
Poder calorífico superior (Kcal/Kg)	4982	5560	4325	4815	4609	4530	3823

Fuente: Elaboración propia



Tabla 70. Resultados de parámetros microbiológicos para muestras del estrato 4 en las zonas 2, 3, 4, 6 y 7

Zona	Zona 2	Zona 3		Zona 4		Zona 6	Zona 7
ID Muestra/Parámetro	MC7E4	MC8E4	MC9E4	MC11E4	MC12E4	MC16E4	MC10E4
ID Muestra/Parámetro	MC7E4	MC8E4	MC9E4	MC11E4	MC12E4	MC16E4	MC10E4
Mesófilos u.f.c / g	1,20E+09	2,10E+07	1,70E+10	1,80E+09	1,60E+09	1,70E+08	1,00E+09
Termófilos u.f.c / g	3,00E+06	1,00E+06	1,00E+06	2,00E+07	1,10E+08	1,00E+06	3,00E+06
Mohos u.f.c / g	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Levaduras u.f.c / g	4,80E+06	1,70E+05	9,60E+05	3,80E+06	3,10E+05	4,50E+06	3,60E+06
Nemátodos	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Enterobacterias u.f.c / g	0,00E+00	1,00E+02	3,00E+02	3,00E+02	1,00E+01	3,00E+02	1,00E+01
Salmonella / 25 g	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente

Fuente: Elaboración propia

Tabla 71. Resultados de parámetros fitotóxicos para muestras del estrato 4 en las zonas 2, 3, 4, 6 y 7

Zona	Zona 2	Zona 3		Zona 4		Zona 6	Zona 7
ID Muestra/Parámetro	MC7E4	MC8E4	MC9E4	MC11E4	MC12E4	MC16E4	MC10E4
Respirometría 24 horas mg (CO2) /g	8,78	8,61	3,21	8,96	8,52	7,38	9,06
Concentración (% P/V) Mta sólida testigo	0	0	0	0	0	0	0
% Germinación testigo	80	80	80	80	80	80	80
Concentración (% P/V) Mta sólida Muestra	10	10	10	10	10	10	10
% Germinación Muestra	0	35	20	15	10	0	20

Fuente: Elaboración propia





De la **Tabla 68**, se reporta que la MC9E4 tiene 1,36 ppm de Cadmio, siendo la una muestra que no cumple. Esta misma muestra contiene niveles altos de Níquel por encima del límite permisible 24,97 ppm al igual que la MC16E4 con un 41,33ppm. Los contenidos de los otros metales pesados en las otras muestras están dentro de los límites permisibles o no fueron detectables.

Con respecto a los parámetros fisicoquímicos de la **Tabla 69**, cuatro muestras reportan contenidos de Potasio por encima del 1%, las muestras MCE4, MC12E4 y MC16E4 no cumplen. Los contenidos de Fósforo de la mayoría de las muestras son mínimos estando por debajo del 1%, solo la MC8E4 presenta un 1,89% siendo la única que cumple. Los contenidos de Nitrógeno en la muestra también son bajos, solo dos muestras presentan contenidos mayores al 1%, MC7E4 (1,20%) y MC12E4 con 1,28%

Todas las muestras cumplen con el % de carbono orgánico ya que lo mínimo es 15%, al igual que para el porcentaje de cenizas, todas cumplen ya que lo máximo es 60%. Todas las muestras presentan una adecuada CRA. Todas las muestras tienen una densidad por debajo del límite, todas reportan un pH dentro del rango adecuado.

Con respecto a la Capacidad de Intercambio Catiónico, ninguna muestra cumple porque lo mínimo es 30 meq/100 g, al igual que para el porcentaje de humedad, ninguna muestra cumple con lo establecido por la norma, y ninguna muestra tiene una relación C/N adecuada. Todos los parámetros microbiológicos de la **Tabla 70** cumplen con los límites de la norma. En las muestras de este estrato no se reportó presencia de Salmonella.

Los parámetros fitotóxicos de la **Tabla 71** salieron favorables con respecto a la respirometría, sin embargo, para el porcentaje de germinación que debe ser mayor al 50%, todas las muestras presentan valores por debajo del 25% con un promedio de 14%.

### 12.3.5. Resultados de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el estrato 5

Los resultados para los diferentes parámetros del estrato 5 se midieron en las zonas 3, 4, 5 y 6 de Medellín, se analizaron en total 5 muestras, así pues, el ID de las muestras son comuna 9 (MC9E5), Comuna 11 (MC11E5), comuna 12 (MC12E5); comuna 14 (MC14E5) y comuna 16 (MC16E5) posteriormente se encuentra el análisis de dichos resultados.

**Tabla 72. Resultados de metales pesados para las muestras del estrato 5 en las zonas 3, 4, 5 y 6**

Zona	Zona 3	Zona 4		Zona 5	Zona 6
ID Muestra/ Parámetro	MC9E5	MC11E5	MC12E5	MC14E5	MC16E5
Cadmio total (ppm)	< 0,003	< 0,003	3,2	< 0,003	< 0,003
Cromo total (ppm)	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
Níquel total (ppm)	17,3	12,4	9,8	9,8	13,4





Zona	Zona 3	Zona 4		Zona 5	Zona 6
ID Muestra/ Parámetro	MC9E5	MC11E5	MC12E5	MC14E5	MC16E5
Plomo total (ppm)	12,87	< 0,01	< 0,01	43,3	< 0,01
Mercurio (ppm)	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Arsénico (ppm)	< 0,1	< 0,1	< 0,1	0,235	< 0,1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 73. Resultados de parámetros fisicoquímicos para las muestras del estrato 5 en las zonas 3, 4, 5 y

Zona	Zona 3	Zona 4		Zona 5	Zona 6
ID Muestra/ Parámetro	MC9E5	MC11E5	MC12E5	MC14E5	MC16E5
Calcio total (%)	10,71	1.780	1.977	3,85	5,99
Magnesio total (%)	0,298	0,174	0,126	0,138	0,212
Potasio total (%)	1,0084	1.249	1.288	0,509	0,899
Sodio total (%)	0,4679	0,3857	0,2344	0,295	0,15
Zinc total (%)	0,0124	0,01051	0,0149	0,03644	0,00658
Fósforo total (%)	0,18	0,25	0,18	0,64	0,13
Nitrógeno total (%)	0,97	1,29	1,19	0,8	3,1
Nitrógeno orgánico total (%)	0,95	1,27	1,14	0,79	3,1
Carbono orgánico oxidable total (%)	34,9	45,6	32,9	35,4	36,9
Cenizas (%)	11,3	29,3	16,9	11,7	14,3
CIC (meq/100 g)	15,3	21,9	21	27,4	28
CIC/CO (meq/100 g CO)	43,8	48,1	63,8	77,2	75,7
Conductividad eléctrica (1/200) (dS/m)	4,01	2,01	1,55	1,56	3,04
CRA (%)	87	277	317	331	327
Densidad (20°C) (g/cm <sup>3</sup> )	0,19	0,17	0,15	0,18	0,17
Humedad (%)	58	54,7	71,1	45,5	90,5
pH (10%)	6,6	5,96	8,27	6,59	7,59
Relación C/N	36,9	36	28,9	44,9	11,9





Zona	Zona 3	Zona 4		Zona 5	Zona 6
ID Muestra/ Parámetro	MC9E5	MC11E5	MC12E5	MC14E5	MC16E5
Poder calorífico superior (Kcal/Kg)	3568	5893	4960	5059	3026

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 74. Resultados de parámetros microbiológicos para las muestras del estrato 5 en las zonas 3, 4, 5 y 6**

Zona	Zona 3	Zona 4		Zona 5	Zona 6
ID Muestra/ Parámetro	MC9E5	MC11E5	MC12E5	MC14E5	MC16E5
ID Muestra/Parámetro	MC9E5	MC11E5	MC12E5	MC14E5	MC16E5
Mesófilos u.f.c / g	3,70E+09	6,00E+06	3,40E+08	2,60E+09	1,40E+09
Termófilos u.f.c / g	4,00E+05	2,00E+05	2,0+08	1,00E+06	1,20E+07
Mohos u.f.c / g	3,00E-02	0,00E+00	1,00E+01	0,00E+00	0,00E+00
Levaduras u.f.c / g	1,10E+04	9,60E+05	1,50E+06	5,50E+06	4,80E+06
Nemátodos	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes	Ausentes
Enterobacterias u.f.c / g	1,00E+02	1,00E+02	2,00E+02	0,00E+00	6,00E+02
Salmonella / 25 g	Ausente	Ausente	Presente	Ausente	Presente

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 75. Resultados de parámetros fitotóxicos para las muestras del estrato 5 en las zonas 3, 4, 5 y 6**

Zona	Zona 3	Zona 4		Zona 5	Zona 6
ID Muestra/ Parámetro	MC9E5	MC11E5	MC12E5	MC14E5	MC16E5
Respirometría 24 horas mg (CO <sub>2</sub> ) /g	4,48	8,68	8,42	9,62	8,02
Concentración (% P/V) Mta sólida testigo	0	0	0	0	0
% Germinación testigo	80	80	80	80	80
Concentración (% P/V) Mta sólida Muestra	10	10	10	10	10
% Germinación Muestra	0	20	10	0	0

**Fuente:** Elaboración propia





De la **Tabla 72**, solo se destaca la MC12E5 con un valor de 3.2ppm de Cadmio sobrepasando el límite que es 0,7pmm. De resto, todos los metales pesados de las muestras se encuentran dentro de los límites máximo-permisibles.

De las cinco muestras del estrato 5, solo tres cumplen con un porcentaje mayor a 1% tanto de potasio como de Nitrógeno, ninguna alcanza el 1% de contenido de Fósforo para ser reportado. Todas las muestras cumplen con el % de carbono orgánico ya que lo mínimo es 15%, también con el Porcentaje de cenizas, todas cumplen ya que lo máximo es 60%. Cuatro de 5 muestras cumplen con una CRA apropiada, solo MC9E5 no cumple (887%). Todas las muestras tienen una densidad por debajo del límite, todas reportan un pH dentro del rango adecuado. Ninguna muestra cumple con la CIC apropiada y el porcentaje de humedad de todas las muestras supera el 30 y en cuanto a la relación C/N solo cumplen la MC12E5 con un 28,9. Ver Tabla 73 De la Tabla 74, se debe tener especial atención con las muestras MC12E5 y MC16E5 ya que arrojaron resultados positivos para la presencia de Salmonella. Los parámetros fitotóxicos de la Tabla 75, salieron favorables con respecto a la respirometría al ser mayor a 2 mg CO<sub>2</sub>/g, sin embargo, todas las muestras presentan valores por debajo del 20% de germinación con un promedio de 6%.

### 12.3.6. Resultados de los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y fitotóxicos para el estrato 6

Los resultados para los diferentes parámetros del estrato 6 se midieron en las zonas 4 y 5 de Medellín, se analizaron en total 2 muestras, así pues, el ID de las muestras son comuna 11 (MC11E6), comuna 14 (MC14E6); posteriormente se encuentra el análisis de dichos resultados.

**Tabla 76. Resultados de los metales pesados en las muestras del estrato 6 en las zonas 4 y 5 de Medellín**

Zona	Zona 4	Zona 5
ID Muestra/Parámetro	MC11E6	MC14E6
Cadmio total (ppm)	< 0,003	< 0.003
Cromo total (ppm)	< 0,02	123,8
Níquel total (ppm)	12,6	1.203,3
Plomo total (ppm)	< 0,01	394,3
Mercurio (ppm)	< 0,01	0,098
Arsénico (ppm)	< 0,1	3,587

**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 77. Resultados de los parámetros fisicoquímicos en las muestras del estrato 6 en las zonas 4 y 5 de Medellín**

Zona	Zona 4	Zona 5
ID Muestra/Parámetro	MC11E6	MC14E6
Calcio total (%)	3.503	3.649
Magnesio total (%)	0,203	0,161
Potasio total (%)	1.020	0,6305
Sodio total (%)	0,356	0,2364
Zinc total (%)	0,0103	0,557
Fósforo total (%)	2,23	1,38
Nitrógeno total (%)	1,2	0,95
Nitrógeno orgánico total (%)	1,11	0,91
Carbono orgánico oxidable total (%)	36,4	21,2
Cenizas (%)	22,5	16,9
CIC (meq/100 g)	36,7	21,6
CIC/CO (meq/100 g CO)	100,7	101,8
Conductividad eléctrica (1/200) (dS/m)	2,23	1,56
CRA (%)	248	344
Densidad (20°C) (g/cm <sup>3</sup> )	0,19	0,2
Humedad (%)	52,5	46,1
pH (10%)	7,17	7,92
Relación C/N	32,9	23,3
Poder calorífico superior (Kcal/Kg)	4995	4526

**Fuente:** Elaboración propia







**Tabla 78. Resultados de los parámetros microbiológicos en las muestras del estrato 6 en las zonas 4 y 5 de Medellín**

Zona	Zona 4	Zona 5
ID Muestra/Parámetro	MC11E6	MC14E6
Mesófilos u.f.c / g	5,00E+06	3,10E+08
Termófilos u.f.c / g	1,00E+06	1,00E+06
Mohos u.f.c / g	0,00E+00	0,00E+00
Levaduras u.f.c / g	3,90E+06	3,70E+05
Nemátodos	Ausentes	Ausentes
Enterobacterias u.f.c / g	3,00E+02	1,00E+01
Salmonella / 25 g	Ausente	Ausente

**Fuente:** Elaboración propia

**Tabla 79. Resultados de los parámetros fitotóxicos en las muestras del estrato 6 en las zonas 4 y 5 de Medellín**

Zona	Zona 4	Zona 5
ID Muestra/Parámetro	MC11E6	MC14E6
Respirometría 24 horas mg (CO <sub>2</sub> ) /g	9,06	7,11
Concentración (% P/V) Mta sólida testigo	0	0
% Germinación testigo	80	80
Concentración (% P/V) Mta sólida Muestra	10	10
% Germinación Muestra	40	20

**Fuente:** Elaboración propia

Para el estrato 6 se detectó en la muestra MC14E6 presencia de tres metales pesado por encima de los límites, Cromo: 123,8ppm, Níquel: 1.203,3 ppm y Plomo: 394,3 ppm. Al indagar por la razón de los niveles tan altos de este resultado, se informó por parte del laboratorio que en la muestra analizada se encontró partes de un celular junto con el resto de los residuos, lo cual pudo influir en la detección de este tipo de metales. **Ver Tabla 76**

Con respecto a los parámetros fisicoquímicos de la **Tabla 77**, de las dos muestras del estrato 6, solo la MC11E6 cumplen con un porcentaje mayor al 1% para los tres macronutrientes. Las dos muestras cumplen con el % de carbono orgánico ya que lo mínimo es 15%, también con el Porcentaje de cenizas, la CRA y la densidad, las dos muestras reportan un pH dentro del rango adecuado.





Sólo la muestra MC12E6 cumple al reportar una CIC de 36,7 meq/100g, el porcentaje de humedad de las dos muestras supera el 30% y en cuanto a la relación C/N solo cumplen la MC14E6 con un 23,3.

Ninguna muestra presenta salmonella, se cumplen todos los parámetros microbiológicos como se puede apreciar en la Tabla 78.

Los parámetros fitotóxicos de la **Tabla 79**, también son favorables para la respirometría y desfavorables para el % de germinación ya que la MC12E6 tiene un 40% y la MC14E6 un 20%.

Según el RAS 2000 y la NTC 5167 de 2011, los residuos orgánicos que se usen para procesos de compostaje, lombricultivo u otros procesos de degradación de materia orgánica, para la producción de abonos orgánicos y enmiendas de suelo deben provenir de residuos separados en la fuente y no pueden contener materiales peligrosos.

En general, para las 53 muestras analizadas, en los seis estratos socioeconómicos, se encontraron trazas de metales pesados, que pueden deberse a la inadecuada disposición de residuos peligrosos como baterías, aparatos eléctricos y electrónicos, bombillas, entre otros que incrementan la contaminación de los residuos ordinarios y el riesgo de peligrosidad de estos. Lo anterior es la primera razón que limita la posibilidad de hacer un adecuado aprovechamiento material de estos residuos mediante procesos de compostaje o digestión anaerobia, ya que los contenidos de estos metales, es persistente, es decir, su degradabilidad es mínima y la posibilidad de que hagan presencia en el producto final de estos dos procesos (abonos orgánicos tanto sólidos como líquidos) es muy alta.

La segunda razón es los bajos porcentajes de Macronutrientes como N, P y K, no es significativa en estas muestras, ya que en 43 muestras no superan el 1% requerido para ser reportado según la NTC 5167, es decir, que estas muestras de residuos crudas no son recomendables como fuente de nutrientes esenciales para la producción de abonos orgánicos o enmiendas. Otra razón por la cual se descarta el uso de las muestras como materia prima para producción de abonos orgánicos, es el porcentaje de humedad de éstas, ya que todas las muestras tuvieron niveles altos de Humedad, asociado al porcentaje de residuos orgánicos que contenían, todas superaron el límite máximo de la NTC 5167 que es 30%. Esta característica está asociada a la proliferación de microorganismos, como mohos y levaduras que en todas las muestras tuvieron altos contenidos.

Una cuarta razón es que ninguna muestra presenta un porcentaje de germinación mayor al 50%, es decir, no se recomienda utilizar este tipo de residuos en crudo en aplicaciones al suelo, es necesario acudir a procesos de degradación biooxidativa de la materia orgánica como compostaje o digestión anaerobia para poder utilizar el producto en actividades agrícolas u otras que impliquen su aplicación al suelo, sin embargo, por las tres razones anteriormente explicadas tampoco se recomienda estas dos opciones.

Como una última razón, se tiene que el tamaño de partículas de todas las muestras fue superior a lo requerido por la NTC 5167, lo que corrobora que su composición es muy heterogénea con cantidades sustancialmente altas de macro contaminantes como plásticos, metales, vidrio que tiene un tamaño de partícula.





### 13. DETERMINACIÓN Y RESULTADOS DEL PODER CALORÍFICO MEDIANTE MÉTODO ANALÍTICO Y MÉTODO PRÁCTICO

El poder calorífico es la cantidad de calor por unidad de masa (o volumen) que desprende un combustible al quemarse, sus unidades más comunes son (kJ/kg) o en (kJ/Nm<sup>3</sup>), también se usan Kcal/kg. Otra definición puede ser, es el calor obtenido en la combustión completa de 1 kg (1 m<sup>3</sup>) de combustible al oxidarse de forma completa. Es decir, cuando el carbono del combustible pasa a Dióxido de Carbono (C a CO<sub>2</sub>), ya que la mayoría de los combustibles son compuestos de carbono e hidrógeno, que al arder se combinan con el oxígeno formando dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua (H<sub>2</sub>O).

Se diferencia entre poder calorífico inferior (PCI) y poder calorífico superior (PCS), según se tenga en cuenta o no el calor de condensación del vapor del agua procedente de la humedad de un combustible.

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 se encontrará totalmente condensado. El vapor de agua proviene de la humedad propia del combustible y de la que se forma por la combustión del hidrógeno del combustible. De esta manera, al condensar el vapor del agua contenido en los gases de combustión se tiene un aporte de calor de 597 kcal/kg de vapor de agua condensado.

El PCI considera que el vapor de agua contenido en los gases de combustión no condensa, por lo tanto, no hay aporte adicional de calor por la condensación del vapor de agua. Solo se dispondrá del calor de oxidación del combustible, ([https://ingemecanica.com/tutoriales/poder\\_calorifico.html](https://ingemecanica.com/tutoriales/poder_calorifico.html)), mediante la siguiente ecuación:

#### Ecuación 9. Cálculo del Poder calorífico Inferior

$$PCI = PCS - 597 \cdot G$$

#### Donde:

**PCS:** es el Poder Calorífico Superior (kcal/kg de combustible)

**PCI:** es el Poder Calorífico Inferior (kcal/kg de combustible)

**597:** es el calor de condensación del agua a 0 °C (kcal/kg de agua)

**G:** es el porcentaje de peso del agua formada por la combustión del hidrógeno presente en la composición del combustible, o de la propia humedad del combustible (kg de agua / kg de combustible). Siendo  $G = 9 \cdot H + H_2O$





**Donde:**

**9:** son los kilos de agua que se forman al oxidar un kilo de hidrógeno

**H:** es el peso de hidrógeno contenido por kg de combustible

**H2O:** es el peso de agua debido a la humedad presente en el combustible, por kg de combustible.

Por lo anterior, se obtiene la siguiente ecuación:

**Ecuación 10. Poder calorífico Inferior reemplazando G**

$$PCI = PCS - 597 * (9H + H_2O)$$

Existen diferentes métodos para determinar el poder calorífico de un combustible, que son el método analítico y el método práctico.

El método analítico consiste en sumar los poderes calóricos de los elementos principales que forman la muestra de residuos, ponderados por su fracción en peso, descontando de la cantidad de hidrógeno total la que se encuentra ya combinada con el oxígeno. Para ello se utilizan los datos provistos por un análisis elemental, es decir, el porcentaje de C (carbono), H (hidrógeno), O (oxígeno), N (nitrógeno), S (azufre) y cenizas, de los componentes típicos de los residuos. Este análisis elemental, es costoso y demorado y requiere una instrumentación especial (Acar & Ayanoglu, 2012).

La estimación del contenido energético de los residuos sólidos urbanos (RSU) se realiza normalmente mediante el uso de la ecuación de Dulong, que se expresa de la siguiente forma:

**Ecuación 11. Ecuación de Dulong para el cálculo del Poder Calorífico Inferior**

$$PCi = 8.140 * C + 34.400 * \left( H - \frac{O}{8} \right) + 2.220 * S$$

**Donde:**

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

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

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

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

**•/ 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 de formación”



La ecuación de Dulong requiere cambiar todos los componentes de los RSU a porcentajes de carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N) y azufre (S), lo cual requiere de un alto esfuerzo. (Ali Khan & Abu Ghararah, 1991) presentaron una nueva ecuación para el poder calorífico superior neto, más fácil de usar y más práctica, que utiliza directamente los porcentajes de los componentes combustibles primarios de los RSU como plástico, papel, cartón y residuos de comida. La validez de la nueva ecuación se comparó con la Ecuación de Dulong utilizando datos de componentes de RSU para 35 países y 86 ciudades internacionales. La ecuación de (Ali Khan & Abu Ghararah, 1991) se presenta a continuación:

### Ecuación 12. Ecuación de Ali Khan y Abu Gararah para el cálculo del Poder Calorífico Superior

$$PCS = 0.0535 * (F + 3.6 * CP) + 0.372 * PLR \text{ en (MJ/Kg)}$$

Donde:

**PCS:** Es el Poder calorífico Superior neto

**F=** porcentaje en masa de comida

**CP=** Porcentaje en masa de la suma de cartón y papel en base seca

**PLR=** Es el porcentaje en masa de la suma del Plástico, Caucho y Cuero en base seca

El Poder calorífico Inferior se calcula mediante la Ecuación

### Ecuación 13. Ecuación de Ali Khan y Abu Gararah para el cálculo del Poder Calorífico Inferior

$$PCI = PCS \left( \frac{\text{MJ}}{\text{Kg}} \right) - 0.0244 * (W + 9 * H)$$

Donde:

**W=** Porcentaje de humedad

**9:** son los kilos de agua que se forman al oxidar un kilo de hidrógeno

**H:** es el peso de hidrógeno contenido por kg de combustible (5.70%).

Otro método analítico ampliamente usado es el propuesto por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS-OPS) que propone una ecuación basada también en el principio de conservación de la energía, según las fracciones porcentuales de materiales que conforman las muestras analizadas, los poderes calóricos establecidos para cada uno y los porcentajes de humedad.





#### Ecuación 14. Ecuación de (KUNITOSHI, 1998) para el cálculo del Poder Calorífico Superior en base Seca

$$PCS(bs) = \frac{(MO + Papel + Textiles + Ordinarios) * 4000}{100} + \frac{(Plástico + caucho + cuero) * 9000}{100}$$

Donde:

**PCS (bs):** Poder calorífico superior en base seca.

**MO:** Materia orgánica.

**Poder calorífico teórico (kcal/kg):** 4000 y 9000, son asignados por la metodología CEPIS, para cada material.

El poder calorífico superior en base húmeda se determinó mediante la siguiente ecuación:

#### Ecuación 15. Ecuación de (KUNITOSHI, 1998) para el cálculo del Poder Calorífico Superior en base Húmeda

$$PCSbh = \frac{(MO + Papel + Textiles + Ordinarios - \% humedad) * 4000}{100} + \frac{(Plástico + caucho + cuero) * 9000}{100}$$

Donde:

**PCS (bh):** Poder calorífico superior en base húmeda.

**MO:** Materia orgánica.

% de humedad promedio de los seis estratos

Y, por último, el poder calorífico inferior, se calculó con la siguiente ecuación:

#### Ecuación 16. Ecuación de (KUNITOSHI, 1998) para el cálculo del Poder Calorífico Inferior

$$PCI = PCS(bh) - 6 * \% Humedad$$

Donde:

**PCS (bh):** Poder calorífico superior en base húmeda.

**PCI:** Poder Calorífico Inferior





La importancia de este parámetro es que se ha demostrado que los residuos sólidos urbanos tienen un poder calorífico interesante para usarlos como combustibles en diversas actividades, sobre todo industriales, mediante procesos de incineración como la pirolisis y la gasificación. Para seleccionar el proceso de incineración como un método de tratamiento de residuos se debe comparar el poder calorífico inferior de los residuos con los valores reportados en la **Tabla 80**.

**Tabla 80. Aplicación de procesos de incineración según metodología CEPIS**

Rango del Poder Calorífico Inferior de los Residuos	Aplicación de procesos de incineración
Superior a 1500 kcal/kg	Se pueden incinerar sin necesidad de implementar combustible auxiliar
Entre 1000 kcal/kg y 1500 kcal/kg	Se pueden incinerar siempre y cuando se realice un pretratamiento para bajar los niveles de humedad,
Inferior a 1000 kcal/kg	No es viable su incineración.

**Fuente:** Elaboración propia

El **método Práctico** usa bombas calorimétricas adiabáticas o calorímetros que en general se basa en la utilización de un recipiente cerrado y perfectamente aislado que se coloca en un baño de agua, un dispositivo para agitar y un termómetro. Se conecta una fuente de energía, se agita el agua hasta lograr el equilibrio térmico, y se mide el aumento de temperatura durante la combustión, para finalmente determinar el poder calorífico del compuesto. Este método práctico se rige bajo el método estándar americano ASTM D2015.

De acuerdo con lo anterior, se cuantificó el poder calorífico superior de todas las muestras llevadas al laboratorio, mediante un método práctico, realizado por el Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares GIEM de la Universidad de Antioquia usando una Bomba Calorimétrica mediante la cual se puede determinar en forma directa el poder calorífico de los materiales analizados. Los resultados se reportan en las **Tabla 81** y **Tabla 82**

**Tabla 81. Promedios del Poder calorífico superior (Kcal/Kg) y Porcentaje de humedad por estrato socioeconómico por método práctico**

Parámetro	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Promedio Poder calorífico superior (Kcal/Kg)	4407	4246,75	4612,05	4663,43	4501,2	4760,5
Humedad (Gravimetría NTC 5167 - %)	60,04	61,50	63,79	60,98	63,96	49,3

**Fuente:** Elaboración propia



**Tabla 82. Promedios del Poder calorífico superior (Kcal/Kg) y Porcentaje de humedad por Corregimientos por método práctico**

Parámetro/ Muestra	San Cristóbal	Altavista	San Antonio de Prado	Palmitas	Santa Elena
Promedio Poder calorífico superior (Kcal/Kg)	4854,5	4298	5120,5	5425	4460
Porcentaje de humedad (%)	39,85	35,85	51,95	37,3	27,9

**Fuente:** Elaboración propia

Para el cálculo mediante métodos analíticos se realizó el cálculo por las fórmulas del (Ali Khan & Abu Ghararah, 1991) y la metodología del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS-OPS) (KUNITOSHI, 1998).

El porcentaje de humedad promedio de los estratos socioeconómicos fue de 59,93%, calculado con los valores de la Tabla 81 y para los corregimientos fue de 38,57% tomado de la Tabla 82, usado para el cálculo del poder calorífico superior en base húmeda.

Los resultados de la determinación del poder calorífico mediante los dos métodos se presentan en la **Tabla 83**

**Tabla 83. Resultados del cálculo del Poder Calorífico por diversas metodologías analíticas**

Metodología	(KUNITOSHI, 1998)			(Ali Khan & Abu Ghararah, 1991)	
	Poder calorífico superior en base seca (Kcal/kg)	Poder calorífico superior en base húmeda (Kcal/kg)	Poder calorífico inferior (Kcal/kg)	Poder calorífico superior neto (Kcal/kg)	Poder calorífico inferior (Kcal/kg)
Medellín	4065	1667,757	1308,17	1841,812	1193,141
Corregimientos	4124,8	2582	2350,58	1792	1267,91
Promedio	4094,9	2124,87	1829,37	1816,9	1230,5

**Fuente:** Elaboración propia



De acuerdo con los resultados reportados por el método práctico entregados por el Laboratorio GIEM (ver **Tabla 81 y Tabla 82**), el poder calorífico superior tanto para corregimientos como para Medellín, están cercanos a los calculados por el método analítico de (KUNITOSHI, 1998), a su vez, los dos valores calculados están comprendidos en el valor teórico del poder calorífico reportado por (KUNITOSHI, 1998) que es 4000 kcal/kg.





Con respecto al Poder Calorífico Inferior calculado por dos Métodos Analíticos de (KUNITOSHI, 1998) y (Ali Khan & Abu Ghararah, 1991), para Medellín se obtuvo un valor de 1841,812 kcal/kg y de 1193,141 kcal/kg, respectivamente. De acuerdo con los rangos de aplicaciones de proceso Incineración, se encuentran dentro del rango entre 1000 y 1500 kcal/kg, lo que quiere decir que se podrán incinerar con un tratamiento previo para disminuir el porcentaje de Humedad, esto también significa que posiblemente se requiera un combustible adicional. Para el caso de los corregimientos, se obtuvo valores de 2350,58 kcal/kg calculado por (KUNITOSHI, 1998); este valor significa que mediante la metodología CEPIS tiene un potencial para ser incinerados, aunque el valor calculado por la metodología de (Ali Khan & Abu Ghararah, 1991) 1267,91 (Kcal/kg), indica que podrán ser incinerados en la medida en que el porcentaje de humedad sea menor que el reportado (38,57%).

Con respecto a los estudios de años anteriores, el porcentaje de humedad disminuyó ya que para el 2014 fue de 66,77% (Universidad de Medellín, 2014) y para este estudio fue de 59,93%, para el caso de Medellín. Esto está directamente relacionado con el porcentaje de residuos biodegradables y putrescibles que también disminuyó para este estudio, es decir, que a mayor cantidad de residuos biodegradables mayor será a humedad de los mismos.

En el caso de los corregimientos, el porcentaje de humedad promedio en el año 2014 fue de 56,12% (Universidad de Medellín, 2014) y para este año disminuyó sustancialmente hasta 38,57%. Cabe recordar que el número de muestras que se analizaron en el laboratorio fue del doble en el 2018, y que estas a su vez fueron tomadas de un número más alto de viviendas en los corregimientos, por lo que la variabilidad de los datos está sujeta a la variabilidad de los residuos analizados.

La disminución del porcentaje de humedad también se justifica con el porcentaje de residuos Biodegradables y putrescibles que en promedio para los corregimientos fue de 31%, siendo superado por los ordinarios e inertes con un 36,03%, además el porcentaje de plásticos también subió, ver **Tabla 34**. Es decir, que la mezcla de residuos que se está entregando en los corregimientos tiene menos humedad debido a que hay menos cantidad de residuos biodegradables que son los que aportan mayor humedad.

Para realizar una comparación con los resultados del PCS y PCI del estudio de caracterización del 2014, se calculó un promedio entre el valor de las muestras de Medellín y el valor de las muestras de los corregimientos, los resultados se pueden ver en la **Tabla 83. Resultados del cálculo del Poder Calorífico por diversas metodologías analíticas.**

En el estudio de caracterización del 2014, el PCS promedio en base seca por el Métodos Analíticos de (KUNITOSHI, 1998) fue de 4199,04 kcal/kg, el valor del PCS en base húmeda fue de 916,31 kcal/kg y finalmente, el PCI fue de 515,68 kcal/kg. Por el método práctico para el cual tomaron el promedio de 18 muestras de los seis estratos socioeconómicos y los cinco corregimientos, el valor fue de 3637, 42 kcal/kg.

Los resultados arrojaron que el promedio del PCS (bs) de Medellín y de los Corregimientos fue de 4094,9 kcal/kg, valor similar al promedio del estudio del 2014 que reportó un PCS (bs) de 4199,04 kcal/kg. El promedio para el PCS (bh) fue de 2124,87 kcal/kg significativamente más alto que en el 2014 que reportó un valor promedio de 916,31kcal/kg, posiblemente por la cantidad de muestras que se tuvieron en cuenta y la humedad del año 2014 era mayor a la del 2018.





El PCI promedio en este estudio de caracterización fue de 1829,37 kcal/kg que en comparación con el 2014 que fue de 515,68 kcal/kg, es significativamente mayor, ya que se tuvo más cantidad de residuos sólidos para analizar, por lo tanto, hubo un aporte de calor mayor de éstos al Poder Calorífico Inferior.

Es importante hacer la claridad que, en este estudio de caracterización las muestras de Medellín y las de corregimientos se analizaron de manera diferenciada, ya que el comportamiento de la generación y presentación de residuos en los Corregimientos es muy diferente al de Medellín, por lo que se decidió desde el comienzo del proyecto tener un número de muestras representativo para los seis estratos de Medellín (53 muestras) más las diez (10) muestras de los cinco Corregimientos, mientras que en el estudio del 2014, se tomaron 18 muestras en total para este análisis.

### **13.1. Determinar el potencial de aprovechamiento de los residuos, de acuerdo con sus propiedades y condiciones de mercado**

La ruptura en el ciclo natural del carbono en las urbes es una expresión significativa de la inadecuada gestión de los residuos sólidos en las grandes ciudades. La alternativa más generalizada para el tratamiento de los constantes y cuantiosos residuos generados consiste en acumularlos, enterrándolos en suelos no productivos como los rellenos sanitarios donde no logran reincorporarse al ciclo natural. Lo anterior ha convertido a las ciudades en gigantescos sumideros de materia orgánica y a las áreas periurbanas en zonas con un decrecimiento sostenido de la materia orgánica en sus suelos (Acevedo & Peláez, 2010).

Los rellenos sanitarios, la incineración y el compostaje son tecnologías comunes y maduras para la eliminación o tratamiento de residuos. Sin embargo, no son satisfactorias para el tratamiento de residuos orgánicos debido a la generación de gas metano y CO<sub>2</sub>, mal olor, alto consumo de energía y cinéticas de reacción lenta (D. Arancon, Sze Ki Lin, Chan, Him Kwan, & Luque, 2013)

La creciente presión sobre los gestores de residuos, planificadores y reguladores de residuos para que implementen sistemas sostenibles han abarcado el espectro de tecnologías de tratamiento de residuos nuevas y existentes, así como nuevas estrategias gerenciales. Estas buscan mantener la calidad actual del medio ambiente y cumplir con objetivos de sostenibilidad en el futuro (Pires, Martinho, & Chang, 2011).

El aprovechamiento y la valorización hacen parte de los principios fundamentales para la Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Implica la separación y selección de materiales residuales en el lugar de su origen, su preparación para la reutilización, el procesamiento, la transformación en nuevos productos y la recuperación de productos de conversión, por ejemplo, compost y energía en forma de calor y biogás. El aprovechamiento permite reducir la demanda de recursos naturales, disminuir el consumo de energía, proteger los sitios de disposición final y reducir la contaminación ambiental. El potencial económico se manifiesta en la comercialización y utilización como materias primas de los materiales recuperados (Forero González, 2011).

Por tales motivos es importante especificar conceptos como separación en a fuente y aprovechamiento.





La Separación en la fuente es la clasificación de los residuos sólidos, en aprovechables y no aprovechables por parte de los usuarios en el sitio donde se generan, de acuerdo con lo establecido en el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos, para ser presentados para su recolección y transporte a las estaciones de clasificación y aprovechamiento, o de disposición final de los mismos, según sea el caso. ((Decreto 1077 de 2015 ARTICULO 2.3.2.2.2.8.81. Propósitos del aprovechamiento. Tomado del Decreto 2981 de 2013, art. 82)., 2015)

El reciclaje es definido como el “proceso de transformación física o química o biológica de los materiales procedentes de los residuos potencialmente aprovechables, para su reincorporación en el ciclo productivo”. Este proceso permite utilizar una parte de los residuos sólidos como materia prima para otras actividades y es considerada como una práctica de tratamiento eficaz, en cuanto reduce significativamente el volumen de residuos sólidos generados y tiene como finalidad el aprovechamiento directo de los mismos. (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2016)

El Aprovechamiento de los residuos se define como la actividad complementaria del servicio público de aseo que comprende la recolección de residuos aprovechables, el transporte selectivo hasta la estación de clasificación y aprovechamiento o hasta la planta de aprovechamiento, así como su clasificación y pesaje por parte de la persona prestadora. (Decreto 2981 de 2013, art. 2, modificado por el Decreto 0596 de 2016, art. 2). <http://portal.minivienda.local/Documents/>

El aprovechamiento de los materiales contenidos en los residuos sólidos tiene como propósitos fundamentales:

- I. Racionalizar el uso y consumo de las materias primas provenientes de los recursos naturales.
- II. Recuperar valores económicos y energéticos que hayan sido utilizados en los diferentes procesos productivos.
- III. Disminuir el consumo de energía en los procesos productivos que utilizan materiales reciclados.
- IV. Aumentar la vida útil de los rellenos sanitarios al reducir la cantidad de residuos a V. disponer finalmente en forma adecuada.
- VI. Reducir el caudal y la carga contaminante de lixiviados en el relleno sanitario, especialmente cuando se aprovechan residuos orgánicos.
- VII. Disminuir los impactos ambientales, tanto por demanda y uso de materias primas como por los procesos de disposición final.
- VIII. Garantizar la participación de los recicladores de oficio, en las actividades de recuperación y aprovechamiento, con el fin de consolidar productivamente estas actividades y mejorar sus condiciones de vida. ((Decreto 1077 de 2015 ARTICULO 2.3.2.2.2.8.81. Propósitos del aprovechamiento. Tomado del Decreto 2981 de 2013, art. 82)., 2015)

En las actividades de aprovechamiento, los residuos deben cumplir por lo menos con los siguientes criterios básicos y requerimientos, para que los métodos de aprovechamiento se realicen en forma óptima:





- a) Para la reutilización y reciclaje, los residuos sólidos deben estar limpios y debidamente seleccionados por tipo de material y característica física.
- b) Para la estabilización de la fracción de residuos sólidos orgánicos biodegradables, aquella debe ser separada en fuente, no debe estar contaminada con residuos peligrosos, residuos de metales pesados u otros materiales que imposibiliten o limiten su potencial de aprovechamiento y valorización.
- c) En el caso de las fracciones de residuos sólidos orgánicos biodegradables, el almacenamiento temporal no puede superar las cuarenta y ocho (48) horas. (Decreto 2981 de 2013, art. 83, modificado por el Decreto 0596 de 2016, art. 5). <http://portal.minvivienda.local/Documents/>)
- d) Para el compostaje y lumbricultura no deben estar contaminados con residuos peligrosos, metales pesados, ni bifenilos policlorados.
- e) Para la generación de energía, se deben valorar parámetros tales como composición química, poder calorífico y contenido de humedad, entre otros.
- f) Con base en estudios de mercado y el potencial de comercialización, se deben definir los procesos de adecuación y transformación que van a ser llevados a cabo.

Como formas de aprovechamiento se consideran, entre otras, la reutilización, el reciclaje de residuos inorgánicos y los tratamientos para la estabilización de la fracción de residuos sólidos orgánicos biodegradables con fines de valorización agronómica o valorización energética.

Como formas de adecuación para incorporar valor agregado existen: el lavado, la trituración, el granulado (peletizado), el aglomerado, la compactación y fundición, la óxido-reducción térmica, entre otras opciones técnicas y tecnológicas. (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO F Sistemas de Aseo Urbano/, 2012)

En la tabla F.5.10 del Título F del RAS, se enuncian las posibilidades de reutilización y Reciclaje de los diferentes tipos de residuos, con el fin de incorporarlos de nuevo al ciclo económico productivo. A continuación, se realiza una adaptación de esta tabla:

**Tabla 84. Posibles usos de los residuos de acuerdo con su naturaleza**

Residuo	Tipo de Material	Posibilidades de Uso
Aluminio	Latas de aluminio	Reúso en nuevas materias primas luego de fundido y laminado el metal. (fábricas de elementos de aluminio).
Papel y cartón	Papel periódico	Nuevas materias primas para elaboración de cartón, papel periódico, papel higiénico, pañuelos de papel, contenedores ondulados, para construcción (cartón de yeso, material suelto de aislamiento, papel saturado de fieltro para tejados).





Residuo	Tipo de Material	Posibilidades de Uso
Papel y cartón	Cartón ondulado	Lámina o medio para nuevas cajas de cartón
	Papel de informática, facturas en blanco y color, libros, reproducción	Papel higiénico o de alta calidad.
	Papel mezclado	Cartón y productos prensados misceláneos, para construcción (cartón de yeso, material suelto de aislamiento, papel saturado de fieltro para tejados).
Plástico	Poliétileno tereftalato PET/1 (botellas de gaseosas y jugos, recipientes para comida)	Almohadas, edredones, pijamas, ropa para clima frío, bases y fibras de moqueta, productos moldeados, tablas aislantes, películas, correas, envases de comida
	Poliétileno de alta Densidad PE-HD (botellas de leche y detergentes, bolsas, etc.).	Botellas de detergentes, frascos de aceite de motor, bolsas, tuberías y productos moldeados como juguetes y señales de tránsito.
	Policloruro de vinilo PVC (recipientes domésticos y de comida, tuberías).	Recipientes que no son para comida, cortinas de baño, alfombras de plástico, tuberías para riego, materas, juguetería, tuberías de drenaje, molduras, láminas y piezas moldeadas.
	Poliétileno de baja densidad PELD (envases de película fina y empaques)	Bolsas negras
	Polipropileno PP (cajas para botellas, maletas, tapas y etiquetas).	Tablas de plástico, muebles de jardín, pilotes, postes, vallas y baterías.
	Poliestireno PS (vasos y platos de espuma, artículos moldeados por	Tablas de espuma aislante de cimentación, accesorios de oficina, bandejas para servir comida, aislamiento, juguetes y productos moldeados por inyección
	Plásticos mezclados y multilaminados (plásticos no seleccionados)	Bancos de jardín, mesas, guardafangos, postes para vallas, vigas, pellets, estacas
Vidrio	Botellas y recipientes de vidrio.	Fabricación de nuevos insumos de vidrio, materiales de construcción
	Fibra de vidrio (triturado).	Fibra de vidrio





Residuo	Tipo de Material	Posibilidades de Uso
Metales férreos	Latas de acero u hojalata	Estaño, nuevo acero.
	Electrodomésticos, automóviles y chatarra de acero.	Nuevos productos.
Metales no férreos	Muebles de jardín, baterías, electrodomésticos cocina, herramientas, escaleras, ferretería, alambre de cobre, fontanería, etc.	Industria.
Residuos de jardín	Residuos de jardín	Materia orgánica estabilizada.
Materia orgánica estabilizada (procedente de residuos orgánicos y de alimentos)	Fracción de residuos sólidos orgánicos biodegradables, papel, cartón, textiles, madera, residuos de jardín.	<p><b>Para categoría A, En agricultura</b>, como abonos orgánicos o acondicionadores orgánicos no húmicos de suelos en cultivos hortícolas, frutícolas, forraje, fibras y praderas para pastoreo.</p> <p><b>Para remediación de suelos contaminados</b>, lechos biológicos para el tratamiento de emisiones y vertimientos, soporte físico y sustrato biológico en sistemas de filtración, absorción y adsorción.</p> <p><b>En la fabricación</b> de encendedores y material aglomerado o comprimido (pellets) para procesos de tratamiento térmico de residuos y en procesos de oxidación térmica o reducción térmica, como combustible alternativo.</p> <p>Como insumo en la obtención de materiales de construcción. Los mismos usos que en la categoría B.</p> <p><b>Para categoría B</b></p> <p>En la estabilización de taludes de proyectos de la red vial nacional, secundaria y terciaria. En la rehabilitación y recuperación de suelos degradados de uso no agrícola, áreas destinadas al ornato y la recreación, jardines, parques y zonas verdes. En la revegetalización de suelos degradados de uso no agrícola. Como material para cobertura y revegetalización de áreas erosionadas y de minería a cielo abierto. En plantaciones forestales.</p>





Residuo	Tipo de Material	Posibilidades de Uso
<b>Materia orgánica estabilizada (procedente de residuos orgánicos y de alimentos)</b>	Fracción de residuos sólidos orgánicos biodegradables, papel, cartón, textiles, madera, residuos de jardín.	En la fabricación de encendedores y material aglomerado o comprimido (pellets) para procesos de tratamiento térmico de residuos como combustible alternativo. Los mismos usos que en la categoría C.  <b>Para categoría C</b> En las coberturas intermedias de cierre de plataformas y cobertura final de clausura en sistemas de disposición final de residuos sólidos tipo relleno sanitario, para revegetalización y paisajismo. En la disposición conjunta con residuos sólidos en sistemas tipo relleno sanitario y en sistemas de disposición final exclusivos de biosólidos y materiales orgánicos estabilizados.
<b>Construcción y demolición</b>	Asfalto.	Capa de base para vías, material nuevo para pavimentar.
	Hormigón, ladrillo	Nuevo hormigón
<b>Madera</b>	Rechazos de fábrica, productos de madera.	Madera prensada.

**Fuente:** Tomado de (Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO F Sistemas de Aseo Urbano/, 2012)

En términos generales, se explicarán las posibilidades de aprovechamiento y valorización de los residuos más significativos con respecto a la caracterización realizada y a su naturaleza. Así pues, se explicarán procesos de aprovechamiento para la fracción orgánica de los residuos o residuos biodegradables (40%) y para los residuos recuperables (27%) como Plásticos, Papel y Cartón.

### 13.2. Aprovechamiento de residuos orgánicos en medellín y sus cinco corregimientos

La Fracción Orgánica de los Residuos Sólidos Urbanos (FORSU) son el porcentaje más alto de la producción de residuos en Medellín, si bien han presentado una disminución en el tiempo, es de suma importancia, tener alternativas de aprovechamiento viables para la ciudad en cuanto a estos

En la tabla F.5.2 del RAS 2000, denominada “Alternativas para la Gestión Integrada de Residuos Aprovechables”, se recomienda como primera alternativa la **valorización agronómica** por medio de compostaje aeróbico o compostaje anaerobio y como segunda la procesos de





transformación química, por lo tanto, a continuación, se realiza un breve estado del arte de las posibles tecnologías y su importancia para realizar el aprovechamiento y valorización de estos residuos, que será exitosa únicamente si se logra separar adecuadamente de los otros residuos como ordinarios e inertes.

Un adecuado manejo de los residuos orgánicos se logra a través de diferentes tratamientos que implican una adecuada separación y reciclaje de la materia orgánica, transformándolas en productos con valor agregado como abonos orgánicos líquidos y sólidos, lo que ha recibido un fuerte impulso con el alto costo de los fertilizantes químicos, a su vez, se sabe que el potencial energético de esta FORSU es alta, por lo que a lo largo de los años ha sido una alternativa a la producción de energía, así como también, la necesidad de minimizar los impactos ambientales negativos que se producen de la disposición de esta fracción orgánica en los rellenos sanitarios.

Los residuos orgánicos también son útiles para generar productos químicos orgánicos a través de biorrefinería o biotecnología blanca (por ejemplo, ácido succínico y / o bioplásticos) (D. Arancon, Sze Ki Lin, Chan, Him Kwan, & Luque, 2013)

Entre las principales alternativas de aprovechamiento de los residuos antes de su disposición final se pueden mencionar el **compostaje, reciclaje y tratamiento térmico**, incluyendo en algunos casos técnicos el aprovechamiento energético de los residuos. Si bien el tratamiento térmico es todavía incipiente en América Latina y el Caribe, ALC, es ampliamente usado en los países desarrollados.

El compostaje para los residuos orgánicos es una opción que ha sido ampliamente usada en la región y en el país, así como en numerosas oportunidades en ALC, debido a sus bajos costos de implementación y mantenimiento, a su vez que podría recibir un fuerte impulso con el uso de bonos de carbono.

La incineración casi no ha sido utilizada en ALC, en otros casos, tecnologías más eficientes de tratamiento térmico con aprovechamiento energético de los residuos pueden representar una opción de tratamiento válida en grandes ciudades que debe estudiarse en cada caso, dependiendo de la ciudad y sus características (Tello Espinoza et al., 2010).

Los procesos biológicos aerobios y anaerobios pueden compararse respecto de la transformación global que tiene lugar y del producto final obtenido. Básicamente el proceso aerobio o digestión aerobia elimina el 80% de la materia orgánica en forma de biomasa microbiana (lodos) y el 20% restante en forma de anhídrido carbónico y agua. En cambio, la digestión anaerobia transforma la materia orgánica en una mezcla de un 5% de biomasa y un 95% de metano y anhídrido carbónico (biogás), susceptible de aprovechamiento y valorización económica (Lissens et al., 2001)

Producir energía a partir de la biomasa puede darse mediante diferentes rutas. Estas rutas se pueden clasificar en procesos bioquímicas, termoquímicos y catalíticos para producir energía, calor y combustibles líquidos (comúnmente usados en el sector transporte. En general, la primera ruta incluye la hidrólisis de la de la hemicelulosa para producir azúcares fermentables y la reducción cristalina de la celulosa cristalina para liberar glucosa (Kotarska, Świerczyńska, & Dziemianowicz, 2015). La segunda ruta implica procesos de combustión, gasificación y pirólisis, procesos que se diferencian por las temperaturas a las que cada uno degrada los componentes de la materia orgánica y sus productos (Campuzano Diosa, Arenas Echeverry, Betancur Vélez, & Martínez Ángel, 2017).







En procesos biooxidativos catabólicos de degradación de residuos orgánicos, se genera buena cantidad de energía que puede ser aprovechable y que usualmente se desperdicia. Tal es el caso de los procesos aerobios de sustratos orgánicos sólidos que se conocen como compostaje. En este caso una cantidad importante de la energía se disipa al ambiente en forma de calor y usualmente se emplea para verificar el estado del proceso y determinar el punto final del mismo. Sin embargo, las emisiones de gases tales como amonio ( $\text{NH}_3$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) durante el compostaje pueden causar contaminación secundaria. Por esta razón, es necesario considerar tratamientos para minimizar estas emisiones (Jiang & Schuchardt, 2012). Una opción de tratamiento es la digestión anaerobia, la cual es un proceso que tiene bajos requerimientos energéticos y es ambientalmente amigable.

La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocido como “biogás” y a una suspensión acuosa o “lodo” que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica. La materia prima preferentemente utilizada para ser sometida a este tratamiento es cualquier biomasa residual que posea un alto contenido en humedad como restos de comida, restos de hojas y hierbas, residuos ganaderos, lodos de plantas depuradoras de aguas residuales urbanas y aguas residuales domésticas e industriales (Lorenzo Acosta & Obaya Abreu, 2005). La fracción orgánica de los residuos sólidos municipales es uno de los sustratos más utilizados en los procesos de digestión anaerobia. Esta fracción orgánica, cuando proviene de la separación de residuos en la fuente, es particularmente interesante para la digestión anaerobia, debido a un mayor contenido de sólidos volátiles totales (SVT) respecto a la fracción orgánica separada mecánicamente (Bolzonella, Fatone, Pavan, & Cecchi, 2005; Mata-Alvarez, Mace, & Llabres, 2000)

El producto principal de la digestión anaerobia es el biogás, mezcla gaseosa de metano (50 a 70 %) y dióxido de carbono (30 a 50 %), con pequeñas proporciones de otros componentes (nitrógeno, oxígeno, hidrógeno y sulfuro de hidrógeno), cuya composición depende tanto de la materia prima como del proceso en sí (Bajgain & Shakya, 2005; Edelman, 2002). La cantidad de gas producido es muy variable, aunque generalmente oscila alrededor de los 350 L/kg de sólidos degradables, con un contenido en metano del 70 %. Aunque su potencia calorífica no es muy alta, puede sustituir con ventaja al gas de ciudad, utilizándose en aplicaciones tan diversas como: fuente de calor (cocina, alumbrado), combustión en calderas de vapor para calefacción y combustible de motores acoplados a generadores eléctricos (Lorenzo Acosta & Obaya Abreu, 2005).

Aprovechar los residuos sólidos orgánicos para la producción de biogás, con alto contenido de metano, ofrece a las sociedades modernas una serie de oportunidades como, reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), producción de energía eléctrica, producción de fertilizantes orgánico-minerales y enmiendas agrícolas, así como, el aumento de la vida útil de los rellenos sanitarios. Otros beneficios en términos ambientales, es lograr la sostenibilidad de los agroecosistemas ya que se promueve el cierre de los ciclos biogeoquímicos e incluso económicos por la posible comercialización del biogás o los fertilizantes orgánicos-minerales, puede llevar a que los municipios no solo se comprometan con la disposición de sus residuos sino a la defensa de los intereses de los suelos agrícolas amenazados por las constantes presiones que se expresan en el uso de insumos de dudosa calidad, con lo que se espera dar cuenta del problema de fertilidad y productividad (Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares., 2012).





Los sólidos remanentes después del proceso de hidrólisis pueden servir como combustibles sólidos renovables (CSR), que pueden ser utilizados como un combustible neutro o como materia prima para la industria cerámica. Como combustible neutro, el CSR tiene un poder calorífico significativo, que puede ser mayor que el poder calorífico del carbón de baja calidad (por encima de 1.800 kcal/kg) esta condición hace del CSR un combustible adecuado que pueda sustituir a los combustibles no renovables o combinarse con ellos para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Castells, 2000.)

Estos combustibles sustitutos son elaborados a partir de las diferentes fracciones de los residuos sólidos urbanos (RSU): el CSR es elaborado a partir la fracción orgánica fermentable y el CDR con base en las fracciones combustibles presentes en el RSU. Dado que la fracción orgánica es significativa, como es el caso de Colombia, el CSR adquiere la connotación de combustible renovable. Esto es, su utilización industrial cabría en el contexto de un combustible neutro en emisiones de carbono (Castells, 2000.)

Desde una perspectiva de los países desarrollados y en desarrollo, las tecnologías anaeróbicas contribuyen a cumplir tres necesidades básicas: a) Mejorar las condiciones sanitarias mediante el control de la contaminación; b) generación de energías renovables para actividades domésticas; y c) suministrar materiales estabilizados (bioabono) como un biofertilizante para los cultivos. Por lo tanto, la digestión anaerobia juega un importante papel en el control de la contaminación y para la obtención de valiosos recursos: energía y productos con valor agregado.

El uso más simple del biogás es para la obtención de energía térmica (calor). En aquellos lugares donde los combustibles son escasos, los sistemas pequeños de biogás pueden proporcionar la energía calórica para actividades básicas como cocinar y calentar agua. Los sistemas de pequeña escala también se pueden utilizar para iluminación y los quemadores de gas convencionales se pueden adaptar fácilmente para operar con biogás, simplemente cambiando la relación aire-gas.

El requerimiento de calidad del biogás para quemadores es bajo, se necesita alcanzar una presión de gas de 8 a 25 mbar y mantener niveles de H<sub>2</sub>S inferiores a 100 ppm para conseguir un punto de rocío de 150°C.

La combinación de tecnologías como el compostaje y la digestión anaerobia es una alternativa viable para Medellín, para el aprovechamiento de la fracción de los residuos sólidos orgánicos, por lo que se podría obtener productos como abono agrícola (compost y fertilizantes orgánico-minerales líquidos y sólidos) y gas biológico (60% CH<sub>4</sub>, 40% CO<sub>2</sub>), que puede ser utilizado como combustible. Como lo afirman Singh y Pandey (2009), el tratamiento de residuos para la producción de biogás y la recirculación de nutrientes constituyen por tanto un ciclo sostenible.

### **13.3. Aprovechamiento de residuos reciclables**

La historia del reciclado también va unida a la de la escasez de materias primas como consecuencia del desarrollo demográfico y del mayor consumo per cápita. Los beneficios del reciclado constituyen un ahorro de trabajo y de energía en la obtención de nuevos productos y una reducción de los daños provocados al medio ambiente por una inadecuada disposición.

En Medellín y sus cinco corregimientos, las opciones para el aprovechamiento de los diferentes materiales recuperables como los plásticos, papel, cartón y metales, constituyen





una posibilidad de ingresos, ya en la ciudad han aumentado las empresas que se encargan de aprovechar estos materiales que llega a ellos por medio de los recuperadores tanto formales como informales.

Todo esto bajo un marco normativo amplio que tiene lugar en el título 2 del decreto 1077 del 2015, el cual trata del servicio público de aseo, y que fue adicionado por el decreto 596 del 2016 y la resolución 276 del 2016 en lo relativo con el esquema y los lineamientos de la actividad de aprovechamiento del servicio público de aseo y el régimen transitorio para la formalización de los recicladores de oficio.

Mediante asociaciones, corporaciones o empresa de servicio público o fundaciones, el mercado de los residuos recuperables comienza a crecer en la ciudad, producto de ellos es que, según el Sistema Único de Información de servicios públicos domiciliarios, SUI, en Medellín operan aproximadamente 20 empresas que son actores de la cadena de comercialización y transformación del material reciclable, en la **Tabla 85**, se pueden observar.

**Tabla 85. Prestadores de servicio de aseo reportados al SUI, 2019**

Nombre del prestador	Nombre del área de prestación
COOPERATIVA DE TRABAJO ASOCIADO RECUPERAR	MEDELLIN
EMPRESAS VARIAS DE MEDELLIN S.A. E.S. P.	MEDELLIN
ASOCIACIÓN DE RECICLADORES DE ANTIOQUIA	MEDELLIN
CORPORACIÓN NACIONAL PARA EL AMBIENTE	VALLE DE ABURRA
COOPERATIVA DE RECICLADORES DE MEDELLÍN	NO REGISTRA
CICLO TOTAL SAS E.S.P	MEDELLIN
CORPORACIÓN CÍVICA JUVENTUDES DE ANTIOQUIA	COMUNA 5,6 Y 7
ASOCIACIÓN AMBIENTAL DE RECUPERADORES Y PRESTADORES DE SERVICIOS DE PALMITAS ARRECUPERAR	MEDELLIN
ASOCIACION DE EMPRESARIOS DEL MATERIAL RECUPERADO	NO REGISTRA
ASOCIACIÓN AMBIENTAL DE RECUPERADORES Y PRESTADORES DE SERVICIOS SANTA ELENA	SANTA ELENA
ASOCIACIÓN DE AMBIENTALISTAS DE SAN CRISTÓBAL	SAN CRISTOBAL





Nombre del prestador	Nombre del área de prestación
CORPORACIÓN OLAS	CORREGIMIENTO SAN ANTONIO DE PRADO
CORPORACIÓN CAMPOSANTO	COMUNA8
COOPERATIVA TRABAJO ASOCIADO MANOS SOLIDARIAS	NO REGISTRA
CORPORACIÓN PARA LA RECUPERACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS	MEDELLIN
COOPERATIVA MULTIACTIVA LAS VIOLETAS COOMULVI	MEDELLIN
FUNDACIÓN GEO VERDE	MEDELLIN
FUNDACIÓN RECUPERAMBIENTE	MEDELLIN
ANTIOQUEÑA DE AGUAS Y ASEO SAS ESP	MEDELLIN
METALES Y EXCEDENTES RECUPERADOS	MEDELLÍN

**Fuente:** <http://www.sui.gov.co/web/noticias/25.febrero.2019.-publicacion-informacion-reportada-al-sui-sitios-de-areas-de-prestacion-nuap-y-sitios-estaciones-de-clasificacion-y-aprovechamiento-nueca-sitios-de-disposicion-final-nusd-y-estaciones-de-transferencia-nuet>

Dentro del esquema operativo de la actividad de aprovechamiento de residuos sólidos, regulado en el Decreto 1077 de 2015, adicionado mediante el Decreto 596 de 2016, se establecen las estaciones de clasificación y aprovechamiento como “instalaciones técnicamente diseñadas con criterios de ingeniería y eficiencia económica, dedicadas al pesaje y clasificación de los residuos sólidos aprovechables, mediante procesos manuales, mecánicos o mixtos y que cuenten con las autorizaciones ambientales a que haya lugar.”

En Medellín se reportaron a febrero de 2019 aproximadamente 50 ECAS las cuales se enuncian en la **Tabla 86**. Cabe destacar que, según el Informe nacional de Aprovechamiento, en toda Antioquia habían registradas 35 ECAS de las cuales 11 estaban en Medellín, lo cual muestra un avance significativo en cuestión de aprovechamiento y clasificación de residuos.



**Tabla 86. Estaciones de Clasificación y Aprovechamiento ECAS en Medellín.**



NOMBRE DEL PRESTADOR	NOMBRE DE LA ECA	DIRECCION DE LA ECA
ASOCIACIÓN DE RECICLADORES DE ANTIOQUIA	Centro de Acopio Barrio Colombia	Calle 26 # 44-27
ASOCIACIÓN DE RECICLADORES DE ANTIOQUIA	ARRECICLAR	CALLE 26 # 44 - 27
Corporación nacional para el ambiente	Centro NORTE	CLL 44 54 63
Corporación nacional para el ambiente	Centro SUR	CR 46 42 36
Corporación nacional para el ambiente	Central	carrera 32 41 38
Cooperativa de Recicladores de Medellín	JESUS NAZARENO	CALLE 58 # 51 D - 26
CICLO TOTAL SAS E.S.P	FREDY ECHAVARRIA	Cra. 52 #87-105
CICLO TOTAL SAS E.S.P	CHATARRERIA KM1	AUTOPISTA MEDELLIN BOGOTA KM1
CICLO TOTAL SAS E.S.P	COMERCIALIZADORA DE EXCEDENTES RECICLABLES MEDELLÍN	CARRERA 55 # 79-50
CICLO TOTAL SAS E.S.P	VICTOR LOPEZ	Carrera 51 #78-03
CICLO TOTAL SAS E.S.P	RIGOBERTO GOMEZ	Carrera 64 # 44-59
CICLO TOTAL SAS E.S.P	LUIS CAÑON	Carrera 55 # 90 37
CICLO TOTAL SAS E.S.P	EDILMA GOMEZ	Calle 53 # 54 154
CICLO TOTAL SAS E.S.P	JULIO ESCOBAR	Carrera 64 # 45a -59
CICLO TOTAL SAS E.S.P	LUIS CARDENAS	Calle 82 # 51B-47
Corporación Cívica Juventudes de Antioquia	MIRADOR DEL 12	CARRERA84#101A-24





NOMBRE DEL PRESTADOR	NOMBRE DE LA ECA	DIRECCION DE LA ECA
Corporación Cívica Juventudes de Antioquia	EL GORDO	CALLE101#82E-11
Corporación Cívica Juventudes de Antioquia	OTOÑOZ	CALLE114#75-27
Corporación Cívica Juventudes de Antioquia	LA 76 EL POLVORIN	CARRERA76#95-127
Corporación Cívica Juventudes de Antioquia	LA BENDICION DE DIOS	CARRERA76#98-61
Corporación Cívica Juventudes de Antioquia	LA MINITA	CARRERA76#98-75
Corporación Cívica Juventudes de Antioquia	ECOAMBIENTES2	CARRERA80#97B-04
Corporación Cívica Juventudes de Antioquia	ECOAMBIENTES1	CARRERA52#109A-41 INT115
Corporación Cívica Juventudes de Antioquia	EL PORVENIR	CARRERA82#106B-04
Corporación Cívica Juventudes de Antioquia	EL PLAN	CARRERA81#107-19
Corporación Cívica Juventudes de Antioquia	LA AMISTAD	CARRERA76D#114-21
Corporación Cívica Juventudes de Antioquia	Los Monos	Cra 81A # 106 20
Corporación Cívica Juventudes de Antioquia	SLJ Reciambiente	Clle 80 # 51 - 15
Corporación Cívica Juventudes de Antioquia	SLJ Reciambiente	Clle 98 # 80B - 70
Asociación ambiental de recuperadores y prestadores de servicios de palmitas ARRECUPERAR	ARRECUPERAR1	CL 20 # 34 - 137 SAN SEBASTIAN DE PALMITAS
ASOCIACION DE EMPRESARIOS DEL MATERIAL RECUPERADO	RECUPERADORA DE MATERIALES SML	Calle 46 # 64-28
ASOCIACION DE EMPRESARIOS DEL MATERIAL RECUPERADO	RECICLAJE EL PRIMO	CRA 63D CL 43-67



NOMBRE DEL PRESTADOR	NOMBRE DE LA ECA	DIRECCION DE LA ECA
ASOCIACION DE EMPRESARIOS DEL MATERIAL RECUPERADO	EXCEDENTES FSC	CRA 63 D N 43-35
ASOCIACION DE EMPRESARIOS DEL MATERIAL RECUPERADO	EXCEDENTES GOMEZ	CRA 64 N 44-59
ASOCIACION DE EMPRESARIOS DEL MATERIAL RECUPERADO	EXCEDENTES DOLY	CRA 64 N 45A 49
ASOCIACION DE EMPRESARIOS DEL MATERIAL RECUPERADO	excedentes piaminte	carrera 64 # 45A 59
Asociación Ambiental de Recuperadores y prestadores de servicios Santa Elena	ARPSE	CORREGIMIENTO SANTA ELENA-VEREDA MAZO
Asociación de ambientalistas de San Cristóbal	ASOSAC	CALLE 66 140-82 INTERIOR 310
Corporación Olas	Corporación Olas Corolas	Cl 56 Sur 85-29
Cooperativa Trabajo Asociado Manos Solidarias	cootramas	calle 104b Nro 48-60
Corporación para la recuperación y aprovechamiento de residuos	Belén Rincón	Calle 3 # 80 a 77
Asociación de recuperadores Pioneros de Altavista	ALTAVISTA	KM 2 Vereda la perla Corregimiento de AltaVista
COOPERATIVA MULTIACTIVA LAS VIOLETAS COOMULVI	Centro de Coomulvi	Calle 60 # 52 60
Fundación Recuperambiente	RECUPERAMBIENTE	CALLE 45A # 63B-37
Fundación Recuperambiente	EXCEDENTES LA MADERA	CRA 51A # 27 B 61
Fundación Recuperambiente	EXCEDENTES TAYSON	CRA 64 # 45 A 52
Fundación Recuperambiente	KINTO ELEMENTO	CALLE 43 # 120 C 22





NOMBRE DEL PRESTADOR	NOMBRE DE LA ECA	DIRECCION DE LA ECA
Fundación Recuperambiente	CHATARRERIA BENJAMIN	CRA 70 # 58 -1
Fundación Recuperambiente	RECICLAJES WILLY	CRA 63 B # 45 - 47
Metales y Excedentes Recuperados	eca_metalrec	calle 21 C # 42-169

**Fuente:** <http://www.sui.gov.co/web/noticias/25.febrero.2019.-publicacion-informacion-reportada-al-sui-sitiosde-areas-de-prestacion-nuap-y-sitios-estaciones-de-clasificacion-y-aprovechamiento-nueca-sitios-de-disposicion-final-nusd-y-estaciones-de-transferencia-nuet>

Otras empresas como Ekored, que se dedica al abastecimiento, procesamiento y comercialización de material reciclado a través de la formación de la red de aprovechamiento; beneficiando el medio ambiente, puntualmente se dedican a la recolección de material PET para integrarlo nuevamente a un ciclo de productividad como materia prima. Ekored es una empresa que nace de otra llamada ENKA DE COLOMBIA la cual desarrolló un ambicioso proyecto para recuperar las botellas de PET y transformarlas mediante proyectos de alta tecnología en resinas, fibras y filamentos, los cuales son empleados en múltiples usos textiles o plásticos con propiedades similares a aquellos provenientes de la cadena petroquímica. más de 400 proveedores y aliados y a la fecha procesan 1,9 millones de botellas diarias.

El Decreto 596 del 2016, introdujo el concepto de tonelada efectivamente aprovechada lo que ayudó a que, en el país, se empezaran a cuantificar las toneladas de los residuos inorgánicos aprovechados por cada una de las organizaciones o prestadores del país.

Son residuos efectivamente aprovechados, aquellos que han sido clasificados y pesados en una Estación de Clasificación y Aprovechamiento (ECA) por la persona prestadora de la actividad y han sido comercializados para su incorporación a una cadena productiva, contando con el soporte de venta a un comercializador o a la industria.

A nivel nacional para el año 2017 los prestadores de la actividad de aprovechamiento reportaron por medio del formato de toneladas aprovechadas en el Sistema Único de Información – SUI un total de 536.092 toneladas correspondiente a información de 144 prestadores. Del total nacional, la participación de la capital del país corresponde al 83.9% con 449.836 toneladas, seguido por la ciudad de Medellín con el 3% de participación con 17.551,7 toneladas. Respecto a la información registrada en el informe sectorial de aprovechamiento del año 2016, se evidencia un aumento considerable de toneladas reportadas, el aumento se dio en un 81,7% a nivel nacional, en donde la ciudad de Medellín para 2016 reportó 5.309 toneladas y para el año 2017 aumentó su reporte en un 69.7%. (Informe nacional de Aprovechamiento , 2017) Para el año 2017, se reportaron los materiales por familias. La familia con mayor reporte es papel y cartón (55,1%), seguido de los metales (30,8%) y los plásticos ocupan el tercer lugar (6,1%). Los metales son la segunda familia en ser reportada en términos globales (no segregado en familias) el material más reportado corresponde a la chatarra (26%), seguido de cartón (22,9%) y archivo (12,8%).



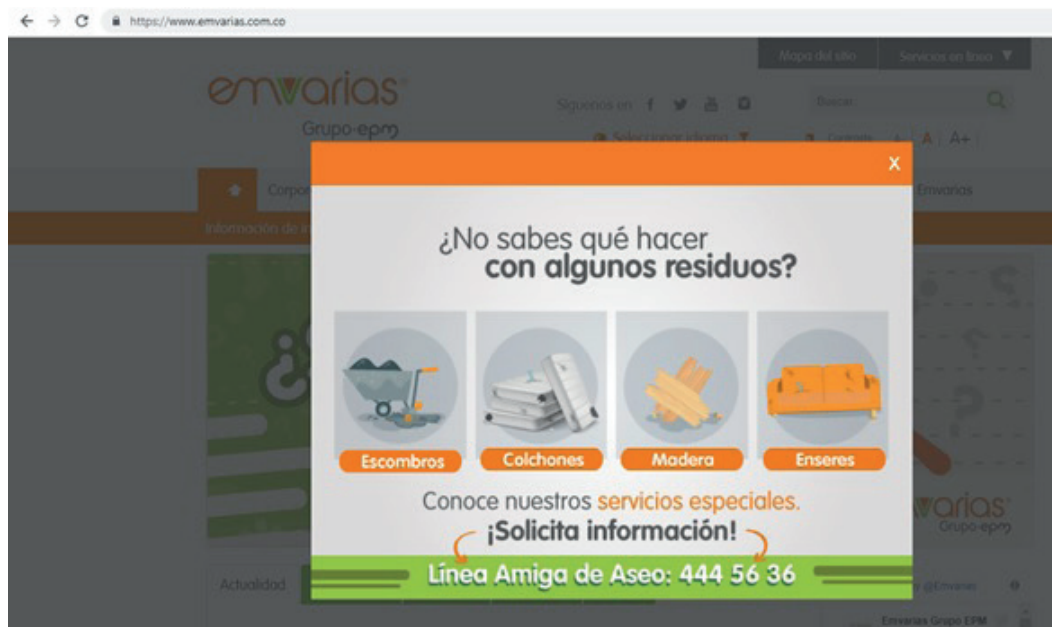




Según el PGRIS Medellín 2016-2027, en la ciudad el micro ruteo para la recolección de residuos aprovechables reciclables por parte de los recicladores se ha desarrollado mediante vehículos de tracción humana en mayor proporción, como lo muestra el censo realizado en el año 2013 en convenio entre el Municipio de Medellín y la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, donde se encontró que apenas el 1,88% de los recicladores realiza transporte en vehículos de tracción motora, mientras que el 98,12% realiza el transporte en vehículos de tracción humana como costales (49,29%), carreta (30,34%), tula(8,79%), carro de rodillos (8,14%) y carro de mercado (1,56%).

En cuanto a los residuos especiales, Emvarias cuenta con la línea amiga de aseo, para que la comunidad se comunique en caso de tener residuos como escombros, madera, colchones o enseres, y poniendo a disposición una línea de atención, como se puede ver en la siguiente fotografía.

**Fotografía 9. Invitación de Emvarias a usuarios para disposición adecuada de residuos especiales**



*Fuente: (EMVARIAS, 2019)*

### 13.4. Aprovechamiento térmico - pirolisis y gasificación

La valorización de los biosólidos a través de la conversión termoquímica representa una alternativa de aplicación sostenible para estos residuos. A través del proceso de pirolisis de biosólidos se reduce la masa de estos residuos y se obtienen productos con valor energético importante.

La pirolisis es la descomposición térmica de la biomasa hasta temperaturas del orden de 550 C° y constituye el proceso anterior a la gasificación y a la combustión. Las condiciones en el proceso de pirolisis (temperatura, tasa de calentamiento, presión) y las propiedades de la materia prima (composición química, contenido de cenizas y su composición, tamaño de partícula y forma, densidad y contenido de humedad, principalmente) definen la velocidad de reacción, la distribución, la composición y las propiedades de los productos generados en el





proceso. Este proceso es ampliamente utilizado para el procesamiento de biomasa (madera, residuos agroindustriales, etc.); su uso para el tratamiento de biosólidos se ha intensificado en los últimos años, especialmente en Europa y Estados Unidos, debido al aumento en las medidas ambientales para el tratamiento de residuos sólidos (D. Arancon, Sze Ki Lin, Chan, Him Kwan, & Luque, 2013).

La gasificación es un proceso de transformación termoquímica que se implementa para generar un combustible gaseoso a partir un combustible sólido o líquido a través de reacciones de oxidación parcial. Mediante el proceso de gasificación se busca maximizar la producción de gas y se lleva a cabo a mayores temperaturas (**800 - 1100 C°**) que las del proceso de pirólisis. La mezcla de gas que se obtiene está compuesta principalmente por monóxido de carbono, dióxido de carbono, hidrogeno y metano. La fase gaseosa generada en el proceso de gasificación de biomasa requiere la limpieza de diferentes tipos de impurezas: material particulado; impurezas inorgánicas tales como compuestos nitrogenados (NH<sub>3</sub> y HCN), compuestos de azufre (H<sub>2</sub>S), cenizas y compuestos minerales; e impurezas orgánicas como alquitranes (Pires, Martinho, & Chang, 2011)

Sin embargo, son procedimientos que no han sido aplicados exitosamente a gran escala en Colombia, debido, entre otros temas a sus costos elevados. Estos dos procesos requieren etapas adicionales para limpiar los gases para que el combustible funcione, son etapas de alto consumo energético, lo que reduce la eficiencia energética general. Se habla también que pueden generar emisiones excesivas de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COPs) como dioxinas y policlorobifenilos (PCBs); y metales pesados como plomo, arsénico y mercurio, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), como los que se producen por la combustión de retardantes de llama y otros contaminantes sujetos a control reglamentario. Cuando tales combustibles son distribuidos para diferentes usos en vehículos o calderas, por ejemplo, las emisiones fuera de las instalaciones pueden ser casi imposibles de monitorear (D. Arancon, Sze Ki Lin, Chan, Him Kwan, & Luque, 2013).



## 14. INFORME DE LA EJECUCIÓN DE LA ESTRATEGIA DE SOCIALIZACIÓN EN EL SECTOR RESIDENCIAL



Alcaldía de Medellín

171

La interacción con la comunidad del sector residencial en la zona urbana y rural de Medellín es indispensable para alcanzar los objetivos del contrato en curso, ya que hacen parte intrínseca del proyecto al ser usuarios del servicio de aseo de la ciudad.

Por tal motivo se diseñó una estrategia de socialización del proyecto con la comunidad, con dos objetivos, el primero para realizar la divulgación del proyecto y llegar a un número amplio de la población de Medellín y el segundo objetivo es para crear conciencia sobre el manejo adecuado de los residuos sólidos, fomentar prácticas como la separación en la fuente y el reciclaje en las viviendas.

La estrategia de socialización con la comunidad involucró los siguientes medios:

- Plan de Medios de comunicación audiovisuales y virtuales liderado desde la Alcaldía de Medellín como la cuña radial, redes sociales, publicidad impresa.
- Medios alternativos realizado por el Consorcio Residuos Medellín 2018 como la comunicación telefónica y por correo electrónico con los ediles de los diferentes corregimientos y con los Líderes de mesas ambientales de las comunas de Medellín, creación de la línea de atención a los usuarios y del correo electrónico del consorcio y las reuniones presenciales tanto en Medellín como en los corregimientos

### 14.1. Plan de medios de comunicación audiovisuales y virtuales

**RADIO:** Se realizó una cuña radial con duración de 30 segundos, emitida en las siguientes emisoras en la programación musical: CARACOL / BESAME – RCN/ EL SOL- OLIMPICA ESTEREO, desde la primera semana de octubre.

**REDES SOCIALES:** La alcaldía de Medellín, a través de la oficina de comunicaciones de la secretaria de Gestión y Control Territorial, en sus redes sociales, compartió de manera virtual las publicaciones donde se informaba a la comunidad los avances del estudio. FACEBOOK y MINUTO 30. **Ver Ilustración 15**





Ilustración 15. Publicidad en Página de Facebook de la Alcaldía de Medellín



Fuente: Tomada de la Página de Facebook de la Alcaldía de Medellín

Publicidad Impresa. En las visitas realizadas a los corregimientos y las reuniones con los ediles y líderes ambientales, se distribuyeron afiches (ver Ilustración 16), en diferentes sitios como Centros de Salud, Casas de Gobierno e Iglesias, que fueron publicados en sus carteleras informativas. También se repartieron durante las jornadas de las encuestas diferentes afiches en lugares estratégicos para la divulgación del proyecto. El elemento de identificación para posteriores visitas y agradecimiento por la participación a los usuarios que accedan a participar de las encuestas y la recolección es un adhesivo con publicidad alusiva al proyecto. Ver Ilustración 17

Ilustración 16. Afiche publicitario del proyecto y adhesivo para señalar las viviendas



Fuente: Fuente: Tomada de los afiches por equipo de trabajo



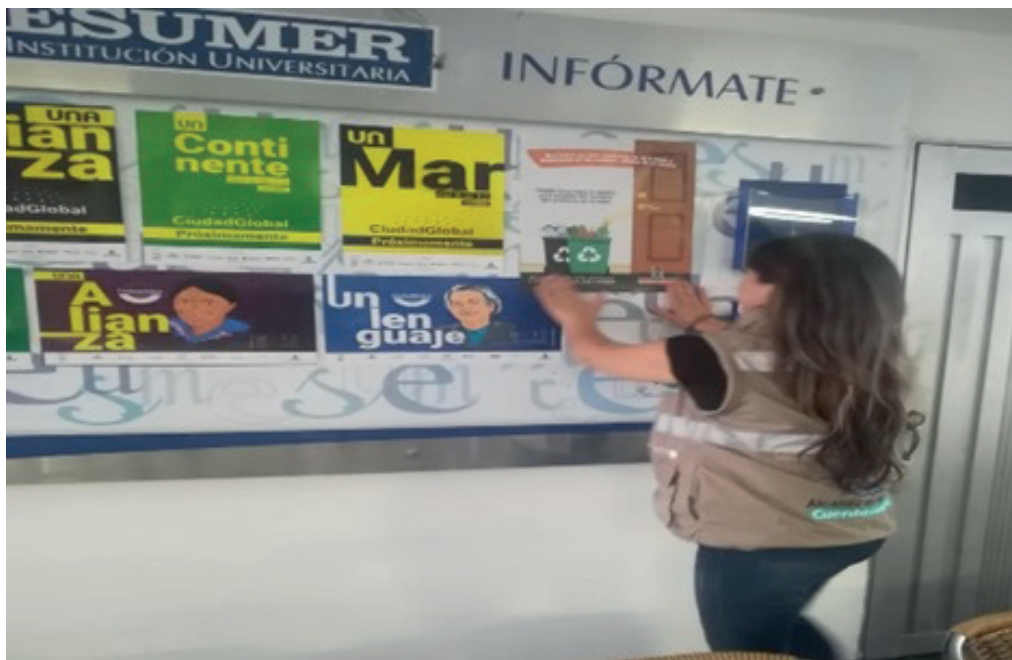


Ilustración 17. IMAN ALUSIVO A LA SEPARACIÓN DE RESIDUOS PARA LAS VIVIENDAS ENCUESTADAS



Fuente: Tomada por equipo de trabajo

Fotografía 10. Ubicación de publicidad impresa en sitios estratégicos de la ciudad y corregimientos

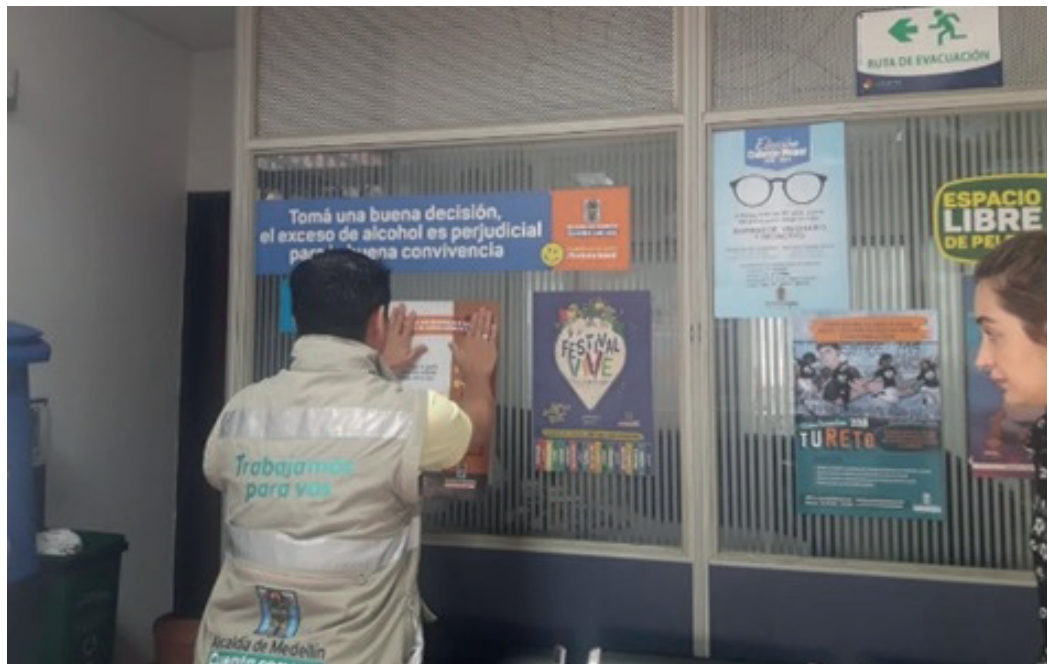


Fuente: Tomada de los afiches por equipo de trabajo





Fotografía 11. Ubicación de publicidad impresa en sitios estratégicos de la ciudad y corregimientos



Fuente: Tomada de los afiches por equipo de trabajo

## 14.2. Medios alternativos realizado por el consorcio residuos medellín 2018

### Telemercadeo -Línea de Atención

Se habilitó una línea de atención al usuario; en el cual, la comunidad pudo contactarse con el equipo técnico del Consorcio, para resolver dudas y atender peticiones, quejas, reclamos y sugerencias (PQRS), sobre la ejecución del proyecto.

Por este medio se contactaron telefónicamente a los diferentes ediles de Medellín y sus cinco corregimientos, de acuerdo con la base de datos que suministró la Secretaría de Gestión y Control Territorial, para contarles sobre el proyecto e invitarlos a la socialización de este.

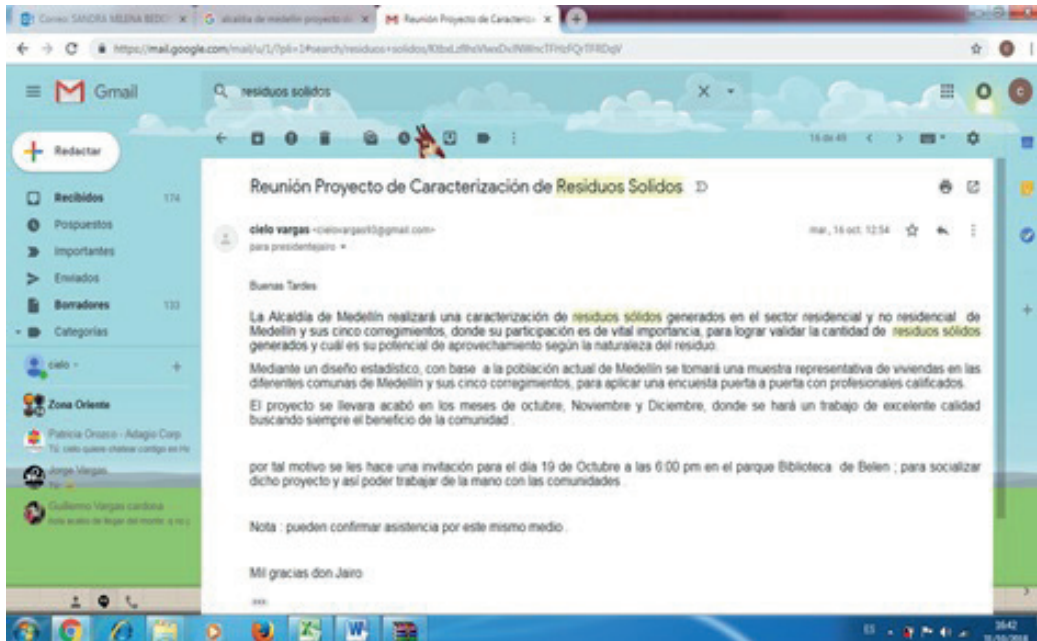
El día que se les realizó la encuesta a los usuarios se les explicó de manera sencilla como se realizaría la recolección de la muestra, a lo cual se les informó que recibirían llamada telefónica donde se les recordará la hora y el día de la entrega de las muestras.

### Correo electrónico

Se creó una cuenta de correo electrónico [residuosmedellin2018@gmail.com](mailto:residuosmedellin2018@gmail.com), para efectos de comunicación interna del equipo técnico, de unificación de información y como canal de comunicación con la comunidad para la recepción de PQRS (Preguntas, Quejas, Reclamos y Sugerencias). Ver Ilustración 18



## Ilustración 18. Imagen del correo electrónico del Consorcio Residuos Sólidos Medellín



**Fuente:** Tomada de los correos electrónicos por el equipo de trabajo

A lo largo del proyecto, no se recibieron Quejas ni reclamos por ningún medio, sin embargo, si se recibieron diversas preguntas sobre todo relacionadas con los días en los que se realizaría las visitas.

### Reuniones presenciales tanto en Medellín como en los corregimientos

En las socializaciones se les da a conocer el proyecto, la encuesta para que puedan divulgar en sus grupos y barrios, se abre espacio para que ellos puedan hablar de los puntos críticos de sus sectores y del manejo de los residuos. A continuación, se presenta el registro fotográfico de las reuniones de socialización que se realizaron tanto en Medellín como en los corregimientos.

### Corregimiento De San Cristóbal

El día 13 de octubre en el Parque Biblioteca San Cristóbal, se citó a los ediles del corregimiento para la socialización del proyecto, donde solo asistió una líder comunal como se puede evidenciar en la, **Fotografía 12** y se le dio toda la información pertinente del proyecto para que ella hiciera la socialización con los demás miembros de la comunidad.

Debido a la inasistencia a la primera reunión de socialización en el corregimiento de San Cristóbal, se concertó una cita con líderes de la mesa ambiental de San Cristóbal, el día 20 de octubre en la casa de uno de los líderes ambientales de la zona. Ver **Fotografía 13**.



Alcaldía de Medellín

175





Fotografía 12. Socializaciones con ediles en San Cristóbal



Fuente: Tomada de los afiches por equipo de trabajo

Fotografía 13. Socializaciones con líderes ambientales en San Cristóbal



Fuente: Tomada de los afiches por equipo de trabajo







### Corregimiento San Antonio De Prado

Se sostuvo una reunión en la sede de la Junta Administradora Local el día 16 de octubre, donde solo asistió el presidente de esta, el ingeniero Jefferson Gutiérrez explicó paso a paso la metodología del proyecto.

Fotografía 14. Corregimiento De San Antonio de Prado Reunión con los ediles



**Fuente:** Tomada de los afiches por equipo de trabajo

### Corregimiento de Palmitas

El Ingeniero Maswel Ortiz, se reunió el 17 de octubre con el presidente de los ediles y líder comunal del corregimiento para socializar el proyecto, debido a la falta participación de los demás ediles se realizó la reunión en un establecimiento público, donde se les explicó paso a paso la metodología del proyecto.

“ La gestión integral de residuos sólidos como clave para el sostenimiento ambiental. ”





### Fotografía 15. Reunión con ediles de Palmitas



*Fuente: Tomada de los afiches por equipo de trabajo*

### Corregimiento de Altavista

El día 17 de octubre se realizó la reunión en la casa de Gobierno de Alta Vista, donde se reunieron la mesa directiva de los ediles, con el ingeniero Jean Paul Retat, donde se les explico la metodología del trabajo.

### Reunión con ediles de Altavista



*Fuente: Tomada de los afiches por equipo de trabajo*





### Corregimiento de Santa Elena

Debido a la dificultad que se tuvo para concertar la cita con los ediles y líderes de la comunidad en Santa Elena, se realizó la socialización el día 24 de octubre mediante voz a voz en el corregimiento, donde se acudió a varias Instituciones Educativas para hablar con las directivas y contarles sobre dicho proyecto. De igual manera se llevó la publicidad impresa a los puntos de información de las veredas donde se realizaría la muestra.

**Fotografía 16. Socialización en Santa Elena.**



**Fuente:** Tomada de los afiches por equipo de trabajo

### Socialización en Medellín

En Medellín, la convocatoria para la reunión con los ediles no fue exitosa ya que por vía telefónica todos confirmaron asistencia a la reunión convocada para el 19 de octubre en el parque Biblioteca de Belén, sin embargo, sólo asistieron dos personas de la JAL de Robledo, con los cuales, se programó una visita a las instalaciones de ellos para explicar el proyecto el día 23 de octubre donde se contó con la presencia de la secretaria y del presidente, ellos manifestaron que en su barrio había varios puntos críticos a los cuales les gustaría que se hiciera presencia.





**Fotografía 17. Reunión de socialización en la comuna de Robledo.**



**Fuente:** *Tómada de los afiches por equipo de trabajo*

El 23 de octubre se socializó el proyecto en una reunión que tenían los ediles de las diferentes comunas de Medellín en la biblioteca EPM, quienes nos brindaron un espacio dentro de la agenda de ese día. Se entregaron Afiches para que ellos lo pegaran en sus barrios.

**Fotografía 18. Socialización con ediles en biblioteca EPM.**



**Fuente:** *Tómada de los afiches por equipo de trabajo*





En las oficinas de Fenalco Antioquia el 24 de octubre se realizó la reunión con diferentes líderes de las comunas 3,4,5,7,8,9, donde se les explicó cómo se ejecutaría el proyecto en la ciudad de Medellín, teniendo en cuenta el estrato socioeconómico. Fue una reunión en donde los diferentes líderes ambientales participaron activamente y mostraron compromiso en el acompañamiento del proyecto.

**Fotografía 19. Reunión con la Mesa de Líderes Ambientales.**



**Fuente:** *Tomada de los afiches por equipo de trabajo*





## 15. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA, SIG.

El producto final del componente SIG del presente proyecto se entrega en formato “Geodatabase” del software ESRI. Se entiende por Geodatabase como la agrupación de ficheros de información geográfica que integra la información gráfica y alfanumérica asociada a elementos geográficos. Ella permite por lo tanto la integración de todos los temas geográficos y tablas asociadas de interés para una organización. En este sentido ofrece un gran avance sobre el almacenamiento de temas SIG en archivos y directorios como se ha hecho en anteriores implementaciones de sistemas SIG (usando formatos shapefile o converge).

La importancia de estructurar la información geográfica de esta forma radica en que permite tenerla de forma organizada y de fácil acceso tanto para usuarios internos como posteriormente para externos.

Para el presente proyecto se recopiló y estructuró la información cartográfica base suministrada por la Secretaría de Gestión y Control Territorial del Municipio de Medellín. Así mismo, se procesó y estructuró en la Geodatabase toda la información levantada en campo concerniente a la caracterización de residuos sólidos para el sector residencial de las 16 comunas y cinco (5) corregimientos del municipio.

La Base de Datos Espacial (Geodatabase) se estructuró en el programa ArcGIS 10.6.1 y se guardó un respaldo de archivos.MXD en la versión ArcGis 10.3 a fin de que puedan ser abiertos en una versión anterior del ArcMap. Así mismo, la presentación de toda la información del Componente SIG, se realiza siguiendo los estándares recopilados en el documento “Estándares básicos para manejo de información geográfica, Versión 2 de mayo de 2015 – Departamento Administrativo de Planeación, Subdirección de Información, Seguimiento y Evaluación Estratégica” del Municipio de Medellín.

### 15.1. Metodología

Para el desarrollo del componente SIG del proyecto “Caracterización de residuos sólidos generados en el sector residencial del Municipio de Medellín”, se surtieron las siguientes etapas de trabajo:

A. Recopilación de la información cartográfica tanto básica como temática proveniente del proyecto de caracterización realizado en el año 2015.

B. Recopilación y estructuración de la información temática relacionada con la estratificación socioeconómica para el Municipio de Medellín, actualizada al año 2018.

C. Generación de mapas temáticos base organizados por comunas y los respectivos barrios que las conforman. Con ello, se suministró una herramienta o insumo básico para seleccionar los recorridos y recolección de las muestras acorde a la distribución espacial de cada estrato en cada comuna.

D. Preselección de puntos asociados al tipo de estrato para cada comuna. Dicha información se suministró a cada equipo de trabajo en formato análogo (mapas impresos) y digital (Tablas de Excel que contenían la dirección de los sitios a encuestar y posteriormente a recolección de las muestras que se debían caracterizar.





E. Estructuración de tablas en formato Excel donde se resumía la información recolectada a través de las encuestas, los resultados de la respectiva caracterización para cada punto y la coordenada con la ubicación del sitio encuestado.

F. Georreferenciación de cada vivienda (para el sector residencial) o de cada establecimiento (para el sector no residencial) a fin de obtener el elemento espacial (tipo punto) asociado a la información alfanumérica levantada a partir de la encuesta de campo.

G. Estructuración de la Geodatabase (GDB) acorde a los estándares del Municipio de Medellín.

H. Generación de la información temática a fin de obtener la producción per cápita por estrato, por Comuna y por Corregimiento.

I. Alimentación de la GDB con la información primaria y secundaria generada.

J. Generación de información alfanumérica resultante de las tablas de atributos para los elementos Feature de la GDB.

K. Generación de imágenes para el documento y consulta en general (Mapas temáticos resultantes en formato PDF)

L. Elaboración de metadatos y diccionario de datos.

## 15.2. Información cartográfica básica y temática

La información requerida para este estudio en el componente SIG constituyó información primaria levantada en campo y secundaria recopilada en formato análogo y digital.

La cartografía básica en formato digital se obtuvo principalmente de la Revisión y Ajuste del Plan de Ordenamiento Territorial para el Municipio de Medellín - 2014, otra fuente utilizada es la información catastral urbana y rural del municipio, así como el Shape de Estratificación socioeconómica suministrada por la Subsecretaría de Catastro del municipio en el mes de noviembre del año 2018 y contiene la representación digital de los lotes, barrios, manzanas y la delimitación de comunas y corregimientos para el Municipio de Medellín.

La información espacial y de atributos requerida para estructurar la Geodatabase, se obtuvo por levantamientos de información primaria, realizada por cada equipo de campo que hizo parte del proyecto.

## 15.3. Manejo de los metadatos

Para la elaboración de los metadatos se siguieron las especificaciones descritas en los Estándares básicos para manejo de información geográfica, Versión 2 de mayo de 2013 – Departamento Administrativo de Planeación, Subdirección de Información, Seguimiento y Evaluación Estratégica, los cuales definen el esquema requerido para describir la información geográfica, análoga y digital. Los metadatos proporcionan información acerca de identificación, extensión, calidad, esquema espacial y temporal, referencia espacial y distribución, para un conjunto cualquiera de datos geográficos. Los metadatos generados corresponden a los Feature Class desarrollado en este proyecto.

Los metadatos se almacenan en ArcGis según las consideraciones ISO 19115 - 19139 y consta de las siguientes secciones:





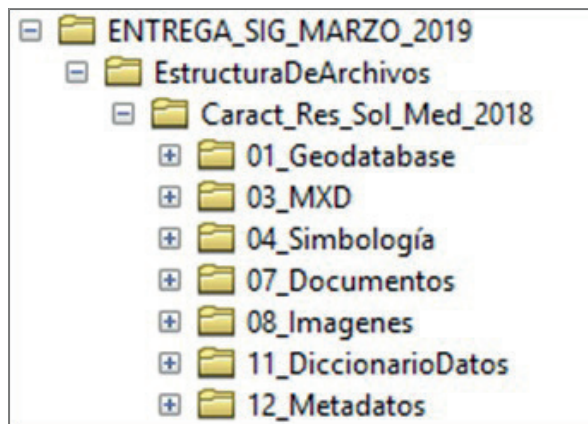
- Sección Descripción (Overview): Contiene información básica acerca del conjunto de datos y sus autores. Se diligencian los campos título, etiquetas, resumen, descripción y créditos del ítem Descripción del elemento. Los campos palabras claves, citación, fechas de publicación y contactos de citación del ítem Temas y Palabras clave son diligenciados.
- Sección Metadatos (Metadata): Contiene información de fechas de publicación y contactos. Se diligencian los campos detalles y contactos.
- Sección Recursos (Resource): Contiene información acerca del estado del elemento, extensión, datos de contacto, mantenimiento, restricciones, calidad, fuentes de la información, procesos de generación y finalmente encargado de la distribución.

## 15.4. Estructura de la información

La estructura general de almacenamiento de datos se ajusta a las especificaciones expedidas por el municipio en los Estándares básicos para manejo de información geográfica, Versión 2 de mayo de 2013, dicha estructura se muestra en la **Ilustración 19**.

Toda la información entregada obedece a la estructura que a continuación se describe y fue entregada en un archivo comprimido como anexo a este informe final del sector Residencial.

**Ilustración 19. Estructura general de almacenamiento para el proyecto de caracterización de residuos sólidos en el sector residencial y no residencial del Municipio de Medellín.**



**Fuente:** Elaboración propia

## 15.5. Geodatabase

En esta carpeta se localizan tres (3) Bases de Datos Espaciales (GDB), las cuales representan en su respectivo orden:

- a. GDB asociada a la cartografía base requerida para el desarrollo del proyecto.
- b. GDB asociada a la cartografía temática resultante del procesamiento y análisis de la caracterización para el sector no residencial.
- c. GDB asociada a la cartografía temática resultante del procesamiento y análisis de la caracterización para el sector residencial.

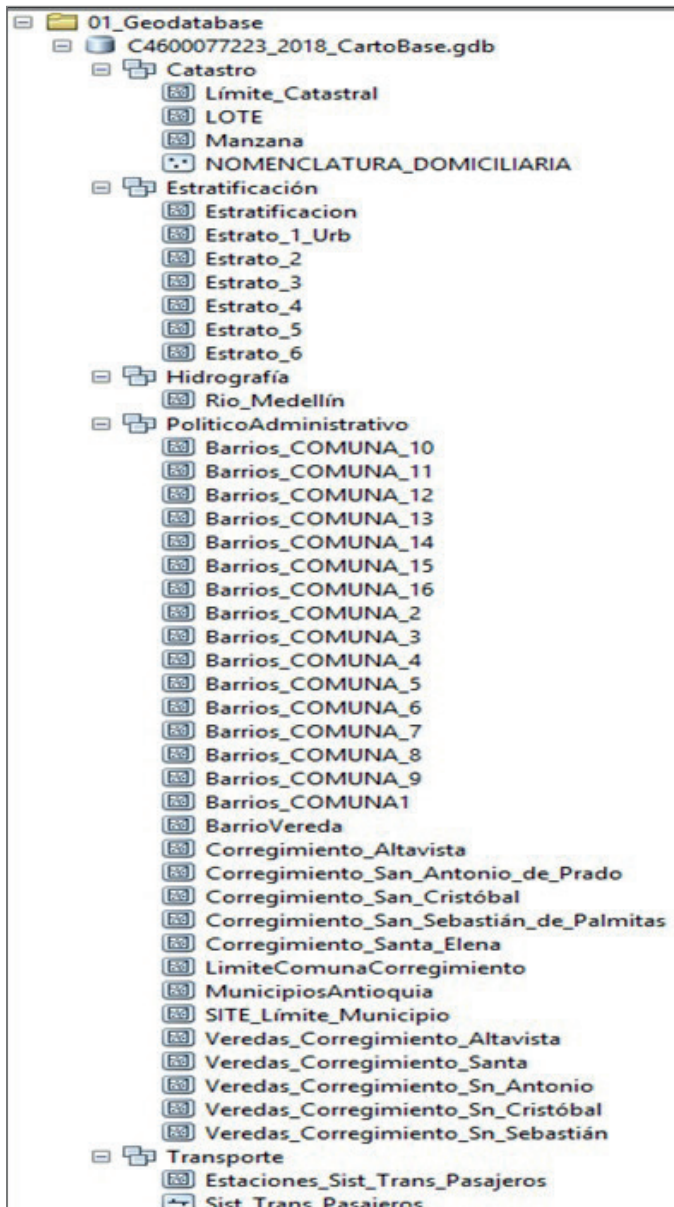






Estas tres (3) GDB, se estructuran en Arc Gis 10.6.1, según la organización por Feature Dataset y Feature Class que se tiene especificado en los Estándares básicos para manejo de información geográfica, Versión 2 de mayo de 2.013, ver **Ilustración 20**.

**Ilustración 20. Estructura detallada de la Carpeta Geodatabase 1**

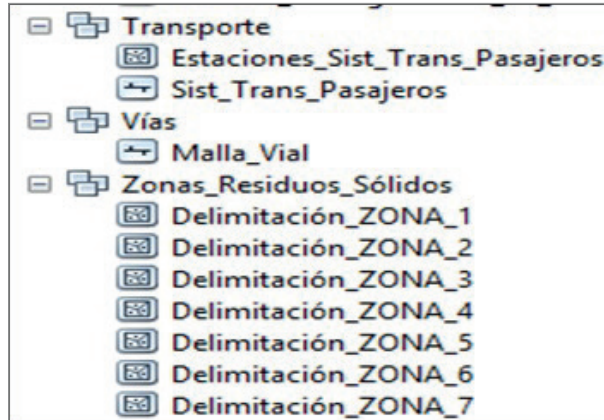


*Fuente: Elaboración propia*





Ilustración 21. Estructura detallada de la Carpeta Geodatabase.2



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 22. Estructura detallada de la Carpeta Geodatabase.3

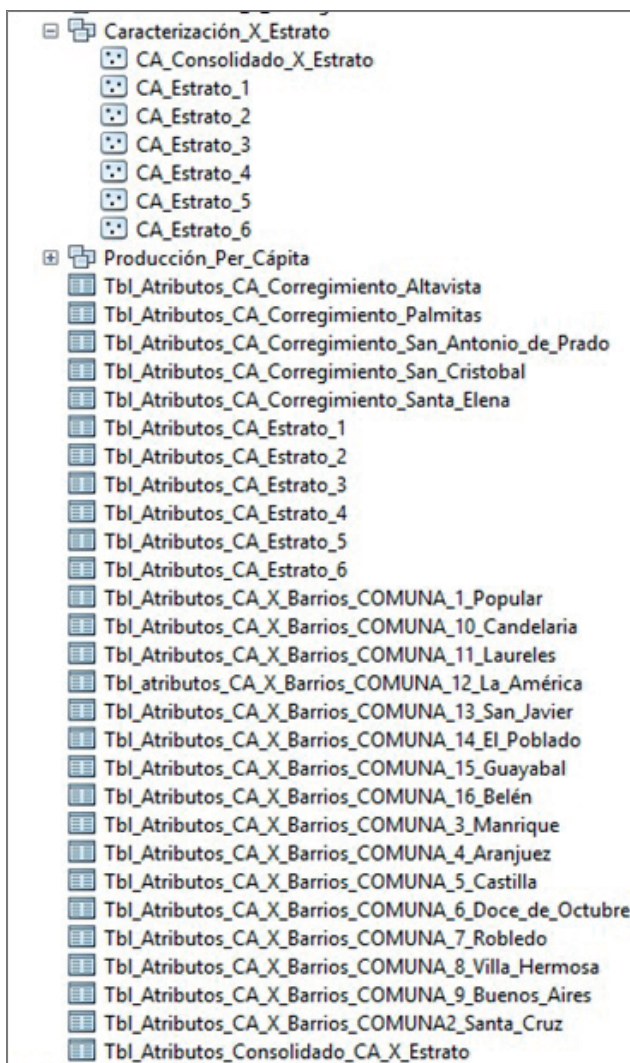


Fuente: Elaboración propia





Ilustración 23. Estructura detallada de la Carpeta Geodatabase 3.



Fuente: Elaboración propia

## 15.6. MXD

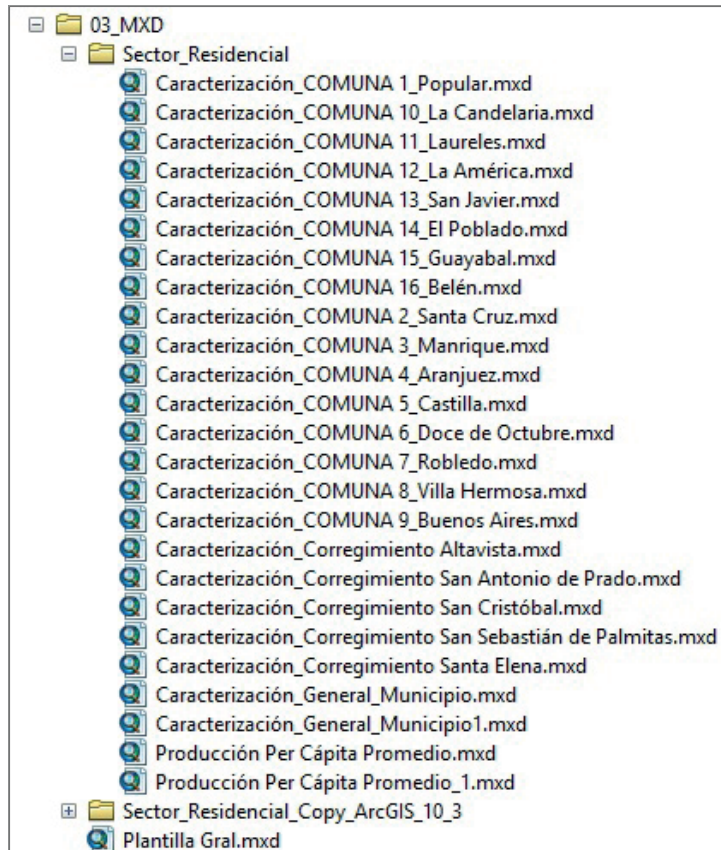
En esta carpeta se encuentran cada uno de los mapas temáticos generados como respuesta a los requerimientos y especificaciones del proyecto. Cada mapa se elaboró en la versión de ArcGIS 10.6.1., pero igualmente se generó una carpeta de copia en la versión de ArcGIS 10.3. fin de que los mapas puedan ser abiertos en esta versión anterior del software.

En la Ilustración 24 se representa el nombre de cada uno de los proyectos. mxd generados.





Ilustración 24. Estructura detallada de la Carpeta MXD



Fuente: *Elaboración propia*

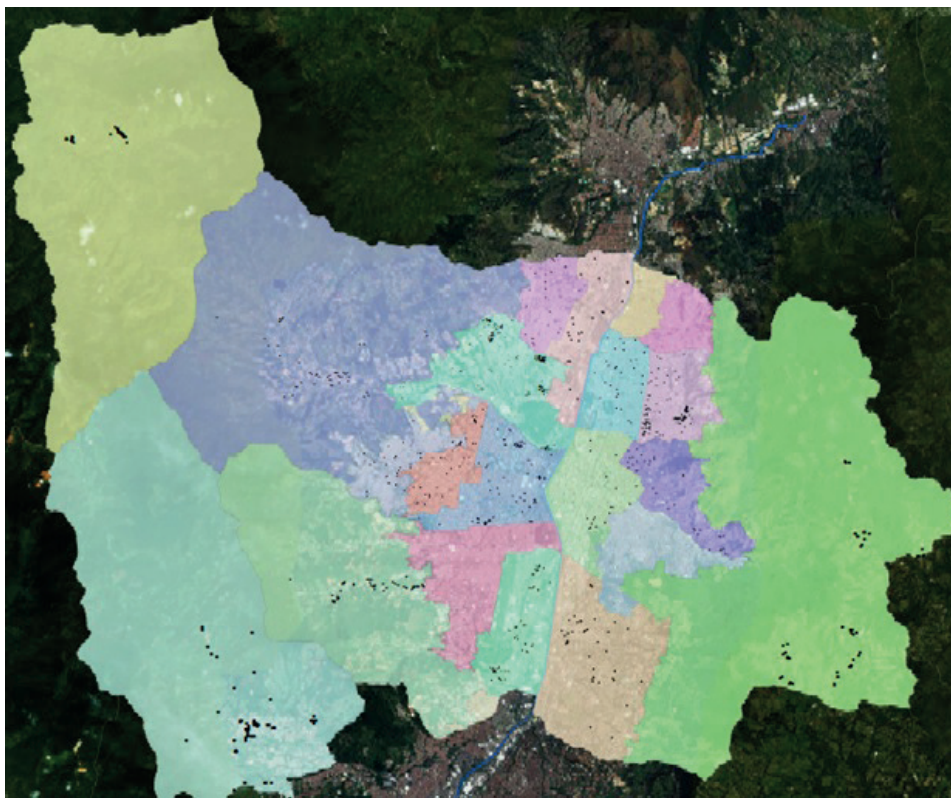
## 15.7. Simbología

Esta carpeta contiene los layers y styles utilizados en este proyecto para la elaboración de los mapas. En la siguiente Ilustración se puede apreciar el mapa de los cinco corregimientos y las 16 comunas de Medellín.





Ilustración 25. Mapa de las comunas y corregimientos de Medellín con puntos de muestras.

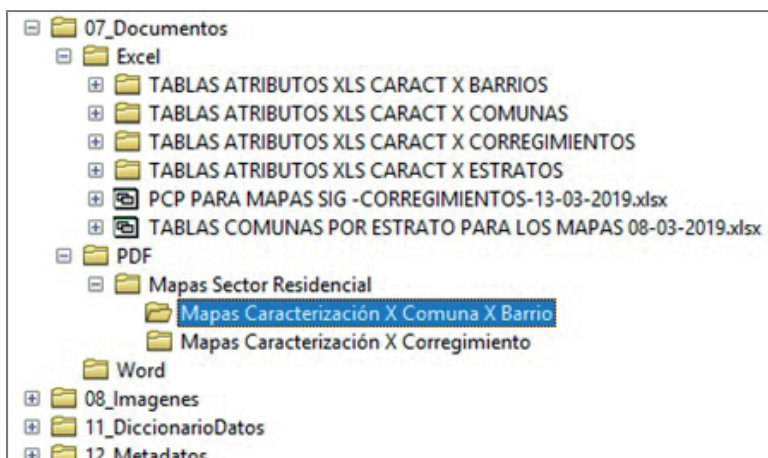


Fuente: Elaboración propia

## 15.8. Documentos

Esta carpeta contiene el informe SIG del proyecto y las siguientes subcarpetas cuyo contenido se representa en la Ilustración 26.

Ilustración 26. Estructura detallada de la Carpeta DOCUMENTOS.



Fuente: Elaboración propia





Es importante resaltar que la subcarpeta PDF contiene todos los mapas temáticos. MXD que se generaron para el proyecto, ello con la finalidad de que cada mapa pueda ser consultado en formato PDF, el cual es accesible para aquellos usuarios que no dispongan del software de ArcGIS.

### 15.9. Diccionario de datos.

Contiene el diccionario de datos de la Geodatabase en formato Excel. El diccionario de datos contiene la relación de los objetos geográficos almacenados, así como la descripción de su geometría y atributos alfanuméricos.

### 15.10. Metadatos.

Se encuentran los metadatos del total de Feature Class de la Geodatabase del actual proyecto. Estos están en formato XML.

### 15.11. Sistema de referencia.

Con fundamento en la Resolución 068 de 2005 del Instituto Geográfico Agustín Codazzi–GAC– el Municipio de Medellín adoptó como datum oficial el Marco Geocéntrico Nacional Referencia MAGNA-SIRGAS, el cual posibilita el intercambio de información georreferenciada entre los productores y los usuarios de la misma en diferentes sectores.

**Tabla 87. Parámetros geodésicos para la estructuración de la información espacial del proyecto.**

Elemento	Valor
Coordenadas proyectadas	PCS MAG Ant Medellín
Proyección	Transversa de Mercator
Falso Este	835.378
Falso Norte	1.180816
Meridiano central	-75.5649
Latitud de origen	6.2292
Unidad lineal	Metros
Coordenadas geográficas	GCS_Magna
Datum	Magna, origen Medellín





Elemento	Valor
Esferoide GES 1980 MAG_Ant_Medellin	
Semieje mayor	6379647
Semieje mayor	6358257,251

**Fuente:** Elaboración propia



**Fuente:** Tomada por personal del Consorcio Residuos Sólidos Medellín.

“ El aprovechamiento y la valorización hacen parte de los principios fundamentales para la Gestión de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU). ”





## 16. CONCLUSIONES

- La producción per cápita calculada para la ciudad de Medellín en promedio fue de 0,54 kg/hab-día, resultado de un universo de 1.036 viviendas censadas y caracterizadas en todos los estratos socioeconómicos de Medellín y comunas en que se divide éste. El resultado para la producción per cápita para todos los corregimientos fue de 0.34 kg/hab- día, de acuerdo con las 257 viviendas que se caracterizaron en los cinco corregimientos. Lo anterior implica que la producción de residuos tiende a aumentar ya que es una variable que depende directamente del número de personas que estén generando los residuos, y la población tanto en Medellín como en los corregimientos va en aumento, de ahí la importancia de tener los datos de población lo más actualizados posibles para que el cálculo arroje un dato más preciso y fiable.
- En comparación con los valores indicativos de la producción per cápita para municipios colombianos en (kg/hab-día) del nivel de complejidad alta (municipios con más de 60000 habitantes), el valor promedio es de 0,79, mucho más alto al valor calculado en este trabajo. Sin embargo, estos valores son indicativos y se recomienda que se tome sólo en el caso en que el municipio no haya realizado un estudio de caracterización de residuos sólidos.
- Comparando con el estudio de caracterización anterior, los resultados de la PPC para el caso de los corregimientos no se pueden comparar ya que la diferencia entre los usuarios encuestados con respecto a la actual es superior en datos, por lo que estadísticamente no son comparables los resultados.
- Con respecto a los resultados del estudio de caracterización del 2018 se concluye que se acercan más a la realidad, debido a que representan un número más alto de la población censada, además, se tuvieron en cuenta todas las zonas de la ciudad, así como sus comunas, brindando al estudio más confiabilidad y precisión.
- Si bien la caracterización de los residuos sólidos en los cinco corregimientos no tuvo en cuenta la estratificación socioeconómicos de estos, por ser zonas rurales, los resultados de las encuestas arrojaron que éstos si están siendo catalogados por estratos, toda vez que sus cabeceras municipales se comportan más como un barrio típico de Medellín.
- La PPC para Los estratos 1 y 2 fue de 0.52 kg/hab- día, para el estrato 3 fue de 0.50 kg/hab- día, para el estrato 4 fue de 0.50 kg/hab- día, para el estrato 5 fue de 0.50 kg/hab- día, y para el estrato 6 fue de 0.55 kg/hab- día. Comparando con los estudios anteriores, para los estratos 1, 2 y 3 se obtuvo un aumento y para los estratos 4, 5 y 6, la tendencia fue a disminuir significativamente sobre todo en el estrato 6, en donde en el año 2014, se reportó una PPC de 0.81 Kg/hab-día, posiblemente porque en esta ocasión se tuvieron en cuenta más viviendas, por ende, más número de personas, además, el análisis por estrato se realizó teniendo en cuenta la presencia de éstos en las 16 comunas de Medellín.
- La PPC tiene una tendencia a aumentar, a pesar de que viene de una disminución en el año 2014 con un valor de 0.5, esto se debe a que la población de la ciudad de Medellín va en aumento y por ende la producción de residuos también, lo anterior se corroboró con el análisis estadístico de los intervalos de confianza en donde se mostró que la población tiene un comportamiento homogéneo frente la generación de residuos.







- Se puede concluir que en todos los estratos existen viviendas con muestras atípicas, bien sea por el número de habitantes o por la cantidad de residuos que generan, este último influenciado por diferentes razones como el cambio en los hábitos de consumo, estilos de vida, educación, ambientes sociales diferentes, entre otros.
- Se concluye con un 95% de confianza que los valores de la PPC de este estudio se encuentran dentro del rango de valores, además, los PPC por estrato están alrededor de la media de cada uno de los mismos y se tiene una buena dispersión, es decir, hay homogeneidad de los datos en cada uno de los estratos.
- De una muestra de 1.036 viviendas para el estudio de caracterización de los residuos sólidos de la ciudad de Medellín, sólo hubo 16 datos atípicos, es decir, que se salían de las condiciones normales de producción de residuos en las viviendas o que tenían un número alto de personas habitando una misma vivienda, por lo que el valor de las Producción Per cápita fue más alta o más baja que la media.
- En cuanto a la densidad, el valor más alto para los corregimientos fue para San Antonio de Prado con 226,753 Kg/m<sup>3</sup> y el valor más bajo fue para San Sebastián de Palmitas con una densidad de 127,946 Kg/m<sup>3</sup>. Estos resultados están influenciados por la cantidad de residuos orgánicos que se caracterizaron en estos dos corregimientos, para San Antonio de Prado, fue más alto con respecto a los demás corregimientos, y en San Sebastián de Palmitas, la cantidad de residuos orgánico fue menor.
- En Medellín, la densidad promedio ponderada fue de 236,82 kg/m<sup>3</sup>, esta densidad se calculó teniendo en cuenta la densidad promedio de los corregimientos como otro estrato. Los valores más altos se presentaron en los estratos socioeconómicos 1 y 3 con valores de 238,95 Kg/m<sup>3</sup> y 242,3 kg/m<sup>3</sup> respectivamente, los valores más bajos fueron para los estratos 4 y 6 con 204,53 kg/m<sup>3</sup> y 181,82 kg/m<sup>3</sup> respectivamente.
- La producción promedio de residuos biodegradables en los cinco corregimientos fue de 31%, con respecto al estudio del 2014, se evidenció una disminución que puede deberse a dos razones, su uso es común como abono para sus propios cultivos, por lo tanto, no los entregan y han cambiado sus patrones de consumo de alimentos, incluyendo en su dieta alimentos procesados, lo que explica además el aumento en la producción de ordinarios e inertes y plásticos que son el tercer residuo más producido por los corregimientos con una representación entre el 9% y 16% en general.
- Con respecto a los residuos ordinarios e inertes, aumentó su producción en cuatro corregimientos con una representación entre 47,04% y el 32,62%. Santa Elena fue el único que disminuyó su producción de ordinarios pasando de 34,51% en el 2014 a 30,34% en 2018.
- La producción de residuos peligrosos también aumentó en la mayoría de los corregimientos en donde los residuos biosanitarios y cortopunzantes son los de mayor porcentaje dentro de esta categoría, esto refleja que todavía no hay una cultura de la separación y el autocuidado en las viviendas al manejar estos residuos. Además, se debe tener en cuenta otros factores como el desconocimiento frente al tema, y que en la ciudad no se ha implementado una ruta selectiva residencial para este tipo de residuos.
- En general, en los corregimientos se observó que hubo un aumento en la generación de la mayoría de los residuos sólidos caracterizados menos en la producción de





residuos biodegradables que pasaron del 48,9% al 31%, y los Ordinarios aumentaron en aproximadamente 10 unidades; posiblemente porque estos lugares no son ajenos a las tendencias consumistas que se presentan en la ciudad, además, del crecimiento poblacional que se presenta en los corregimientos es alto, como en el corregimiento de San Antonio de Prado, lo que hace que se tenga un mayor consumo de bienes y servicios que van ligados a la producción de residuos ordinarios.

- Para el caso de Medellín, se concluye que los residuos Biodegradables y putrescibles son los que predominan en la generación de residuos en todos los estratos socioeconómicos con un promedio de 40,20%, seguidos de los residuos Ordinarios e inertes con un promedio de 28,55%, y en tercer lugar los residuos Plásticos con un 11,74%. Dentro de estos porcentajes, los estratos 4, 5 y 6 son los que presentan mayor producción de residuos biodegradables y putrescibles con 43,46%, 42,15% y 45,20% respectivamente.
- En menor proporción está el estrato 3 con 34,98%. Lo anterior, se debe a los cambios en hábitos de consumo, estilos de vida, educación relacionada con el reciclaje, ambientes sociales diferentes y la influencia actual al consumo masivo de plásticos.
- La producción de residuos ordinarios e inertes estuvo en segundo lugar, donde los estratos 1 y 3 aportan la mayor parte con un 38,29% y 32,47%. El estrato 6 fue el menor generador de estos residuos con un 21,93%.
- La generación de residuos plásticos se identificó que el estrato 5 es el mayor productor con un 14,04%, seguido del estrato 4 con un 12,39%. El menor generador de residuos plásticos fue el estrato 6 con un 9,53%.
- Se concluye que en los estratos más altos (4, 5 y 6) está más arraigada cultura de la separación de residuos y su reúso o reciclaje, ya que un mayor número de viviendas muestreadas en estos estratos entregaron su reciclaje, con respecto a los estratos más bajos. Esto concuerda las cifras bajas de producción de plásticos y ordinarios en el estrato 6 y los porcentajes de material reciclado presentados anteriormente.
- En comparación con el estudio anterior, siguen siendo los estratos socioeconómicos más altos los que más separan sus residuos, un 67% de las viviendas participantes en el estrato 6, entregaron sus residuos separados, un 48% en el estrato 5 y un 44,1% en el estrato 4.
- Al realizar las caracterizaciones se puede evidenciar que la separación en la fuente de materiales reciclables como plásticos y cartón todavía no es una práctica común en la mayoría de las viviendas y que el uso de los siete tipos de plásticos es muy común y muy alto con un 11,74%, valor que viene en aumento desde los estudios anteriores.
- Todos los estratos tuvieron un alto porcentaje de plásticos comparado con los reportados en el estudio de 2014. El PET y el PEBD, son los plásticos que más se usan, los estratos 2 y 4 son los que más producen PEBD con un 5,05% y 4,95% respectivamente. El PET tiene un uso más constante en todos los estratos, El PolivinilCloruro (PVC) fue el plástico con menores porcentajes en las caracterizaciones, todos por debajo del 1%.
- Los resultados de los parámetros fisicoquímicos más relevantes como Porcentaje de Nitrógeno, Fósforo y Potasio, la densidad y el porcentaje de Humedad en todos los





estratos socioeconómicos de Medellín y en los corregimientos no son suficientes para aseverar que estos residuos se puedan usar para la producción de abonos orgánicos ni mineral orgánicos. Debido a que la NTC 5167 no permitirá el uso de los residuos sólidos urbanos si no están separados en la fuente, ya que se minimizan los riesgos de contaminación por metales pesados y microorganismos patógenos.

- El Porcentaje de Germinación de todas las muestras reportaron que este material no es apto para usos agrícola.
- La presencia de metales pesados en diversas muestras de todos los estratos socioeconómicos corrobora que la separación de materiales como los aparatos eléctricos y electrónicos no se realiza adecuadamente, lo que además de contaminar los residuos y generar peligrosidad, no permiten su aprovechamiento.
- En Medellín y sus cinco corregimientos el total de materiales reciclables o recuperables como papel, cartón, textil, metales, vidrio y plástico es 368,38 toneladas, es decir que el 27% de todos los residuos que se están disponiendo en el relleno sanitario La Pradera, podrían ser aprovechados e incorporados a los diferentes ciclos productivos de la ciudad.
- Aproximadamente 583,27 ton/día de residuos biodegradables se disponen diariamente en el relleno sanitario La Pradera, esto debe llamar la atención de los prestadores de servicio de Aseo para implementar rápidamente una ruta selectiva para recolectar los residuos orgánicos (biodegradables y putrescibles), debido a su alto potencial de aprovechamiento tanto energético mediante la producción de biogás y energía eléctrica como su aprovechamiento material para la producción de abonos orgánicos o enmiendas.
- Debido a que la mayoría de las viviendas de los estratos 4, 5 y 6 que se visitaron estaban ubicadas dentro de edificios de propiedad horizontal, se dificultó el acceso y la recolección de muestras ya que cuentan con servicio de Shut, por lo que los usuarios disponían los residuos cualquier día sin depender de la frecuencia de recolección habitual. Se debe tener en cuenta que el crecimiento habitacional de Medellín se está dando en este sentido, y que las viviendas unifamiliares son cada vez menos, por lo que la forma de abordar estas viviendas debe ser diferente, para asegurar el éxito de la recolección de las muestras en los próximos estudios de caracterización.





## 17. RECOMENDACIONES

- Para próximos estudios de caracterización de residuos sólidos en la ciudad de Medellín y sus cinco corregimientos, se debe tener un número similar de población objetivo, es decir, que la muestra del diseño metodológico tenga un número similar de viviendas, asegurar que se simulen las mismas condiciones en cuanto a las zonas intervenidas, es decir, se recomienda que en estudios posteriores se mantenga el número de las muestras por comuna y por estrato, para que los estudios estadísticamente puedan ser comparables y llegar a unas aproximaciones y estimaciones objetivas del indicador de la producción per cápita PPC, a su vez que se reduce la variabilidad en las respuestas.
- A los corregimientos se les debe realizar su respectivo análisis diferenciado de caracterización de residuos como se construyó en esta caracterización puesto que los habitantes de estas poblaciones tienen hábitos diferentes, además su población ha aumentado en los últimos años.
- Para asegurar el éxito de la recolección de las muestras, la estrategia de socialización con los estratos 4, 5 y 6 de Medellín debe ser diferente a la de los otros estratos, debido a que la mayoría de esta población se encuentra ubicada en edificios o unidades residenciales, por lo cual se recomienda que se usen varios métodos de comunicación como cartas de autorización y presentación del estudio, en donde se explique cuál es el objetivo de este, una comunicación masiva en los medios de comunicación y reuniones con los administradores de las unidades antes de comenzar para que ello tenga suficiente tiempo de socializar la información con las personas.
- La producción per cápita en la ciudad se podría estudiar de acuerdo con la comuna, es decir, a la ubicación geográfica y comparar esta PPC con la que se calcula con respecto a los estratos socioeconómicos, ya que el estudio puede ser susceptible a cambios en la producción de residuos de acuerdo con la comuna y no al estrato, tema que no se ha contemplado en este tipo de estudios de caracterización.
- Seguir con las campañas y proyectos que fomenten y afiancen conceptos como separación en la fuente y clasificación de residuos, para facilitar la separación, clasificación y posterior uso o aprovechamiento de todos estos materiales en la Ciudad.
- Que estos análisis se hagan una vez la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos se haya separado del resto, ya que es la que más potencial agrícola tiene. La otra fracción, contiene potencial energético interesante debido a su poder calorífico, sin embargo, este potencial debe ir de la mano de un estudio de prefactibilidad económica y ambiental que compare las diversas tecnologías que hay de incineración de productos para producción de energía tanto térmica como eléctrica en una ciudad como Medellín, además de estudiar las características climáticas y sociales.
- Los desarrollos y avances en el manejo de los residuos sólidos urbanos, entre estos los residuos orgánicos que son los de mayor producción, sean prioritarios para la ciudad de Medellín, dado que éstos pueden convertirse en un problema de salud pública si no se cuenta con estrategias adecuadas de aprovechamiento o disposición.





- En los próximos estudios de caracterización no se deberían medir parámetros fisicoquímicos como CIC, CIC/CO, CRA, Porcentaje de Germinación, micronutrientes (Mg, Zn, Ca, Na), ya que no reportan información relevante para la toma de decisiones en cuanto al potencial de aprovechamiento de estos. Estos parámetros en conjunto con los demás, servirán en el caso en que la fracción orgánica de los residuos sólidos Urbanos sea separada, de lo contrario, la normatividad colombiana cierra por completo la posibilidad de su uso como se ha explicado a lo largo de este informe.
- En los próximos estudios o en estudios complementarios al de caracterización de residuos, se debería tener en cuenta las emisiones de gases de efecto invernadero de cada uno de los componentes que está llegando al relleno sanitario, para poder aportar información relevante para el inventario de emisiones en dichos sitios



**Fuente:** Tomada por personal del Consorcio Residuos Sólidos Medellín.





## 18. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

**Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación- ICONTEC. (20 de 05 de 2009).** Norma Técnica Colombiana GTC 24 . Gestión Ambiental. Residuos sólidos. Guía para la separación en la fuente, Tercera actualización. Bogotá D.C.

**Acar , S., & Ayanoglu, A. (2012).** Determination of higher heating values (HHVs) of biomass fuels. Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research, 749-758.

**Alcaldía de Medellín - Medellín Como Vamos. (2016).** Medellín Como Vamos. Recuperado el 22 de 11 de 2018, de <https://www.medellincomovamos.org/vivienda-y-servicios-p-blicos-0/>

**Alcaldia de Medellín. (2018).** Informe de calidad de vida de Medellín 2017. Medellín: Pregon SAS. Obtenido de [www.medellincomovamos.org](http://www.medellincomovamos.org)

**Alcaldía de Medellín. (2018).** Informe de Calidad de Vida de Medellín 2017. Medellín: Pregon SAS.

**Alcaldía de Medellín- Secretaría de Gestión y Control Territorial. (12 de Mayo de 2018).** Aplicativo proyecciones del PGIRS 2016-2027. Medellín.

**Ali Khan, M., & Abu Ghararah, Z. (1991).** New Approach of Estimating Energy Content of Municipal Solid Waste. Journal of Environmental Engineering, 117(3). doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9372\(1991\)117:3\(376\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9372(1991)117:3(376))

**Campuzano Diosa, F, Arenas Echeverry, C., Betancur Vélez, M., & Martínez Ángel, J. (Enero de 2017).** An energetic analysis of different power generation alternatives from agro-Industrial lignocellulosic biomass. Revista Virtual Pro(180).

**Castells, X. E. (2000.).** Reciclaje de residuos industriales. (2ª edición ed.). Barcelona.

**Colombia. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio/ Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico. (2012).** Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO F Sistemas de Aseo Urbano/. (ISBN: 978-958-57464-0-4), 264 p. Bogotá, D.C, Colombia.

**Colombia. Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio/ Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico. (2012).** Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO F Sistemas de Aseo Urbano. 264. Bogotá, D.C.

**Corporación Académica Ambiental- Universidad de Antioquia. (2017).** Informe técnico de evaluación de posibles sitios para la disposición final y contingencia de residuos sólidos. DF. Medellín.

**D. Arancon, R., Sze Ki Lin, C., Chan, K., Him Kwan, T., & Luque, R. (2013).** Advances on waste valorization: new horizons for a more sustainable society. Energy Science and Engineering, 1(2), 53-71.





**Doménech, X. (1997).** Química del suelo. EL impacto de los contaminantes. . Madrid: Miraguano S. A. Ediciones.

**Empresas Varias de Medellín- Grupo EPM. (2017).** Emvarias- Grupo EPM. Recuperado el 29 de 12 de 2018, de [www.emvarias.com.co](http://www.emvarias.com.co): <http://www.emvarias.com.co/servicios/home/servicio-publico-de-aseo/ruta-recicla>

[https://ingemecanica.com/tutoriales/poder\\_calorifico.html](https://ingemecanica.com/tutoriales/poder_calorifico.html). (s.f.).

**ICONTEC. (23 de 03 de 2011).** NORMA TECNICA COLOMBIANA 5167. PRODUCTOS PARA LA INDUSTRIA AGRÍCOLA. PRODUCTOS ORGÁNICOS USADOS COMO ABONOS O FERTILIZANTES Y ENMIENDAS O ACONDICIONADORES DE SUELO. Bogotá D.C.

**Jiang, T., & Schuchardt , F. (2012).** Gaseous emission during the composting of pig feces from chinese ganqinfen system. Chemosphere.

**Kotarska, K., Świerczyńska , A., & Dziemianowicz, W. (2015).** Study on the decomposition of lignocellulosic biomass and subjecting it to alcoholic fermentation. Renewable Energy, 75, 389-394.

**KUNITOSHI, S. (1998).** Método Sencillo de Análisis de los Residuos Sólidos. . Lima: CEPISOPS.

**Kunitoshi, S. (10 de 12 de 2000).** Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. Recuperado el 19 de 10 de 2018, de <http://www.bvsde.paho.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/hdt/hdt017.html>

**Lorenzo Acosta, Y., & Obaya Abreu, M. (2005).** La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar, XXXIX(1), 35-48.

**MINISTERIO DE ENERGIA DE CHILE / PNUD / FAO / GEF. (2011).** MANUAL DE BIOGÁS. Santiago de Chile.

**Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (20 de Diciembre de 2013).** Decreto 2981. 44. Bogotá, Colombia.

**Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (26 de Mayo de 2015).** Decreto 1077. "Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio". Bogotá D.C., Colombia.

**Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (08 de Junio de 2017).** Resolución Número 0330. Bogotá D.C., Colombia.

**Parra, M. D. (2002).** Microbiología, patogénesis, epidemiología, clínica y diagnóstico de las infecciones producidas por salmonella. Revista MVZ. Recuperado el 5 de marzo de 2019, de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69370201> ISSN 0122-0268

**Pires, A., Martinho, G., & Chang, N.-B. (2011).** Solid waste management in European countries: a review of systems analysis techniques. Journal of Environmental Management, 1033-1050.





**República de Colombia. (2015).** (Decreto 1077 de 2015 ARTICULO 2.3.2.2.2.8.81. Propósitos del aprovechamiento. Tomado del Decreto 2981 de 2013, art. 82).

**S.A, I. E. (Ed.). (2014).** Inbestme.com. Recuperado el 31 de enero de 2019, de [www.inbestme.com](http://www.inbestme.com): <https://www.inbestme.com/blog/wp-content/uploads/2018/01/Screen-Shot-2018-01-08-at-10.47.21.png>

**Secretaría de Gestión y Control Territorial -Alcaldía de Medellín. (2015).** DOCUMENTO ACTUALIZACIÓN PGIRS PARA CONSULTA- PARTE 1. MEDELLÍN.

**Singh, S., & Pandey, P. (2009).** Review of recent advances in anaerobic packed-bed biogas reactors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1569-1575.

**Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. (2016).** Informe nacional de Aprovechamiento.

**SUPERINTENDENCIA DELEGADA PARA ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO Y ASEO. DIRECCIÓN TÉCNICA DE GESTIÓN DE ASEO. (2018).** EVALUACIÓN INTEGRAL DE PRESTADORES - EMPRESAS VARIAS DE MEDELLIN S.A. E.S.P. Bogotá D.C.

**Tello Espinoza, P, Martinez Arce, E., Daza , D., Faure, M., & Terraza, H. (2010).** Informe de Evaluación Regional del Manejo de Residuos Sólidos Urbanos en ALC 2010.

**Universidad de Antioquia-CAA. (2017).** Informe técnico de la evaluación de sitios y zonas urbanas, periurbanas y rurales de difícil acceso, para la gestión integral . Medellín.

**Universidad de Medellín. (2014).** INFORME FINAL - ESTUDIO DE CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN EL SECTOR RESIDENCIAL Y NO RESIDENCIAL DEL MUNICIPIO DE MEDELLÍN Y SUS CINCO CORREGIMIENTOS. Medellín.

**Universidad de Sonora. (s.f.).** Universidad de Sonora- Departamento de Matemáticas- División de Ciencias Exactas y Naturales. Obtenido de <http://www.estadistica.mat.uson.mx/Material/elmuestreo.pdf>

**www.epidemos.wordpress.com. (04 de 10 de 2012).** Obtenido de Epidemiología & estadística:<https://epidemos.wordpress.com/2012/10/04/calculo-de-ponderaciones-en-muestras-complejos-caso-simple/>

**Zaman, A., & Lehmann, S. (2011).** Urban growth and waste management optimization towards “zero waste city”. *Culture and Society*, 2(4), 177-187. doi:<http://doi.org/10.1016/j.ccs.2011.11.007>

