

**INFORME FINAL DE LA CARACTERIZACIÓN
DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL SECTOR
RESIDENCIAL DE MEDELLÍN EN EL ÁREA
URBANA Y RURAL DE LOS CINCO
CORREGIMIENTOS**



Alcaldía de Medellín
Distrito de
Ciencia, Tecnología e Innovación



Alcaldía de Medellín

Distrito de

Ciencia, Tecnología e Innovación

Esta publicación es producto del Contrato N° 4600098235 de 2023 Caracterización de los residuos en los sectores residencial y no residencial de Medellín y en el área urbana y rural de los cinco corregimientos

DIRECCIÓN
ANA PAOLA CORREA GONZALEZ
Administradora Ambiental

SUPERVISIÓN
JULIA ALEJANDRA BARRIOS BARRERA
Ingeniera Ambiental

COORDINACIÓN TÉCNICA
ANDRES FELIPE JIMENEZ VASQUEZ
Ingeniero Ambiental

SANDRA MILENA RODRÍGUEZ GARCÉS
Ingeniera Ambiental

JUAN FELIPE RIVILLAS RAMIREZ
Ingeniero Ambiental

ARLEIDY VICTORIA CHAVEZ PEREZ
Ingeniera Ambiental

GILDARDO DE JESÚS TOBÓN GÓMEZ
Ingeniero sanitario y ambiental

CLAUDIA MERCEDES GIL ZAPATA
Profesional Social

LAURA VANESSA GONZÁLEZ LONDOÑO
Profesional en Estadística

FRANCISCO DOMÍNGUEZ HERNÁNDEZ
Especialista en sistemas de información geográfica

Tabla de contenido

1	INTRODUCCION.....	26
2	OBJETIVOS	28
2.1	Objetivo General.....	28
2.2	Objetivos Específicos.....	28
2.2.1	Elaborar el diagnóstico sobre caracterizaciones realizadas en el Distrito Medellín a partir de información secundaria disponible de las entidades públicas y privadas involucradas en la gestión de residuos sólidos.	28
2.2.2	Estimar la producción per cápita de los residuos sólidos generados en el sector residencial del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín y sus cinco corregimientos.	28
2.2.3	Conocer la cantidad, de los residuos sólidos que se producen en el sector residencial por estrato socioeconómico y comuna en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín y sus cinco corregimientos.....	28
2.2.4	Conocer la composición y características físicas y químicas de los residuos sólidos generados en el sector residencial del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín y sus cinco Corregimientos.....	28
3	BOSQUEJO NORMATIVO QUE RIGE LA CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS	29
4	IDENTIFICACIÓN DE ACTORES QUE PUEDEN SUMINISTRAR INFORMACIÓN	35
5	BASES DE DATOS ANALIZADAS	36



6	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	37
7	ANÁLISIS DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN MEDELLÍN	43
8	PLAN DE COMUNICACIONES	48
8.1	Objetivo general.....	48
8.2	Objetivos específicos	48
8.3	Acciones asociadas al Sector Residencial.....	49
9	METODOLOGIA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD, COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS QUE SE PRODUCEN EN EL SECTOR RESIDENCIAL DE MEDELLÍN Y SUS CINCO CORREGIMIENTOS	53
9.1	Diseño metodológico para el muestreo.....	53
9.2	Unidad de análisis	54
9.3	Población objeto de estudio.....	54
9.4	Tamaño de la muestra	60
9.5	Distribución de la muestra	64
9.6	Recolección y pesaje de las muestras	67
9.6.1	<i>Diseño preliminar de rutas.....</i>	67
9.6.2	<i>Aplicación de encuestas.....</i>	67
9.6.3	<i>Recolección de muestras.....</i>	69
9.6.4	<i>Pesaje por vivienda.....</i>	70



9.6.5	<i>Procedimiento para el cálculo de la Producción Per Cápita (PPC)</i>	71
9.7	Aplicación del método del cuarteo	72
9.7.1	<i>Procedimiento para estimar de la composición física porcentual</i>	74
9.7.2	<i>Procedimiento para el cálculo de la densidad libre</i>	80
9.7.3	<i>Estimación de la composición fisicoquímica de los residuos sólidos</i>	83
10	RESULTADOS DE LA PRODUCCIÓN PER CÁPITA (PPC) Y CANTIDAD DE RESIDUOS GENERADOS EN EL SECTOR RESIDENCIAL DE MEDELLÍN Y SUS CINCO CORREGIMIENTOS	84
10.1	Resultados de la Producción Per Cápita (PPC) de residuos en zona urbana de Medellín.....	84
10.1.1	<i>Resultados de PPC por estrato socioeconómico</i>	84
10.1.2	<i>Resultados de PPC por comuna</i>	88
10.1.3	<i>Análisis histórico de la PPC en el área urbana</i>	91
10.1.4	<i>Proyección de la PPC en área urbana</i>	94
10.2	Resultados de la Producción Per Cápita de residuos en los corregimientos de Medellín.....	96
10.2.1	<i>Resultados PPC por corregimiento</i>	96
10.2.2	<i>Análisis histórico de la PPC en corregimientos</i>	98
10.2.3	<i>Proyección de la PPC en corregimientos</i>	99
10.3	Resultados totales de Producción Per Cápita de residuos del sector residencial de Medellín y sus cinco corregimientos	101



10.4	Análisis estadístico	103
10.4.1	<i>Análisis estadístico de la Producción Per Cápita en zona urbana por estrato socioeconómico.....</i>	103
10.4.2	<i>Análisis estadístico de la Producción Per Cápita en los corregimientos de Medellín</i>	113
10.4.3	<i>Análisis estadístico de la Producción Per Cápita en los corregimientos cabecera y zona rural dispersa</i>	121
11	RESULTADOS DE LA COMPOSICIÓN FÍSICA PORCENTUAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL SECTOR RESIDENCIAL DE MEDELLÍN Y SUS CINCO CORREGIMIENTOS.....	138
11.1	Resultados de la composición física porcentual de los residuos sólidos en zona urbana de Medellín.....	138
11.1.1	<i>Resultados de la composición física porcentual de los residuos sólidos por estrato socioeconómico</i>	138
11.1.2	<i>Resultados de la composición física porcentual de los residuos sólidos por comuna</i>	156
11.1.3	<i>Análisis histórico de la composición física porcentual de los residuos en zona urbana</i>	174
11.2	Resultados de la composición física porcentual de los residuos sólidos en los corregimientos de Medellín	179
11.2.1	<i>Resultados de la composición física porcentual de los residuos sólidos por corregimiento</i>	179
11.2.2	<i>Análisis histórico de la composición física porcentual de los residuos en los corregimientos de Medellín.....</i>	211



11.3	Resultados totales de la composición física porcentual de los residuos sólidos del sector residencial del área urbana, rural y dispersa del Distrito de Medellín....	215
12	RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD LIBRE DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL SECTOR RESIDENCIAL DE MEDELLÍN Y SUS CINCO CORREGIMIENTOS.....	223
13	RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA.....	228
13.1	Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.....	228
13.2	Valores de referencia para el análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras	232
13.3	Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la zona urbana	239
13.3.1	<i>Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el estrato 1</i>	239
13.3.2	<i>Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el estrato 2</i>	240
13.3.3	<i>Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el estrato 3</i>	242
13.3.4	<i>Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el estrato 4</i>	245
13.3.5	<i>Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el estrato 5</i>	247
13.3.6	<i>Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el estrato 6</i>	249



13.4	Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en los corregimientos.....	250
13.5	Análisis general de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del sector residencial.....	253
13.6	Resultados de poder calorífico para las muestras del sector Residencial ..	255
14	ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS, APROVECHADOS Y QUE VAN AL SISTEMA DE DISPOSICIÓN FINAL	266
14.1	Determinación de la cantidad de residuos sólidos generados por el sector residencial.....	266
14.2	Proyección de la generación de residuos sólidos	271
14.3	Cantidad de residuos potencialmente aprovechables	272
14.4	Cantidad de residuos que se incorporan al servicio público de aseo	276
14.5	Cantidad de residuos que se incorporan efectivamente al aprovechamiento, determinada mediante aforos.....	278
14.6	Cantidad de residuos que van al sistema de disposición final.....	283
14.7	Proyección de la disposición final en el relleno sanitario La Pradera	288
15	CONCLUSIONES.....	291
16	RECOMENDACIONES	295
17	BIBLIOGRAFÍA	297



Indicé de tablas

Tabla 1. Marco normativo nacional	30
Tabla 2. Marco normativo regional	34
Tabla 3. Marco normativo municipal	34
Tabla 4. Distribución político-administrativa de Medellín.....	37
Tabla 5. Estrategia visual	50
Tabla 6. Suscriptores del servicio de aseo en zona urbana de Medellín por estrato para el año 2022.....	55
Tabla 7. Suscriptores del servicio de aseo en corregimientos para el año 2022.....	56
Tabla 8. Población objeto de estudio por comuna para el año 2023	56
Tabla 9. Población objeto de estudio por corregimiento para el año 2023	58
Tabla 10. Número de suscriptores del servicio de aseo por estratos socioeconómico en la ciudad de Medellín	62
Tabla 11. Número de suscriptores del servicio de aseo para los centros poblados de los corregimientos	63
Tabla 12. Distribución de muestras por estratos socioeconómicos predominantes en cada comuna de la zona urbana de Medellín.....	64
Tabla 13. Distribución de muestras en corregimientos de Medellín	66
Tabla 14. Planilla de consolidación de los valores en peso encontrados para cada una de las tipologías de residuos a evaluar	74
Tabla 15. Formato para determinación de densidad libre de residuos sólidos.....	82

Tabla 16. Producción Per Cápita residencial por estrato socioeconómico en zona urbana de Medellín	86
Tabla 17. Producción Per Cápita (PPC) promedio en cada comuna del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín	88
Tabla 18. Datos históricos de la PPC residencial de residuos sólidos generados en la zona urbana de Medellín por estrato socioeconómico	92
Tabla 19. Datos históricos de la PPC residencial promedio de residuos sólidos generados en la zona urbana de Medellín	94
Tabla 20. Proyección de la PPC residencial promedio de residuos sólidos en la zona urbana de Medellín	95
Tabla 21. Producción Per Cápita residencial en corregimientos de Medellín	97
Tabla 22. Datos históricos de la PPC de residuos sólidos generados en corregimientos de Medellín	98
Tabla 23. Proyección de la PPC residencial promedio de residuos sólidos en corregimientos de Medellín	100
Tabla 24. PPC residencial promedio de los residuos sólidos en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín	102
Tabla 25. Indicadores de la PPC para el sector residencial	104
Tabla 26. Intervalo de confianza al 95% para la media de la PPC	106
Tabla 27. Comparación estadística de la PPC promedio para los diferentes estudios de caracterización de residuos sólidos realizados en Medellín desde 2009 hasta 2023	11
0	

Tabla 28. Análisis de varianza para la comparación de los resultados de la PPC por estrato	
3	11
Tabla 29. Indicadores de la PPC para el sector residencial - Corregimientos	114
Tabla 30. Intervalo de confianza del 95% para la media de la PPC	116
Tabla 31. Análisis de varianza para la comparación de los resultados de la PPC por estrato	
1	12
Tabla 32. Indicadores de la PPC para el sector residencial - Corregimientos	122
Tabla 33. Intervalo de confianza del 95% para la media de la PPC	124
Tabla 34. Análisis de varianza para la comparación de los resultados de la PPC por estrato	129
Tabla 35. Indicadores de la PPC para el sector residencial - Corregimientos Rural Disperso	130
Tabla 36. Intervalo de confianza al 95% para la media de la PPC	132
Tabla 37. Análisis de varianza para la comparación de los resultados de la PPC por estrato	137
Tabla 38. Compilación de la composición física porcentual de los residuos sólidos generados en el sector residencial del área urbana de Medellín por estrato socioeconómico	139
Tabla 39. Compilación de la composición física porcentual de los residuos sólidos generados en el sector residencial del área urbana de Medellín por comuna	157



Tabla 40. Datos históricos de la composición física porcentual de residuos sólidos generados en la zona urbana de Medellín	175
Tabla 41. Compilación de la composición física porcentual de los residuos sólidos generados en los centros poblados de los corregimientos de Medellín	180
Tabla 42. Compilación de la composición física porcentual de los residuos sólidos generados en la zona dispersa de los corregimientos de Medellín	189
Tabla 43. Datos históricos de la composición física porcentual de residuos sólidos generados en la zona rural de Medellín	212
Tabla 44. Composición física porcentual promedio de los residuos sólidos generados en el sector residencial del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín	216
Tabla 45. Consolidado de la composición física porcentual promedio de los residuos sólidos generados en el sector residencial del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín	222
Tabla 46. Convenciones usadas en los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos.....	232
Tabla 47. Límites máximos permisibles para metales pesados según normatividad colombiana	234
Tabla 48. Parámetros fisicoquímicos para productos agrícolas obtenidos a partir de residuos sólidos urbanos separados en la fuente	235
Tabla 49. Límites máximos permisibles para parámetros microbiológicos según normatividad colombiana en residuos sólidos urbanos separados en fuente y productos agrícolas a partir de estos.....	237
Tabla 50. Porcentajes para macro contaminantes en muestras según NTC 5167....	238



Tabla 51. Resultados de Parámetros Fisicoquímicos en Muestras del Estrato 1	239
Tabla 52. Resultados de Parámetros Microbiológicos en Muestras del Estrato 1	239
Tabla 53. Resultados de Parámetros Fisicoquímicos en Muestras del Estrato 2	240
Tabla 54. Resultados de Parámetros Microbiológicos en Muestras del Estrato 2	241
Tabla 55. Resultados de Parámetros Fisicoquímicos en Muestras del Estrato 3	243
Tabla 56. Resultados de Parámetros Microbiológicos en Muestras del Estrato 3	243
Tabla 57. Resultados de Parámetros Fisicoquímicos en Muestras del Estrato 4	245
Tabla 58. Resultados de Parámetros Microbiológicos en Muestras del Estrato 4	246
Tabla 59. Resultados de Parámetros Fisicoquímicos en Muestras del Estrato 5	247
Tabla 60. Resultados de Parámetros Microbiológicos en Muestras del Estrato 5	248
Tabla 61. Resultados de Parámetros Fisicoquímicos en Muestras del Estrato 6	249
Tabla 62. Resultados de Parámetros Microbiológicos en Muestras del Estrato 6	249
Tabla 63. Resultados de Parámetros Fisicoquímicos de Muestras Tomadas en los Corregimientos	250
Tabla 64. Resultados de Parámetros Microbiológicos de Muestras Tomadas en los Corregimientos	251
Tabla 65. Rangos para la aplicación de procesos de incineración.....	260
Tabla 66. Resultados promedio de poder calorífico por método práctico y porcentaje de Humedad.....	261
Tabla 67. Componentes porcentuales tenidos en cuenta para el cálculo de poder calorífico por métodos analíticos.....	262



Tabla 68. Resultados del poder calorífico por subsector mediante método analítico de (KUNITOSHI S. G., 1998).....	262
Tabla 69. Resultados de poder calorífico promedio para el sector residencial por métodos analíticos.....	263
Tabla 70. Cantidad de residuos generados por estrato socioeconómico en zona urbana de Medellín.....	266
Tabla 71. Cantidad de residuos generados por comuna en zona urbana de Medellín.....	268
Tabla 72. Cantidad de residuos generados por corregimiento de Medellín.....	269
Tabla 73. Cantidad total de residuos generados por zona de Medellín.....	271
Tabla 74. Proyección de la generación de residuos en zona urbana de Medellín.....	271
Tabla 75. Proyección de la generación de residuos en corregimientos de Medellín.....	272
Tabla 76. Cantidad total de residuos aprovechables generados en zona urbana de Medellín.....	273
Tabla 77. Cantidad total de residuos aprovechables generados en zona rural de Medellín.....	274
Tabla 78. Cantidad total de residuos aprovechables generados en Medellín.....	275
Tabla 79. Cantidad de residuos que se incorporan al servicio público de aseo en zona urbana de Medellín.....	277
Tabla 80. Cantidad de residuos que se incorporan al servicio público de aseo en corregimientos de Medellín.....	277
Tabla 81. Peso de las muestras entregadas con separación en la fuente en el sector residencial de la zona urbana de Medellín.....	278



Tabla 82. Porcentaje en peso de las muestras entregadas con separación en la fuente en el sector residencial de los corregimientos de Medellín	279
Tabla 83. Estimación del peso total de los residuos separados en fuente en el sector residencial de la zona urbana de Medellín	280
Tabla 84. Estimación del peso total de los residuos separados en fuente en el sector residencial de corregimientos de Medellín	280
Tabla 85. Peso total de los residuos separados en fuente en el sector residencial Medellín, según estudio	281
Tabla 86. Peso total de los residuos aprovechados	281
Tabla 87. Cantidad de residuos que van a disposición final	285
Tabla 88. Participación del sector residencial en la cantidad total de residuos dispuestos en relleno sanitario	285
Tabla 89. Datos históricos de la composición física porcentual de residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario La Pradera	286

Índice de gráficas

Gráfica 1. Población por comuna en zona urbana de Medellín	59
Gráfica 2. Población por Corregimiento en zona rural de Medellín	60
Gráfica 3. Comparativo de la PPC residencial de residuos sólidos generados en la zona urbana de Medellín por estrato socioeconómico	87



Gráfica 4. Producción Per Cápita (PPC) promedio en cada comuna del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín	90
Gráfica 5. Comparativo de los datos históricos de la PPC residencial de residuos sólidos generados en la zona urbana de Medellín por estrato socioeconómico.....	93
Gráfica 6. Comparativo de los datos históricos de la PPC residencial promedio de residuos sólidos generados en la zona urbana de Medellín.....	94
Gráfica 7. Proyección de la PPC residencial promedio de residuos sólidos en la zona urbana de Medellín	96
Gráfica 8. Comparativo de la PPC residencial de residuos sólidos generados en corregimientos de Medellín por zona	98
Gráfica 9. Comparativo de los datos históricos de la PPC de residuos sólidos generados en corregimientos de Medellín.....	99
Gráfica 10. Proyección de la PPC residencial promedio de residuos sólidos en corregimientos de Medellín.....	101
Gráfica 11. Histograma de frecuencia de las PPC.....	105
Gráfica 12. Dispersión de los datos de la PPC del estrato 1.....	107
Gráfica 13. Dispersión de los datos de la PPC del estrato 2.....	107
Gráfica 14. Dispersión de los datos de la PPC del estrato 3.....	108
Gráfica 15. Dispersión de los datos de la PPC del estrato 4.....	108
Gráfica 16. Dispersión de los datos de la PPC del estrato 5.....	109
Gráfica 17. Distribución de los datos de la PPC estrato 6, para cuatro unidades residenciales	109



Gráfica 18. Correlación entre las variables Peso y PPC	112
Gráfica 19. Histograma de frecuencia de las PPC en corregimientos	115
Gráfica 20.. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 50 San Sebastián de Palmitas.....	117
Gráfica 21. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 60 San Cristóbal	117
Gráfica 22. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 70 Altavista	118
Gráfica 23.. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 80 San Antonio de Prado	118
Gráfica 24. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 90 Santa Elena	119
Gráfica 25. Correlación entre las variables Peso y PPC	120
Gráfica 26.. Histograma de frecuencia de las PPC	123
Gráfica 27. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 50 San Sebastián de Palmitas.....	125
Gráfica 28. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 60 San Cristóbal	125
Gráfica 29.. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 70 Altavista	126
Gráfica 30. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 80 San Antonio de Prado	126
Gráfica 31. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 90 Santa Elena	127
Gráfica 32. Correlación entre las variables Peso y PPC	128
Gráfica 33. Histograma de frecuencia de las PPC	131



Gráfica 34. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 50 San Sebastián de Palmitas.....	133
Gráfica 35. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 60 San Cristóbal	133
Gráfica 36. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 70 Altavista	134
Gráfica 37. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 80 San Antonio de Prado	134
Gráfica 38. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 90 Santa Elena	135
Gráfica 39. Correlación entre las variables Peso y PPC	136
Gráfica 40. Composición física porcentual de los residuos sólidos generados en el sector residencial de Medellín	146
Gráfica 41. Comparativo de los resultados de la composición de residuos por estratos socioeconómicos	147
Gráfica 42. Porcentaje de residuos orgánicos presentes en los residuos sólidos generados por estrato socioeconómico	148
Gráfica 43. Composición de residuos orgánicos presentes en los residuos sólidos generados por estrato socioeconómico	149
Gráfica 44. Porcentaje de residuos reciclables presentes en los residuos sólidos generados en zona urbana	150
Gráfica 45. Composición de residuos reciclables presentes en los residuos sólidos generados por estrato socioeconómico	151
Gráfica 46. Participación de los diferentes plásticos presentes en los residuos sólidos generados en zona urbana	151



Gráfica 47. Porcentajes de residuos plásticos generados por estrato socioeconómico en el Sector Residencial de Medellín.....	152
Gráfica 48. Porcentaje de residuos no aprovechables presentes en los residuos sólidos generados por estrato socioeconómico	154
Gráfica 49. Composición de residuos no aprovechables presentes en los residuos sólidos generados en el sector residencial por estrato socioeconómico	155
Gráfica 50. Composición de la categoría “otros residuos” en los residuos sólidos generados por el sector residencial por estrato socioeconómico.....	156
Gráfica 51. Composición física porcentual de los residuos sólidos generados en el sector residencial del área urbana de Medellín por comuna.....	174
Gráfica 52. Comparativo de los datos históricos de la composición física porcentual de residuos sólidos generados en la zona urbana de Medellín.....	176
Gráfica 53. Comparativo en las tendencias de cambio en el peso porcentual de las fracciones de residuos orgánicos y residuos no aprovechables en Medellín	177
Gráfica 54. Comparativo en las tendencias de cambio en el peso porcentual de las fracciones de residuos reciclables, especiales y peligrosos en el sector urbano de Medellín.....	178
Gráfica 55. Comparativo en las tendencias de cambio en el peso porcentual de las fracciones de residuos reciclables, en el sector rural de Medellín.....	179
Gráfica 56. Resultados de la composición física de los residuos en centros poblados de los corregimientos de Medellín	198
Gráfica 57. Resultados de la composición física de los residuos en zona dispersa de los corregimientos de Medellín.....	199



Gráfica 58. Comparativo de los resultados de la composición física de los residuos en los centros poblados de los cinco corregimientos de Medellín	199
Gráfica 59. Comparativo de los resultados de la composición física de los residuos en zona dispersa de los cinco corregimientos de Medellín	200
Gráfica 60. Comparativo de la fracción de residuos orgánicos entre centros poblados y zona dispersa de los corregimientos.....	202
Gráfica 61. Porcentajes de residuos orgánicos en centros poblados de los corregimientos de Medellín.....	203
Gráfica 62. Porcentajes de residuos orgánicos en zona dispersa de los corregimientos de Medellín	203
Gráfica 63. Comparativo de residuos reciclables generados en corregimientos	204
Gráfica 64. Composición de residuos reciclables presentes en los residuos sólidos generados en centros poblados por corregimiento	205
Gráfica 65. Composición de residuos reciclables presentes en los residuos sólidos generados en zona dispersa por corregimiento	205
Gráfica 66. Participación de los diferentes plásticos presentes en los residuos sólidos generados en centros poblados por corregimiento	206
Gráfica 67. Participación de los diferentes plásticos presentes en los residuos sólidos generados en zona dispersa por corregimiento	207
Gráfica 68. Comparativo de residuos no aprovechables generados en corregimientos	208
Gráfica 69. Composición de residuos no aprovechables presentes en los residuos sólidos generados en centros poblados por corregimiento	209



Gráfica 70. Composición de residuos no aprovechables presentes en los residuos sólidos generados en zona dispersa por corregimiento	209
Gráfica 71. Composición de “otros residuos” presentes en los residuos sólidos generados en centros poblados por corregimiento	210
Gráfica 72. Composición de “otros residuos” presentes en los residuos sólidos generados en zonas dispersas por corregimiento	211
Gráfica 73. Comparativo de los datos históricos de la composición física porcentual de residuos sólidos generados en la zona rural de Medellín.....	213
Gráfica 74. Comparativo histórico de la composición porcentual de las fracciones de residuos orgánicos y no aprovechables en el sector rural de Medellín	214
Gráfica 75. Comparativo histórico de la composición porcentual de las fracciones de residuos reciclables en el sector rural de Medellín.....	215
Gráfica 76. Composición física porcentual promedio de los residuos sólidos generados en el sector residencial del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín	221
Gráfica 77. Comparativo en la generación de residuos en zona urbana, centros poblados y zona dispersa de Medellín	222
Gráfica 78. Resultados de la densidad libre de los residuos sólidos del sector residencial en zona urbana, centros poblados y zona dispersa de Medellín	224
Gráfica 79. Resultados de la densidad libre de los residuos sólidos del sector residencial en zona urbana de Medellín por estrato.....	226
Gráfica 80. Resultados de la densidad libre de los residuos sólidos del sector residencial en corregimientos de Medellín	227



Gráfica 81. Cantidad de residuos generados por estrato socioeconómico en zona urbana de Medellín	267
Gráfica 82. Cantidad de residuos residenciales generados por comuna de Medellín	269
Gráfica 83. Cantidad de residuos residenciales generados por corregimiento de Medellín	270
Gráfica 84. Potencial de aprovechamiento en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín	276
Gráfica 85. Encuesta sobre la realización de separación en la fuente en zona urbana	282
Gráfica 86. Encuesta sobre la realización de separación en la fuente en zona rural	283
Gráfica 87. Cantidades de residuos sólidos llevados a disposición final	284
Gráfica 88. Comparativo de los datos históricos de la composición física porcentual de residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario La Pradera	287
Gráfica 89. Comparativo histórico de las fracciones porcentuales de residuos sólidos aprovechables dispuestos en el relleno sanitario La Pradera	288



Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Método del cuarteo	73
Ilustración 2. Generación per cápita de residuos en el mundo (2018)	103



Listado de Anexos

Anexo 1: Análisis de encuestas aplicadas en el sector residencial de Medellín

Anexo 2: Informe de procedimiento SIG

1 INTRODUCCION

La caracterización de residuos sólidos, de acuerdo con el Título F (Sistemas de Aseo Urbano) del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS, 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”.

En este caso, la caracterización de los residuos sólidos generados por los sectores residencial y no residencial del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín, se efectúa, empleando los métodos definidos por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2018), análisis estadísticos para el diseño metodológico del muestreo y la interpretación de resultados, además de aquellos métodos establecidos por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), teniendo como resultado la obtención de la Producción Per Cápita (PPC) de los residuos, su composición física porcentual, densidad y la caracterización físico química y microbiológica.

Los resultados de la caracterización de residuos sólidos proporcionan la actualización de la información sobre cantidades y características de los residuos sólidos generados, brindan elementos de planeación para optimizar la prestación del servicio público de aseo a corto, mediano y largo plazo y permiten obtener información veraz y actualizada para la toma de decisiones en torno a las acciones de manejo y gestión de los residuos sólidos, tales como tecnologías, sistemas de recolección, transporte, aprovechamiento, tratamiento y disposición final de los mismos.

El presente informe describe la metodología y procesos llevados a cabo, así como los resultados obtenidos y el análisis de las características cualitativas y cuantitativas de los residuos sólidos en el sector residencial del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín.

Teniendo en cuenta las diferencias esperadas en cuanto a la generación de los residuos sólidos en los sectores urbano y rural, esta caracterización, se realiza de manera diferenciada para sus comunas y corregimientos, entendiéndose entonces que el sector urbano se refiere a las 16 comunas de Medellín y el análisis del sector rural corresponde a los centros poblados y zona dispersa de los 5 corregimientos del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín.

El análisis por estrato socioeconómico solamente se presenta para las 16 comunas de Medellín, mientras que los corregimientos se interpretan para sus centros poblados y



sus zonas rural dispersas. Lo anterior, pues no se presenta representatividad de todos los estratos en los corregimientos de Medellín.



2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Caracterizar los residuos sólidos generados en el sector residencial del área urbana y rural del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín y sus cinco corregimientos.

2.2 Objetivos Específicos

- 2.2.1 Elaborar el diagnóstico sobre caracterizaciones realizadas en el Distrito Medellín a partir de información secundaria disponible de las entidades públicas y privadas involucradas en la gestión de residuos sólidos.
- 2.2.2 Estimar la producción per cápita de los residuos sólidos generados en el sector residencial del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín y sus cinco corregimientos.
- 2.2.3 Conocer la cantidad, de los residuos sólidos que se producen en el sector residencial por estrato socioeconómico y comuna en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín y sus cinco corregimientos.
- 2.2.4 Conocer la composición y características físicas y químicas de los residuos sólidos generados en el sector residencial del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín y sus cinco Corregimientos.



3 BOSQUEJO NORMATIVO QUE RIGE LA CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

Los problemas ambientales asociados a la gestión inadecuada de residuos sólidos y la tendencia al incremento en la generación de los mismos han requerido la formulación de un marco normativo tendiente a reglamentar su gestión con énfasis en la promoción de estrategias de prevención de la generación, separación en la fuente, aprovechamiento, tratamiento y en general, buenas prácticas de gestión.

Respecto a los avances en la gestión integral de residuos sólidos, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible formuló la Política Nacional de Producción y Consumo Sostenible en el año 2010. Adicionalmente, ha expedido una regulación que se enfoca en la prevención de la generación de residuos sólidos particulares.

La Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos (CONPES 3874), se compone de cuatro ejes estratégicos relacionados con la prevención de la generación de residuos sólidos, la minimización de los residuos que van a los sitios de disposición final; la promoción de la reutilización, el aprovechamiento y tratamiento de los residuos; así como evitar la generación de gases de efecto invernadero (Departamento Nacional de Planeación; Consejo Nacional de Política Económica y Social, 2016).

El Decreto 1077 de 2015 “Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio”, establece 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 (PGRIS) en el ámbito local y regional según el caso (Artículo 2.3.2.2.3.87). Dicho Decreto también establece en su Artículo 2.3.2.2.3.91, que, para considerar la viabilidad de un proyecto de aprovechamiento, se “deberá realizar la cuantificación y caracterización de los residuos para determinar el potencial de aprovechamiento, de acuerdo con sus propiedades y condiciones de mercado”.

De este modo, el conocimiento de las cantidades y características fisicoquímicas de los residuos sólidos hace posible la estructuración de programas, proyectos y metas ajustados al potencial de generación de éstos, además de lo cual se posibilita el diseño y dimensionamiento de infraestructuras y equipos para la prestación del servicio público de aseo.

La normativa que reglamenta la gestión de los residuos sólidos en Colombia se expide por diferentes organismos como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible; el 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 el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, por lo que a continuación se presenta en orden cronológico, un compendio del marco normativo que rige la gestión de residuos sólidos y su caracterización.

Tabla 1. Marco normativo nacional

Norma	Descripción
Ley 142 de 1994	Por la cual se establece el régimen de servicios públicos domiciliarios
Documento CONPES 3530 de 2008	Establece los lineamientos y estrategias para fortalecer el servicio público de aseo en el marco de la gestión integral de residuos sólidos
Decreto 2981 de 2013	Por el cual se reglamenta la prestación del servicio público de aseo
Resolución 754 de 2014	Por la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos, PGIRS.
Decreto 351 de 2014	Por el cual se reglamenta la gestión integral de los residuos generados en la atención en salud y otras actividades.
Decreto 1076 de 2015	Por medio de la cual se expide el decreto único reglamentario del sector ambiental y desarrollo sostenible.
Decreto 1077 de 2015	Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio
Decreto 596 de 2016	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.
Resolución 276 de 2016	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.
Documento CONPES 3874 de 2016	Política Nacional Para La Gestión Integral de Residuos Sólidos
Resolución 0330 de 2017	“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”.
Decreto 1784 de 2017	Mediante el cual se reglamentan las condiciones para realizar actividades de disposición final y tratamiento de residuos sólidos en la prestación del servicio público de aseo. El objetivo del decreto es promover y facilitar la planificación, construcción y operación de rellenos sanitarios en el país y los procesos para el tratamiento de residuos sólidos
Resolución 472 de 2017	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.
Decreto 284 de 2018	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”
Resolución 1397 de 2018	Por la cual se adiciona a la resolución 668 de 2016 sobre el uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones.



Resolución 1407 de 2018	Por la cual se reglamenta la gestión ambiental de los residuos de envases y empaques y se toman otras determinaciones.
Resolución 1397 de 2018	Por la cual se adiciona a la Resolución 668 de 2016 sobre el uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones
Resolución 2184 de 2019	Por la cual se modifica la Resolución 668 de 2016 sobre uso racional de bolsas plásticas y se adoptan otras disposiciones. En el artículo 4 se establece el código de colores para la separación de residuos sólidos en la fuente.
Resolución 938 de 2019.	Por lo cual se reglamenta lo relativo a las actividades complementarias de tratamiento y disposición final en el servicio público de aseo
Resolución 176 de 2020.	Por la cual se reglamenta el capítulo 7 del título 2 de la parte 3 del libro 2 del Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio, Decreto 1077 del 26 de mayo de 2015, en lo relacionado con los criterios de elegibilidad y demás aspectos de los proyectos que pretendan acceder a los recursos del Incentivo al Aprovechamiento y Tratamiento de Residuos Sólidos.
Resolución 1342 de 2020	Por la cual se modifica la Resolución 1407 de 2018 y se toman otras consideraciones. Introdujo una modificación al marco normativo aplicable a la gestión ambiental de envases y empaques. Los cambios se relacionan con: el ámbito de aplicación de la norma; las fechas límite para la presentación de planes e informes de avance; la metodología para evaluar el cumplimiento; la certificación de eficiencia y retorno y las obligaciones del consumidor final.



Resolución 1344 de 2020	Por la cual se adiciona un párrafo al artículo 4 de la Resolución 2184 de 2019 y se dictan otras disposiciones. Esta norma extendió el plazo para implementar el código de colores para la presentación de residuos sólidos no peligrosos en bolsas u otros recipientes, hasta el 1 de julio de 2022, para las actividades de qué trata el artículo 2.8.10.2 del Decreto 780 de 2016.
Resolución 1257 de 2021.	Por la cual se modifica la Resolución 472 de 2017 sobre la gestión integral de RCD
Decreto 802 de 2022.	Por el cual se modifica el Decreto 1077 del 26 de mayo de 2015 en lo referente al incentivo al aprovechamiento de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.
Resolución 547 de 2022.	Por la cual se reglamenta lo relacionado con los criterios de elegibilidad y demás aspectos de los proyectos que pretendan acceder a los recursos del incentivo al aprovechamiento y tratamiento de residuos sólidos

Fuente: Elaboración propia



Tabla 2. Marco normativo regional

Norma	Descripción
Ordenanza 10 de 2016	Por el cual se institucionaliza el programa “Basura Cero” en el departamento de Antioquia
Resolución Metropolitana 879 de 2007	Por la cual se adopta el Manual para el Manejo Integral de Residuos en el Valle de Aburrá
Acuerdo Metropolitano 23 de 2018	Por el cual se adoptó la actualización del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Regional del Valle de Aburrá (PGIRS - Regional),
Acuerdo Metropolitano 24 de 2018	Por el cual se adopta el plan de gestión integral de residuos o desechos peligrosos en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, como instrumento de autogestión y autorregulación

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3. Marco normativo municipal

Norma	Descripción
Decreto 0440 de 2009	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.
Decreto 1131 de 2021	Mediante el cual se adopta la actualización del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos - PGIRS - del Municipio de Medellín

Fuente: Elaboración propia

4 IDENTIFICACIÓN DE ACTORES QUE PUEDEN SUMINISTRAR INFORMACIÓN

En el proceso de caracterización de los residuos sólidos generados el sector residencial de Medellín, se consideraron los siguientes actores relevantes para el suministro de información o para su participación en el estudio de caracterización de residuos sólidos.

- Ciudadanía que reside en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín, quienes proporcionarán las muestras de residuos y la información necesaria para el estudio de caracterización.
- Emvarias SA ESP: participación mediante el suministro de información sobre horarios, frecuencias y prestación del servicio público de aseo en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín.
- Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín (Secretaría de Medio Ambiente, Secretaría de Gestión y Control Territorial).
- Universidad de Medellín, Universidad de Antioquia y otras instituciones educativas que desarrollen estudios o investigaciones asociadas con la caracterización de residuos en Medellín.

5 BASES DE DATOS ANALIZADAS

Para la estructuración del diagnóstico sobre caracterizaciones realizadas en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín, se utilizó información secundaria de fuentes oficiales como el documento de actualización del PGIRS de Medellín, Informe de sostenibilidad de Emvarias SA ESP 2022, Reportes del SUI, el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (Título F - Sistemas de Aseo Urbano) y la Norma Técnica Colombiana 5167 de 2011.

A continuación, se enuncian algunos de los principales documentos e información revisada para la estructuración del presente informe:

- Estudio de caracterización de residuos sólidos realizado por la Universidad de Medellín en el año 2014 para los sectores residencial y no residencial.
- Estudio de caracterización de residuos sólidos realizado por el Consorcio Residuos Sólidos Medellín en el año 2018.

La información anteriormente mencionada hizo posible la estructuración del diagnóstico sobre caracterizaciones realizadas en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín, el diseño metodológico para el muestreo del estudio de caracterización de residuos sólidos, la selección del método para el cálculo de la PPC y la caracterización fisicoquímica de los residuos muestreados, cuyos resultados se presentan en el presente informe.

6 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

La información secundaria recopilada se clasificó según el tipo de suscriptor a caracterizar en los sectores residencial y no residencial, según el caso.

Además de lo anterior, se realizó clasificación de la información, teniendo en cuenta la división político administrativo de Medellín y sus cinco corregimientos, de manera que se pudiera hacer un reconocimiento de cada zona, sus barrios, y algunos aspectos importantes que servirían para realizar un diagnóstico más acertado de la ciudad en cuanto a la generación, transporte, recolección y aprovechamiento de los residuos, de manera que se pudiera fundamentar la planeación del proceso de caracterización.

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, como se muestra en la

Tabla 4.

Tabla 4. Distribución político-administrativa de Medellín

Comuna	Barrios
1 - Popular	Santo Domingo Sabio Nº 1, Santo Domingo Sabio Nº 2, Popular, Granizal, Moscú Nº 2, Villa Guadalupe, San Pablo, Aldea Pablo VI, La Esperanza Nº 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 Nº 1, Santa Cruz, La Rosa.
3 - Manrique	La Salle, Las Granjas, Campo Valdés Nº 2, Santa Inés, El Raizal, El Pomar, Manrique, Central Nº 2, Manrique Oriental, Versalles Nº 1, Versalles Nº 2, La Cruz, Oriente, María Cano - Carambolas, San José La Cima Nº 1, San José La Cima Nº 2
4 - Aranjuez	Berlín, San Isidro, Palermo, Bermejál - Los Álamos, Moravia, Sevilla, San Pedro, Manrique Central Nº 1, Campo Valdés Nº 1, Las Esmeraldas, La Piñuela, Aranjuez, Brasilia, Miranda.

Comuna	Barrios
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.

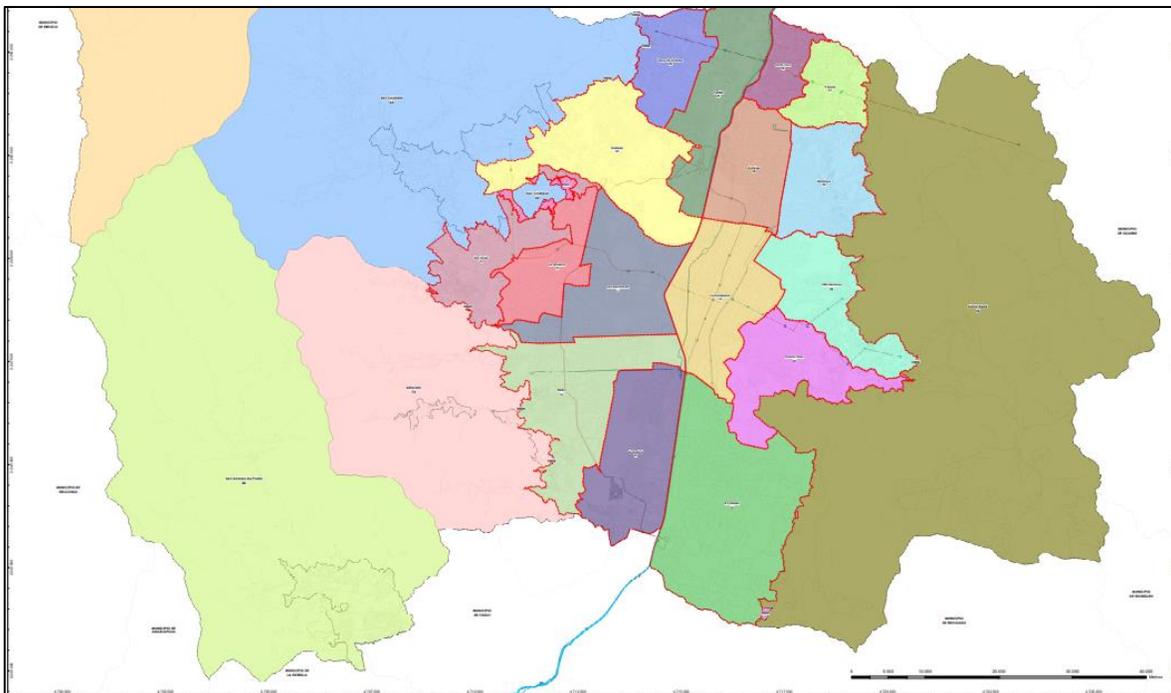


Comuna	Barrios
11 - Laureles -	Estadio: Carlos E. Restrepo, Suramericana, Naranjal, San Joaquín, Los Conquistadores, Bolivariana, Laureles, Las Acacias, La Castellana, Lorena, El Velódromo, Estadio, Los Colores, Cuarta Brigada, Florida Nueva.
12 - La América	Ferrini, Calasanz, Los Pinos, La América, 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 Quiebra, 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: Contrato Nro. 4600077223 de 2018 - Tomado de (Informe de calidad de vida de Medellín 2017, 2018)



Mapa 1. Zona de estudio divida según las comunas de Medellín



Para la gestión de la información y para la planeación del estudio de caracterización de residuos sólidos en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín y sus Corregimientos, también fue de suma importancia la utilización de horarios, frecuencias y zonas de prestación del servicio público de aseo definidas por Emvarias SA ESP, que desde el punto de vista operacional establece 7 grandes 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).

Históricamente el sector residencial de Medellín ha sido atendido por Emvarias SA ESP mediante dos días de recolección de residuos no aprovechables por semana. Sin



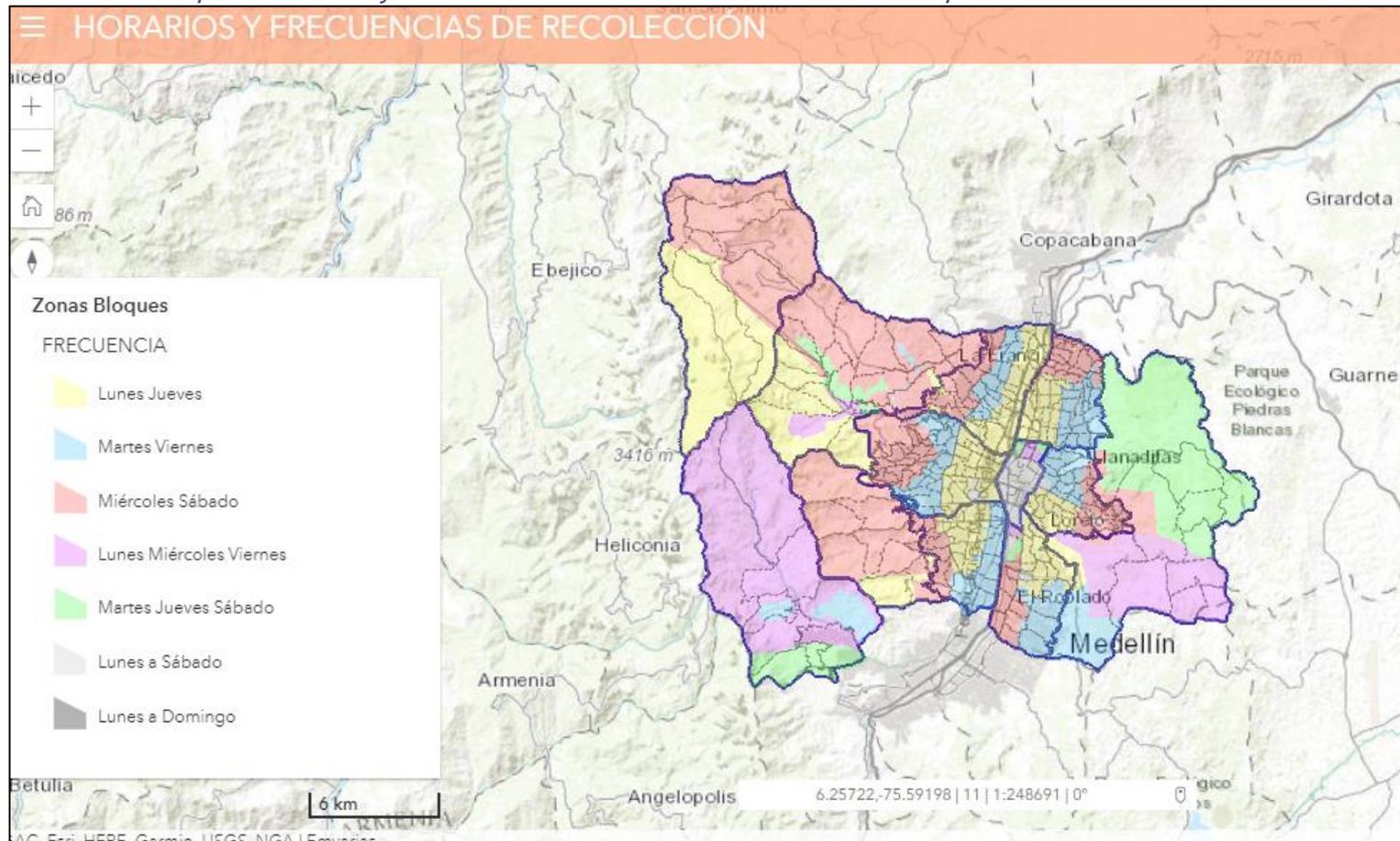
embargo, a partir de diciembre de 2022, el prestador del servicio público de aseo inició un plan piloto para la implementación de una tercera frecuencia de recolección de residuos en los corregimientos de Medellín.

Como se muestra en el siguiente mapa, este ejercicio piloto, al igual que los demás cambios que se implementarían en las frecuencias y horarios del servicio público de aseo, fueron considerados por el proyecto, para el ejercicio logístico de recolección de muestras que serían objeto de caracterización.





Mapa 2. Horarios y frecuencias de recolección de residuos no aprovechables en Medellín



Fuente: (Emvarias SA ESP, 2023)

7 ANALISIS DE LOS FACTORES QUE INFLUYEN EN LA GENERACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS EN MEDELLÍN

A nivel mundial se conoce la problemática de residuos sólido generada por las altas cantidades e incremento permanente en la generación de estos. Según el informe del Banco Mundial titulado “What a Waste” del año 2018, se proyecta que la rápida urbanización, el crecimiento de la población y el desarrollo económico harán que la cantidad de desechos a nivel mundial aumente 70% en los próximos 30 años y llegue a un volumen asombroso de 3.400 millones de toneladas de desechos generados anualmente. Se requiere tomar medidas para abordar la gestión de los residuos al momento de planificar ciudades y comunidades sostenibles, sanas e inclusivas.

Esta problemática mundial también se refleja a nivel local, específicamente para Medellín frente a los cambios en cantidades y composición de los residuos generados en los últimos años, se encontró que los valores del coeficiente de Producción Per Cápita (PPC) en Medellín se han incrementado con el paso de los años, pasando de valores de PPC = 0,39 Kg/habitante*día en el año 2006, hasta 0,54 Kg/habitante*día en el año 2018, lo que quiere decir que la generación diaria por persona aumentó en este periodo de tiempo.

Adicionalmente, según el análisis realizado para los años anteriores, se encuentra que la cantidad de residuos que llegan a disposición final presenta un incremento superior al incremento de la PPC residencial; entendiéndose entonces que si bien el aumento de residuos en relleno sanitario se debe en parte al aumento de la PPC residencial que ha venido creciendo con el tiempo, en mayor medida se debe al aumento de población en la ciudad, aumento de la población flotante (turismo), migración, desarrollo industrial, limpieza urbana, entre otras.

A continuación, se hace una descripción de estos factores en relación con su incidencia en la generación de residuos de Medellín.

- **Dinámicas de consumo de la población:** Si bien Medellín está comprometida con fomentar hábitos sostenibles, aun no se percibe en el grueso de la población una disminución importante en la cantidad de residuos reflejo de hábitos que eviten el consumo de bienes y productos innecesarios; en este sentido llama la atención que pese al incremento en las cantidades de residuos aprovechados aún se evidencie un aumento en el porcentaje de plásticos en el relleno sanitario La Pradera, lo que evidencia su alto uso y que aún no se tienen muchos resultados frente a las políticas de disminución y aprovechamiento de éstos.

Adicionalmente, los hábitos de consumo de la población también se ven reflejados en un mayor consumo y una mayor generación de residuos sólidos en determinadas épocas del año. En las festividades navideñas aumenta claramente la generación de residuos sólidos debido a los ingresos adicionales de primas y vacaciones que tienen las personas que laboran. Igualmente, se puede apreciar que, en el mes de enero, mitad de año y en las épocas vacacionales; la generación de residuos disminuye debido a la salida de los habitantes hacia otros lugares.

Dado que el factor de hábitos de consumo afecta directamente la generación de los residuos sólidos es evidente que el tema educativo y cultural es preponderante para prevenir su generación, posibilitar prácticas de separación en la fuente y facilitar todas aquellas estrategias adecuadas durante las etapas de la gestión de los residuos sólidos en el contexto del aprovechamiento, tratamiento y la disposición final.

- **Capacidad adquisitiva:** De acuerdo con el Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), los valores de PPC se correlacionan con el nivel de complejidad del sistema de aseo urbano, y éste a su vez, se define a partir de la población de la zona urbana del municipio y el estimativo de la capacidad económica de la población usuaria del servicio; por ende, una capacidad adquisitiva más alta, puede corresponderse como una causa del aumento de los residuos en el Distrito de Medellín.

Según el RAS, la capacidad económica se puede determinar a partir de la estratificación de cada municipio. Es importante señalar que la estratificación socioeconómica hace énfasis en variables monetarias y permite agrupar la población de acuerdo con los ingresos per cápita.

La relación entre la clasificación social y la generación de residuos se evidencia en el análisis realizado para el Distrito de Medellín, donde se encuentra que existe una relación proporcional entre la PPC y el estrato socioeconómico, de forma tal que a mayor estrato mayor producción per cápita. La explicación más probable para esta situación es que los habitantes que se encuentran en los estratos socioeconómicos más altos tienen una mayor capacidad adquisitiva de bienes, por lo tanto, generan una mayor cantidad de residuos que aquellos que pertenecen a las clases socioeconómicas bajas (Universidad de Medellín, 2011).

A diferencia de lo que se registra a nivel nacional, en Medellín la clase media ha sido la de más importancia dentro de la distribución social. Medellín es la que registra la mayor proporción de clase media, es la primera ciudad con mayor población



perteneciente a la clase alta (3,6%) y la segunda con menor proporción de población clasificada como pobre (32,9%), de acuerdo con el Informe de Calidad de Vida de Medellín 2016-2019, lo puede influir significativamente en la cantidad total de residuos generados.

- **Crecimiento poblacional y urbanístico:** De acuerdo con los últimos resultados del Censo de Población y Vivienda 2018 del DANE, se encuentra que la población de Medellín creció entre 2005 y 2019 en 266.103 personas, es decir un promedio anual de 19.007 personas; igualmente entre los años 2019 y 2016 se encontró un aumento de 61.486 viviendas, situación que evidencia el aumento en los generadores de residuos.

Otro factor importante es la inmigración de personas de otras zonas nacionales debido a la violencia y a la búsqueda de una mejor calidad de vida en la ciudad, lo que genera un aumento en la población no habitual, afectando claramente el aumento de los residuos que se generan en Medellín.

Al relacionar altos valores de PPC, con incrementos en el número de habitantes de la ciudad, se obtiene como consecuencia el incremento en la generación de residuos sólidos generados. Según las estimaciones del PGIRS Medellín 2020, y bajo un escenario inercial con incrementos de la población y la PPC, para el año 2027, el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín y sus corregimientos estarían generando 556.410 toneladas anuales de residuos sólidos.

- **Crecimiento industrial:** De acuerdo con el Informe de Calidad de Vida de Medellín del año 2020, la industria manufacturera en 2018 fue responsable del 10,72% del PIB de Medellín ubicándose como la segunda actividad que más aportó al producto de la ciudad después de las actividades profesionales, científicas y técnicas, actividades de servicios administrativos y de apoyo. Además, este es el segundo sector que más aporta al empleo en Medellín y la región metropolitana. En este componente, si bien se evidencia durante el 2020, una caída pronunciada en la actividad manufacturera de la región, especialmente en el cuarto trimestre de 2020 se muestran cifras de recuperación y se retoman niveles similares a los de años anteriores.

Lo anterior muestra una correlación entre la operación industrial y la generación de residuos, dado que durante este año de decrecimientos en las actividades industriales también se presentó una disminución en la cantidad de residuos generados asociado a este, y otros factores de análisis.



- **Proyección turística:** El turismo, al igual que la industria y el comercio, es uno de los principales sectores económicos de Medellín, la llegada y atracción de personas y negocios activan la economía local e incrementan la demanda de bienes y servicios, alojamientos, transporte y otras actividades.

Desde el 2005, se ha ido aumentando la importancia relativa de este sector dentro de la economía local. Entre el 2005 y el 2018 el porcentaje del PIB municipal de Medellín que corresponde a alojamiento y servicios de comida pasó de 2,8% a 4,7%. Así mismo, se ha ido consolidando un clúster empresarial en torno este sector que se ve reflejado en un incremento significativo en el número de empresas (Informe de Calidad de Vida de Medellín, 2020).

De acuerdo con cifras preliminares del ministerio de comercio, industria y turismo, los visitantes no residentes en 2022 aumentaron un 232% respecto a 2020 siendo en términos de ciudades de destino, la segunda ciudad con mayor número de extranjeros no residentes después de Bogotá.

Esta situación implica una población flotante importante en términos de generación de residuos, por lo cual se considera también un factor de análisis frente a la generación de residuos en la ciudad.

- **Pandemia:** las dinámicas de consumo de la población o de la modificación de los hábitos sociales; variaron los hábitos de consumo y los lugares de generación de residuos; la permanencia de las personas en sus residencias, la suspensión de clases en centros educativos públicos y privados y la interrupción de actividades lúdicas y comerciales impactaron la generación de residuos; estos cambios de vieron reflejados en la disminución del sector productivo y por tanto reflejó una disminución en las cantidades de residuos generadas. Sin embargo, con el levantamiento de las medidas aislamiento, muchos sectores fueron retomando los hábitos de antes de pandemia y con ellos la generación habitual de residuos sólidos.

Estos mismos factores descritos anteriormente, influyen no solo en las variaciones de las cantidades de residuos generados, sino también en la composición de residuos.

Es sabido que los tipos de residuos generados se asocian a los hábitos culturales de consumo y alimentación de los generadores. Según lo anterior, algunas comunidades podrán generar más cantidad de residuos orgánicos cuando consumen productos alimenticios sin procesar. Otras comunidades tienen la tendencia a consumir alimentos procesados, lo que implica que para ese segundo caso específico se reduce la cantidad



de residuos orgánicos, pero se incrementa la generación de plásticos, vidrio, metales y materiales de empaque. Lo que puede ser un factor de análisis frente a la tendencia presentada en años anteriores, de disminución en cantidades de residuos orgánicos en Medellín, que puede estar originada en incremento de prácticas de aprovechamiento o en cambio de costumbres hacia una menor preparación de alimentos en los hogares.

También, llama la atención que, pese al incremento en los reportes de cantidades de residuos aprovechados en la ciudad, aun se evidencie un porcentaje creciente de residuos reciclables en relleno sanitario, y particularmente de plásticos, lo que evidencia su alto uso y que aún no se tienen resultados frente a las políticas de disminución en el uso de plástico y su aprovechamiento.

Igualmente se evidencia que las prácticas de la población aún no se interiorizan las directrices de separación en la fuente, lo que se refleja en el aumento de residuos no aprovechables encontrados en las caracterizaciones realizadas, donde debido a una mala separación de residuos se genera pérdida de potencial de aprovechamiento.

La mala separación de residuos en la fuente se corrobora además en las caracterizaciones realizadas en el relleno sanitario La Pradera, donde la fracción de residuos reciclables presenta una leve tendencia al aumento.

También entra a cobrar relevancia la capacidad de los gestores y transformadores, así como las facilidades y precios de comercialización. El aumento de vidrio en el relleno sanitario puede deberse a las dificultades para su comercialización dadas las dificultades presentadas desde que Peldar se retiró del Área Metropolitana.

Finalmente como hecho importante se tiene que en 2020 se presentó una disminución en la generación de residuos sólidos debido a la pandemia Covid 19 que implicó cierres a nivel de comercio, industria e instituciones, además de cambio de hábitos en las viviendas; este cambió evidenció una disminución en las cantidades de residuos que se llevaron a disposición final, aunque no se evidenciaron mayores cambios para este año frente a la composición de los residuos en el relleno sanitario como era de esperarse dado que las condiciones propias de la pandemia implicaban la generación de residuos de tapabocas, guantes y demás elementos de uso masivo que en la mayoría de los casos son de un solo uso y no permiten la biodegradación; sin embargo no se relacionan cambios significativos en la composición de los residuos que se dispusieron en relleno sanitario durante la pandemia.



8 PLAN DE COMUNICACIONES

La estrategia comunicacional del estudio de “Caracterización de los residuos sólidos en los sectores residencial y no residencial de Medellín y en el área urbana y rural de los cinco corregimientos”, tiene como objetivo la socialización y sensibilización de la población residencial y no residencial, sobre la importancia de su participación y articulación al estudio. También se buscó informar a la comunidad interesada, sobre los avances y eventos que se irían desarrollando y los resultados obtenidos.

Para lograr el objetivo de sensibilización y socialización del proyecto, en las áreas urbanas y rurales del sector residencial de Medellín, se hizo fundamental buscar estrategias que permitieran que los diferentes actores, fueran abordados de acuerdo con sus costumbres y características socio culturales, utilizando medios de comunicación comunitarios, locales y articulando los principales líderes comunitarios que hacen parte de las diferentes comunas y corregimientos.

En general, todos los procesos comunicativos del proyecto fueron tendientes a propiciar la interacción, reflexión y acción, que promoviera la participación de la comunidad interesada, entendiendo que no es suficiente la difusión de información, sino que se requiere un cambio de actitudes y valores frente a la gestión integral de los residuos sólidos y el medio ambiente.

8.1 Objetivo general

Diseñar y desarrollar acciones encaminadas a la sensibilización y socialización del proyecto de “Caracterización de los residuos sólidos en los sectores residencial y no residencial de Medellín y en el área urbana y rural de los cinco corregimientos”.

8.2 Objetivos específicos

- Generar estrategias de información, sensibilización y difusión del proyecto, que permitan la participación de los sectores residencial y no residencial, para la conformación de la muestra objeto de estudio del proyecto, procedente de las 16 comunas y corregimientos del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín.
- Desarrollar un Plan de medios que ayude en la construcción de recursos que faciliten la visualización del proyecto y la participación de los sectores residencial y no residencial en las actividades del proyecto.

8.3 Acciones asociadas al Sector Residencial

La estrategia de comunicación del sector residencial tuvo como objetivo principal dar a conocer a la población de las diferentes comunas y corregimientos, el inicio, desarrollo e implementación del proyecto de Caracterización de residuos sólidos de Medellín. Para poder lograr este objetivo, se implementó el Plan de Medios del proyecto a través de diferentes piezas comunicativas asociadas a la estimulación visual y auditiva, en una primera etapa y audiovisual en las etapas de ejecución.

- **Estrategia visual:** conformado por cinco piezas gráficas, diseñadas y aprobadas por la sección de comunicaciones de la Secretaría de Gestión y Desarrollo Territorial con el apoyo de la supervisión del proyecto.

Tabla 5. Estrategia visual

Referencia	Imagen	Estrategia
<p>E- CARD</p>		<p>Teniendo en cuenta la base de datos de líderes ambientales, proporcionada por la supervisión, se incluyó esta pieza gráfica, que buscaba dar a conocer el proyecto en las zonas de influencia y tener un primer contacto con la comunidad.</p>
<p>AFICHE</p>		<p>De distribuyó el afiche entre población residencial y no residencial objeto de estudio buscando dar a conocer el proyecto en las zonas de influencia</p>



Referencia	Imagen	Estrategia
VOLANTE		Se entregó en cada una de las viviendas visitadas, con el fin de recordarles en qué consiste el proyecto y los días que se recogerían las muestras de residuos sólidos a caracterizar.
ADHESIVOS		Se utilizaron adhesivos en cada una de las viviendas visitadas, con el fin de identificar los suscriptores residenciales participantes del proyecto.
CARRUSEL DIGITAL		Se publicó en las redes sociales de la alcaldía el resumen del proyecto, para dar a conocer el mismo

Fuente: Elaboración propia

- **Estrategia auditiva:** consistió en la difusión de una cuña radial en una emisora de alto impacto, con el fin de generar recordación y conocimiento del proyecto, la cuña de 15 segundos tuvo como objetivo dar a conocer el proyecto en su etapa de desarrollo, pues lo que buscaba es que la ciudadanía identificara al personal del proyecto y su labor.

Se grabó una cuña radial y se contrató su difusión con Olímpica Estéreo, con quienes se pactaron 3 emisiones diarias en la mañana, tarde y noche, durante 15 días.

El guion de la cuña radial es el siguiente “Desde el Distrito de Medellín estamos analizando los residuos sólidos generados en las comunas y corregimientos, con el fin de mejorar la planeación de su gestión integral. Pronto llegaremos a tu comuna, corregimiento, negocio o empresa”.



9 METODOLOGIA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CANTIDAD, COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS QUE SE PRODUCEN EN EL SECTOR RESIDENCIAL DE MEDELLÍN Y SUS CINCO CORREGIMIENTOS

9.1 Diseño metodológico para el muestreo

Para la ejecución del presente proyecto se realizó un muestreo probabilístico¹ en el que todos los individuos del universo o la población tienen la misma probabilidad de ser elegidos. Además de lo anterior, se garantizó ir a todas las comunas en las que está dividida la ciudad de Medellín y dentro de ellas ir a diferentes viviendas de la muestra, buscando llegar a las zonas urbanas y rurales del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín y sus corregimientos.

Dado que el comportamiento de las cantidades y características de los residuos generados es diferente en zonas urbanas y rurales, para el desarrollo del presente estudio se analizaron de manera diferenciada las muestras de las 16 comunas urbanas de Medellín, además de lo cual se tomaron muestras en las cabeceras de los corregimientos y su zona rural dispersa.

Así mismo, se tuvo presente desde la metodología, el manejo independiente de la información para cada uno de los estratos socioeconómicos de la ciudad, de manera que se permitiera el análisis a partir de las diferencias de hábitos y poder adquisitivo encontradas entre estos. Los corregimientos no se tomaron estratificados, sino que se realizaron estimaciones para la cabecera y la ruralidad dispersa, entendiendo que en los corregimientos no se presenta representatividad de todos los estratos socioeconómicos.

La caracterización de residuos se realizó durante los meses de julio a diciembre de 2023 en los seis (6) estratos socioeconómicos de las dieciséis (16) comunas urbanas y cinco (5) corregimientos, lo que garantizó la cobertura del 100% del Distrito de Medellín, con el fin de estimar las cantidades de residuos sólidos generados en el sector residencial del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín, el porcentaje de residuos separados para su aprovechamiento, la cantidad de residuos recogidos para

¹ <http://www.estadistica.mat.uson.mx/Material/elmuestrero.pdf>



su disposición final, su composición porcentual, densidad y sus características fisicoquímicas por estrato y por comuna.

Es importante aclarar que las muestras caracterizadas se tomaron en la fuente (punto de generación), es decir los resultados aquí consignados dan cuenta del potencial total de residuos generados por la ciudad, que difiere de las cantidades y características de los residuos que llegan a disposición fin, teniendo en cuenta el desvío efectuado por la cadena actual de reciclaje.

9.2 Unidad de análisis

Según las expectativas fijadas en los objetivos específicos del estudio y siendo ésta una investigación de carácter cuantitativo, la unidad de análisis final de análisis la constituye la vivienda de uso exclusivo residencial ubicada en el perímetro urbano y rural del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín y sus corregimientos.

9.3 Población objeto de estudio

Para el presente estudio las unidades de muestreo son las viviendas, donde la población o universo de referencia está constituida por todos los suscriptores residenciales del servicio de aseo ubicados al interior del perímetro urbano del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín y sus cinco corregimientos.

En las siguientes tablas se presentan los suscriptores del servicio de aseo para el año 2022 en zona urbana y corregimientos de Medellín, cifras que sirvieron de base para realizar la distribución de muestras requeridas por estrato socioeconómico y comuna.



Tabla 6. Suscriptores del servicio de aseo en zona urbana de Medellín por estrato para el año 2022

Estrato socioeconómico zona urbana	Suscriptores de aseo
1	54.277
2	148.478
3	178.339
4	89.882
5	64.183
6	40.442
Total	575.601

*Fuente: Base de datos “desagregación predios por comuna y estrato rec_suj_2022”
 Subsecretaría de Servicios Públicos*



Tabla 7. Suscriptores del servicio de aseo en corregimientos para el año 2022.

Corregimientos	Suscriptores De Aseo
Santa Elena	4.406
San Cristóbal	29.943
San Antonio de Prado	24.867
Palmitas	405
Altavista	9.398
Total	69.019

*Fuente: Base de datos “desagregación predios por comuna y estrato rec_sui_2022”
 Subsecretaría de Servicios Públicos*

Adicionalmente, dado que algunos cálculos de generación de residuos emplean información de cantidad de habitantes, se presenta en la siguiente tabla el número de personas por comuna y corregimiento.

Tabla 8. Población objeto de estudio por comuna para el año 2023

Comuna	Total
01 Popular	149.586
02 Santa Cruz	122.573
03 Manrique	179.793

Comuna	Total
04 Aranjuez	145.837
05 Castilla	127.289
06 Doce De Octubre	183.889
07 Robledo	208.305
08 Villa Hermosa	171.776
09 Buenos Aires	175.014
10 La Candelaria	79.404
11 Laureles - Estadio	101.796
12 La América	88.207
13 San Javier	175.122
14 El Poblado	112.257
15 Guayabal	64.713
16 Belén	217.501
Total Comunas	2.303.062

*Fuente: Proyecciones de población por Comunas y Corregimientos, años 2018 - 2030.
 Departamento Administrativo de Planeación Alcaldía de Medellín*



Tabla 9. Población objeto de estudio por corregimiento para el año 2023

Corregimientos	Total
50 San Sebastián de Palmitas	6.485
60 San Cristóbal	151.677
70 Altavista	44.665
80 San Antonio de Prado	116.838
90 Santa Elena	31.002
Total Corregimientos	350.667

Fuente: Proyecciones de población por Comunas y Corregimientos, años 2018 - 2030. Departamento Administrativo de Planeación Alcaldía de Medellín

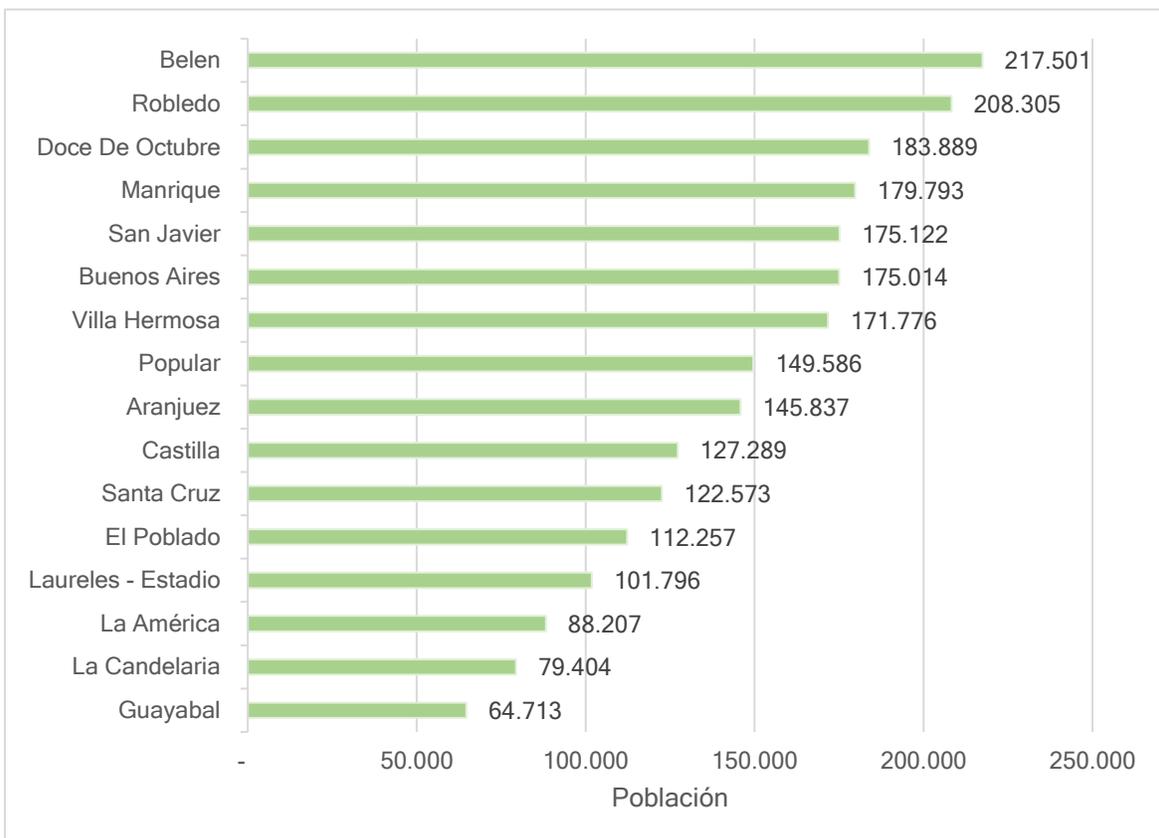
De acuerdo con las cifras presentadas por el Departamento Administrativo de Planeación “la población oficial para Medellín en 2023 es: 2.653.729 personas; en las 16 comunas habita el 86,7% de la población con 2.303.062 habitantes mientras que en los 5 corregimientos se encuentra el 13,2% de la población con 350.667 habitantes”.

La comuna de la ciudad con más habitantes es la 16 (Belén) con 217.501, seguida de la comuna 7 (Robledo) con 208.305, y en tercer lugar se ubica la comuna 6 (Doce de Octubre) con 188.889 personas.

Mientras que en el sector rural el corregimiento con mayor población corresponde a San Cristóbal seguido por San Antonio de Prado y Altavista.

En la siguiente gráfica, se presenta la población de Medellín por comuna para el año 2023, de acuerdo con la información del Departamento Administrativo de Planeación (Alcaldía de Medellín, 2023).

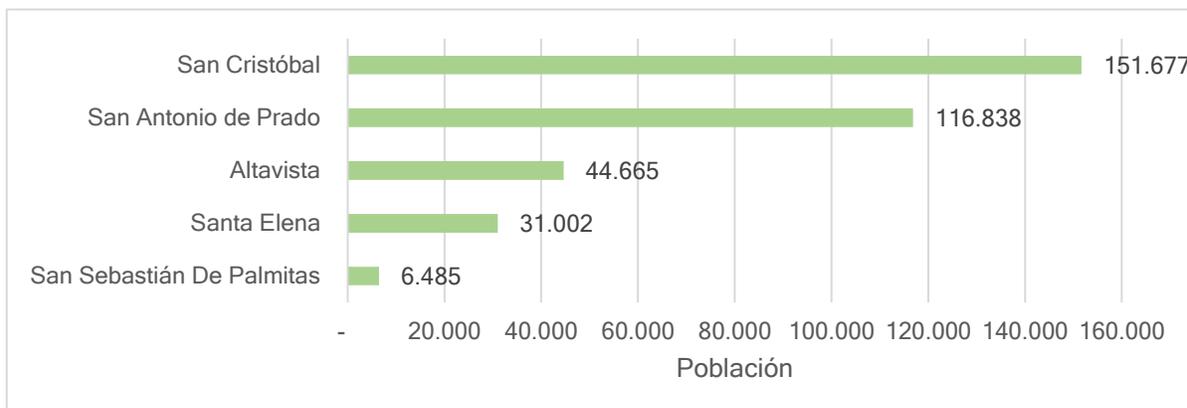
Gráfica 1. Población por comuna en zona urbana de Medellín



Fuente: Elaboración propia con información de “Proyecciones de población por Comunas y Corregimientos, años 2018 - 2030. Departamento Administrativo de Planeación Alcaldía de Medellín”



Gráfica 2. Población por Corregimiento en zona rural de Medellín



Fuente: Elaboración propia con información de "Proyecciones de población por Comunas y Corregimientos, años 2018 - 2030. Departamento Administrativo de Planeación Alcaldía de Medellín"

9.4 Tamaño de la muestra

Para garantizar un tamaño de muestras en la zona urbana y rural, 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 de 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. La Producción Per Cápita calculada para Medellín en el último estudio realizado en promedio fue de 0,54 kg/ Hab-día y el resultado para la Producción Per Cápita promedio para los corregimientos fue de 0,34 kg/Hab- día, según el estudio realizado por la Secretaría de Gestión y Control Territorial entre los años 2018 y 2019.

Además de esto, se debe garantizar un nivel de confianza que exprese la certeza buscada dentro del margen de error, es decir, que se garantice que en un 95% de los casos se encuentre la PPC 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 anteriormente definido la ecuación para el tamaño de muestra 2 es:

² <http://www.psyma.com/company/news/message/como-determinar-el-tamano-de-una-muestra>

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

n : Tamaño óptimo de la muestra

p : Probabilidad de éxito de que la PPC 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

Con lo definido en el punto anterior se definirá un nivel de confianza del 95% y un (ϵ) error máximo de muestreo no superior al 2.65% en la estimación del Coeficiente de Producción Per Cápita (PPC).

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

p : 0.54 q : 0.46 ϵ : 2,65%

Con esto definido el tamaño de la muestra mínimo para el sector residencial será:

$$n = \frac{1,96^2 * 0,54 * 0,46}{0,0265^2} = 1.359$$

$$n = 1.359$$

Según lo anterior, se concluye que se necesitan 1.359 viviendas para garantizar que se realicen como mínimo 2.700 muestras en las siete zonas de Medellín, en sus 16 comunas y sus cinco corregimientos, que pueden obtenerse mediante las dos 2 frecuencias de recolección, garantizando lo siguiente:

- Zona Urbana: 2.000 unidades distribuidas por estrato socioeconómico
- Zona Rural (cabecera corregimental): 500 unidades distribuidas en los 5 corregimientos
- Zona Rural Dispersa: 200 unidades distribuidas en los 5 corregimientos.

Para la distribución de la muestra se tuvo en cuenta la base de datos de “Desagregación predios por comuna y estrato rec_sui_2022” de los suscriptores de aseo de la ciudad de Medellín, asociados al tipo de suscriptor residencial que sería objeto de estudio mediante la “Caracterización de los residuos sólidos en los sectores residencial y no residencial de Medellín y en el área urbana y rural de los cinco corregimientos”.

En la zona urbana de Medellín se programó entonces la visita de 1.007 viviendas distribuidas en las 16 comunas y los 6 estratos socioeconómicos, para los corregimientos se visitarían 251 viviendas en sus centros poblados y en la ruralidad dispersa se visitarían 101 viviendas, con lo cual se cumple la muestra total de 1.359 viviendas muestreadas que con dos frecuencias de recolección cumplen las especificaciones técnicas respecto de la muestra mínima requerida, correspondientes a 2.000 muestras en la zona urbana, 500 muestras en los centros poblados corregimentales y 200 muestras procedentes de viviendas rurales dispersas. La distribución para la muestra en la ciudad de Medellín es la siguiente:

Tabla 10. Número de suscriptores del servicio de aseo por estratos socioeconómico en la ciudad de Medellín

Estrato	Suscriptores de aseo	Total, muestra por estratos
1	54.277	95
2	148.478	260
3	178.339	312
4	89.882	157
5	64.183	112
6	40.442	71
Total	575.601	1.007

Fuente: Base de datos “desagregación predios por comuna y estrato rec_sui_2022” Subsecretaría de Servicios Públicos y elaboración propia del tamaño de la muestra.



Para los corregimientos se tuvo en cuenta la proporción del número de suscriptores del servicio público de aseo, pero haciendo una proporción a conveniencia para cumplir con el número mínimo de 500 muestras en los centros poblados de los corregimientos y las 200 muestras en la ruralidad dispersa. A continuación, se presentan los tamaños de las muestras estimadas:

Tabla 11. Número de suscriptores del servicio de aseo para los centros poblados de los corregimientos

Corregimientos	Suscriptores de aseo	Total, muestra ajustada cabecera	Total, muestra ajustada zona dispersa
Santa Elena	4.406	29	10
San Cristobal	29.943	98	35
San Antonio de Prado	24.867	79	33
Palmitas	405	20	10
Altavista	9.398	25	13
Total	69.019	251	101

Fuente: Base de datos “desagregación predios por comuna y estrato rec_sui_2022” Subsecretaría de Servicios Públicos y elaboración propia del tamaño de la muestra.

Mediante 251 muestras en los centros poblados de los corregimientos, 101 muestras en la ruralidad dispersa de los corregimientos y 1.007 muestras en las 16 comunas de Medellín, se garantizó el tamaño requerido de muestra de 1.359 viviendas.

9.5 Distribución de la muestra

Con el fin de conocer las características de los residuos y su distribución geográfica en el territorio, para la zona urbana de Medellín, además de hacer la distribución de muestras por estrato socioeconómico, estas se sectorizaron por comunas; para lo cual se distribuyó la cantidad total de muestras de manera proporcional a la cantidad de suscriptores del servicio de aseo presentes en cada una de estas como se especifica a continuación.

Tabla 12. Distribución de muestras por estratos socioeconómicos predominantes en cada comuna de la zona urbana de Medellín

Zona	Comuna	Estratos						Total Por Comuna
		E1	E2	E3	E4	E5	E6	
Zona 1	C1 Popular	15	27					42
	C2 Santa Cruz	16	18					34
	C3 Manrique	12	35	10				57
	C4 Aranjuez	4	16	31				51
Zona 2	C5 Castilla		6	40				46
	C6 Doce De Octubre	8	34	18				60
	C7 Robledo	7	37	28	12			84
Zona 3	C8 Villa Hermosa	16	24	17				57

	C9 Buenos Aires		15	45	10			70
Zona 4	C10 Candelaria			16	30			46
Zona 5	C11 Laureles - Estadio				22	46		68
	C12 La América			12	17	25		54
	C13 San Javier	17	24	16	6			63
Zona 6	C14 El Poblado					17	71	88
Zona 7	C15 Guayabal		12	42	27			81
	C16 Belén		12	37	33	24		106
Total Viviendas por Estrato		95	260	312	157	112	71	1.007
Total Muestras por Estrato		190	520	624	314	224	142	2.014

Fuente: Base de datos desagregación predios por comuna y estrato rec_sui_2022 y elaboración propia del tamaño de la muestra.

En el caso de los corregimientos que tienen una población con características homogéneas se considera como una población de un solo estrato, y se mantiene la distribución establecida para estos.



Tabla 13. Distribución de muestras en corregimientos de Medellín

Corregimientos	Muestra Rural Cabecera	Muestra Rural Disperso	Total Muestra Rural
Santa Elena	29	10	39
San Cristobal	98	35	133
San Antonio De Prado	79	33	112
Palmitas	20	10	30
Altavista	25	13	38
Total Viviendas	251	101	352
Total Muestras	502	202	704

Fuente: Elaboración propia



9.6 Recolección y pesaje de las muestras

9.6.1 *Diseño preliminar de rutas*

Una vez establecido el número de muestras requeridas por estrato socioeconómico para cada comuna, se realizó la distribución espacial de los puntos de muestreo propuestos y preselección de viviendas, la cual se realizó de manera aleatoria y lo más dispersa posible.

Una vez preseleccionadas las viviendas a muestrear, se realizó el prediseño de rutas para la recolección de los residuos; siendo esta una distribución preliminar, que debía ajustarse después del trabajo de campo y la aceptación de los habitantes de la vivienda a participar del estudio.

9.6.2 *Aplicación de encuestas*

Con la preselección de viviendas y una vez se tuvo diseñado el pre ruteo se realizaron visitas puerta a puerta previas a la recolección de las muestras a las viviendas seleccionadas, en las cuales además de hacer la presentación el proyecto, se dieron a conocer a los habitantes de las viviendas los objetivos del estudio, su importancia para la ciudad, la metodología, y el día de inicio; para lo cual, se entregó un volante recordatorio de la información y las fechas de recolección de las muestras.

Así mismo, se solicitó entregar todo el material incluyendo la entrega de material separado en caso de así hacerlo habitualmente, sin desvío de alguna parte de este a recicladores; esto con el fin de poder conocer las cantidades de residuos que realmente se generan y la fracción de estos que se separa en la fuente.





Fotografía 1. Visitas puerta a puerta previa recolección de las muestras

Una vez que los habitantes de cada vivienda confirmaban su deseo de participar en el estudio, se asignó un código único a cada vivienda, en el cual se relaciona tanto el estrato socioeconómico como la comuna a la que pertenece la vivienda y un consecutivo irrepetible, con el cual se identificaría posteriormente toda la información asociada a dicho inmueble, como se muestra en la siguiente ilustración.

1 – 01 – 001
ESTRATO COMUNA # DE VIVIENDA

Con el fin de poder ubicar con facilidad en campo a las viviendas que participarían en el estudio de caracterización y que los auxiliares de campo pudieran identificarlos con facilidad en el momento de la recolección de residuos, así como para procesar los datos durante el estudio, se pegó en cada vivienda un adhesivo con el código único asignado, en el frente de inmueble de manera visible.





Fotografía 2. Codificación y marcación de las viviendas seleccionadas y verificadas

Finalmente, se aplicó una encuesta por medio de la cual se conocen los datos básicos de la vivienda y aquellos de importancia para la determinación de la PPC, como la cantidad de habitantes en la misma, la frecuencia de recolección, etc. Adicionalmente se registraron aspectos de manejo interno de los residuos sólidos, lo cual soporta los datos de los residuos recogidos (ver Anexo 1).

9.6.3 Recolección de muestras

Con la lista de los inmuebles verificados y encuestados se procedió a definir la ruta de recolección definitiva, la cual se desarrolló el día programado para la recolección.

La recolección se realizó el día acordado en las casas identificadas con el adhesivo; haciendo la marcación de la bolsa recibida con el código correspondiente a cada vivienda.





Fotografía 3. Recolección de muestras

Es importante mencionar que en algunos casos pese a haberse aceptado previamente la participación en el estudio por parte de la comunidad, el día de recolección no se hacía entrega de la muestra al personal del proyecto, en cuyo caso se tomaron muestras de reposición en viviendas cercanas a la inicialmente seleccionada, buscando coincidir en cuanto a la misma comuna y estrato.

En el caso de recolección de muestras de reposición, no se hicieron encuestas completas, pero se tomaron los datos de relevancia para el análisis de la muestra tales como la dirección, comuna, estrato, número de habitantes de la vivienda y frecuencia de recolección. En estos casos la codificación de las casas se completó con una “R” al final del código que corresponde a vivienda de reposición.

9.6.4 Pesaje por vivienda

Finalizada la ruta de recolección, se procedió a la separación de estas por estrato socioeconómico y por corregimiento, según su sitio de procedencia.

Las muestras de cada inmueble debidamente codificadas fueron pesadas y registradas de manera individual; además 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 no aprovechables, para identificar el porcentaje de residuos separados en la fuente en cada vivienda.



Estos datos se registraron en planillas diseñada con este fin de acuerdo con el código marcado en cada bolsa de manera que se identificara la vivienda muestreada, para posteriormente proceder al cálculo de la producción per cápita.



Fotografía 4. Pesaje de muestras

Una vez se tuvieron los pesos de cada vivienda, todas las muestras se abrían y se vaciaban conjuntamente (por estrato y comuna) para la realización del método de cuarteo a partir del cual se hacen los análisis de composición porcentual, densidad y selección de muestras para análisis fisicoquímico.

9.6.5 Procedimiento para el cálculo de la Producción Per Cápita (PPC)

La información del peso de los residuos generados por cada vivienda se relaciona con el número de habitantes por vivienda y el número de días de almacenamiento del residuo luego de lo cual se procede al cálculo de la Producción Per Cápita.

El valor de la Producción Per Cápita (PPC) de residuos sólidos (kg/hab*día) para el sector residencial se obtuvo dividiendo el peso de la muestra entre el número de habitantes de la casa y días de almacenamiento de los residuos recogidos, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$PPC = \frac{\text{Peso de la muestra (Kg)}}{\text{Número de personas} * \text{días de almacenamiento}}$$

Todos los datos de PPC se hallan de forma independiente para cada muestra recogida y luego, se calculó el promedio de la Producción Per Cápita por estrato socioeconómico y por comuna para el sector residencial urbano y corregimental.

9.7 Aplicación del método del cuarteo

De acuerdo con el método del cuarteo, el procedimiento se inicia tomando las muestras por estrato y esparciéndolas sobre un plástico extendido, con la finalidad de evitar la contaminación de las muestras con las impurezas presentes en el suelo.

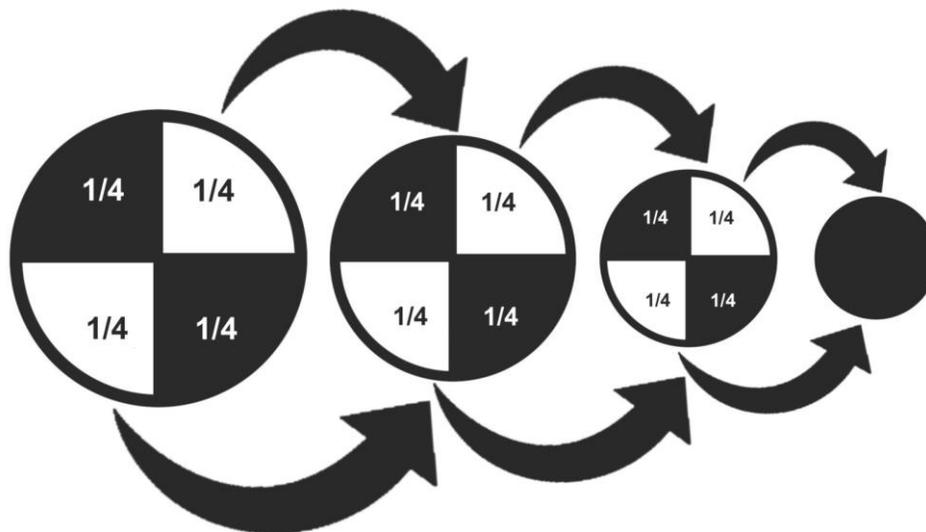
Posteriormente, se mezclan las muestras del mismo estrato sobre el plástico y se realiza la homogenización de los residuos de modo que queden bien mezclados, luego de lo cual se procede a dividir las muestras previamente mezcladas en cuatro partes iguales, tomando los dos cuartos de la muestra que se encuentren opuestos o en diagonal.

A estas dos muestras extraídas, se les realiza una nueva mezcla para su homogenización y posterior división en cuatro partes iguales. Nuevamente se toman los dos cuartos opuestos.

En resumen, durante todos los ejercicios de cuarteo, se toman los dos cuartos opuestos o en diagonal, para la composición de la muestra definitiva, mientras que los cuartos sobrantes son depositados en bolsas o recipientes para su descarte.



Ilustración 1. Método del cuarteo



Fuente: Elaboración propia

Con la muestra definitiva se procede a su separación por categorías de materiales previamente establecidas para determinar el peso de cada una de estas y conocer su composición porcentual.

De la mezcla homogénea seleccionada como descarte se tomaron las muestras para medición de la densidad y análisis fisicoquímicos.

Para los análisis fisicoquímicos, dicha muestra se empacó en una bolsa marcada, indicando el nombre del proyecto, la fecha, comuna y estrato socioeconómico al que pertenece, luego de lo cual se colocaron las muestras dentro en una nevera con hielo, para preservar sus propiedades físicas y químicas, y permitir así su transporte hasta el laboratorio donde se realizarán los análisis.

Los residuos que finalmente se generan como descarte, son presentados al servicio público de aseo para su disposición final respectiva.

9.7.1 Procedimiento para estimar de la composición física porcentual

Una vez se ha realizado el cuarteo y la muestra final se encuentra dispersa en el plástico (para asegurar que las muestras no se alteren con polvo del piso), y homogénea con el fin de garantizar una concentración igual de los componentes en todos los puntos de la muestra, se procede a realizar la separación por tipología de residuo, teniendo en cuenta como mínimo los componentes que propone el Título F del RAS, en su numeral F1.4.2 denominado “Composición de los Residuos”. Para lo cual se elaboró la siguiente planilla de consolidación de los valores en peso encontrados para cada una de las tipologías de residuos a evaluar, a partir de la cual se determinó la composición porcentual como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 14. Planilla de consolidación de los valores en peso encontrados para cada una de las tipologías de residuos a evaluar

Caracterización de los residuos sólidos en los sectores residencial y no residencial de Medellín y en el área urbana y rural de los cinco corregimientos.	
Días de almacenamiento de los residuos:	
Fecha caracterización:	
Nombre generador:	
Volumen Muestra (M3):	
Peso Muestra (Kg):	
Peso Total (Kg):	
Volumen total de los residuos (m3):	

Componente	Peso (Kg/d)
Residuos Reciclables Aprovechables	
Papel	
Archivo	
Kraft	
Periódico	

Componente	Peso (Kg/d)
Revista	
Cartón	
Corrugado	
Plegadizo	
Tubos de cartón	
Canastas de huevos	
Canastas de huevos	
Plástico	
PET (1) Transparente	
PET (1) Verde	
PET (1) Ámbar	
PET (1) Aceite	
PEAD (2) Flexible	
PEAD (2) Rígido	
PVC (3)	
PEBD (4) Flexible	
PEBD (4) Rígido	
PP (5) Flexible	
PP (5) Rígido	
PS (6)	
PS (6) Expandido (Icopor)	
OTROS (7)	
Plásticos Aluminizados	
ABS	



Componente	Peso (Kg/d)
Policarbonato	
Vidrio	
Blanco	
Verde	
Café - ámbar	
Plano	
Metales	
Chatarra	
Aluminio	
Hierro gris	
Latón	
Cobre (amarillo)	
Cobre (rojo)	
Karla	
Cuero	
Cuero	
Caucho	
Caucho	
Tetrapack	
Tetra pack	
Textiles	
Estopas, fibras y excedentes textiles no contaminados	
Residuos Orgánicos Aprovechables	
Materia Orgánica	



Componente	Peso (Kg/d)
Restos de Alimentos, Frutas y Verduras	
Follaje y residuos de zonas verdes	
Madera	
Madera no inmunizada (Estibas, guacales, carretas, palos de escoba, entre otros)	
Residuos de carpintería (aserrín, viruta, orillos, retales, tableros aglomerados, enchapes, entre otras)	
Residuos No Aprovechables	
Papel Higiénico, toallas higiénicas, pañales, servilletas, etc.	
Papel No reciclable: papel mantequilla, papel encerado, papel plastificado, papeles valores (cheques, facturas, letras, papeles de seguridad), papel aluminio, papel carbón y de fax.	
Cartón no aprovechable: encerado, plastificado, sucio	
Calzado	
Espumas, colillas de cigarrillo, chicles, restos de barrido, cerámica, fomi, oasis, ceniza, parafina y PET exótico	
Otros Residuos	
Residuos Especiales	
RCD (residuos de concreto, asfalto, mampostería, yeso, entre otros)	
Muebles y enseres	
Peligrosos	
Madera inmunizada a vacío presión (sales de cromo y arsénico)	
Biosanitarios (tapabocas, gasas, algodón y residuos contaminados con fluidos corporales)	
Cortopunzantes (lancetas y cuchillas contaminadas con sangre y fluidos corporales)	
Restos de aceites minerales y grasas de desecho, así como estopas, liencillos u otros absorbentes contaminados con éstos	



Componente	Peso (Kg/d)
Filtros contaminados con aceites lubricantes	
Residuos resultantes de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices; sus contenedores y materiales impregnados con estos.	
Cartuchos, tonners y cintas de impresión	
Residuos de piel curtida contaminado con cromo y otras sustancias químicas del proceso de curtido de pieles	
Otros envases y contenedores de desecho que contienen residuos de sustancias peligrosas	
Lodos y escorias peligrosas (incluidas listado Dec. 4741)	
Fibra de vidrio	
Residuos Posconsumo	
Llantas usadas	
Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)	
Fármacos o medicamentos vencidos	
Pilas y/o acumuladores	
Baterías usadas plomo ácido	
Bombillas	
Plaguicidas y envases	

Fuente: Elaboración propia

De este modo, se seleccionan los diferentes tipos de residuos y se depositan en bolsas de polietileno de acuerdo con la subclasificación definida. Cada una de las bolsas con materiales clasificados se pesan y se registra su peso.





Fotografía 5. Selección de las diferentes tipologías de residuos



Fotografía 6. Separación de la muestra por categorías de residuos





Fotografía 7. Pesaje de las diferentes tipologías de residuos

Ya teniendo todos los componentes pesados, se divide el peso de cada tipo de residuo entre el peso total de la muestra y se multiplica por 100 para determinar el porcentaje de cada residuo por tipología.

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

Donde

W_i = peso de cada componente de los residuos sólidos

Peso total (Kg) = peso total de la muestra

9.7.2 Procedimiento para el cálculo de la densidad libre

A continuación, se presenta el procedimiento para el cálculo de la densidad de las muestras tomadas mediante el presente estudio de caracterización de residuos sólidos:

- Se determina el volumen de los recipientes que serían usados para calcular el volumen ocupado por los residuos de la muestra seleccionada y se gradúa para

facilitar la medición de la altura de los residuos una vez depositados en éste y con ello calcular su volumen ocupado.

- Este recipiente se pesó en una báscula primero vacío.
- De una de las partes eliminadas del primer cuarteo, se toma una muestra de las partes rechazadas del cuarteo y se vacía en el recipiente aforado de los residuos, los cuales se agitan para que los residuos se acomoden sin necesidad de realizar presión sobre ellos.
- Se registra el volumen ocupado efectivamente por la muestra de residuos y se procede a su pesaje, descontando el peso del recipiente que contiene la muestra.
- El registro de los datos de volumen y peso de la muestra seleccionada se realiza por estrato socioeconómico según el siguiente formato.

Tabla 15. Formato para determinación de densidad libre de residuos sólidos

 CONSORCIO CIDOR GEOSIGMA		"CARACTERIZACIÓN DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN LOS SECTORES RESIDENCIAL Y NO RESIDENCIAL DE MEDELLÍN Y EN EL ÁREA URBANA Y RURAL DE LOS CINCO CORREGIMIENTOS" CONTRATO 4600098235 de 2023			 Alcaldía de Medellín Distrito de Ciencia, Tecnología e Innovación
FORMATO DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE LOS RESIDUOS SOLIDOS SECTOR RESIDENCIAL					
FECHA	ESTRATO	PESO (Kg)	ALTURA (m)	OBSERVACIÓN	RESPONSABLE



Fotografía 8. Medición de peso y volumen para cálculo de la densidad



Finalmente, el valor de la densidad se estima con la relación entre el peso y el volumen que ocupan los residuos en un determinado contenedor (CEPAL, 2016), de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$Densidad = \frac{\text{Peso de la muestra (Kg)}}{\text{Volumen de la muestra en el recipiente (m3)}}$$

9.7.3 Estimación de la composición fisicoquímica de los residuos sólidos

En el marco del estudio, se llevó a cabo el análisis fisicoquímico de los residuos generados por cada uno de los estratos socioeconómicos de la ciudad. Para esto, se tomaron muestras de 2 Kg de residuos homogenizados que fueron llevadas al laboratorio, con su respectiva marcación (procedencia y fecha), siguiendo los requisitos de cadena de custodia y transporte, para garantizar la calidad de los resultados.

Se enviaron 58 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).

10 RESULTADOS DE LA PRODUCCIÓN PER CÁPITA (PPC) Y CANTIDAD DE RESIDUOS GENERADOS EN EL SECTOR RESIDENCIAL DE MEDELLÍN Y SUS CINCO CORREGIMIENTOS

Buscando establecer patrones en la generación de los residuos que faciliten la búsqueda de alternativas en el territorio, una vez hallada la PPC en cada una de las viviendas estudiadas, se consolidan los datos para su análisis en los sectores urbano y rural según su ubicación, por lo cual se presentan los resultados agrupados para cada una de las comunas del distrito y posteriormente por estrato socioeconómico.

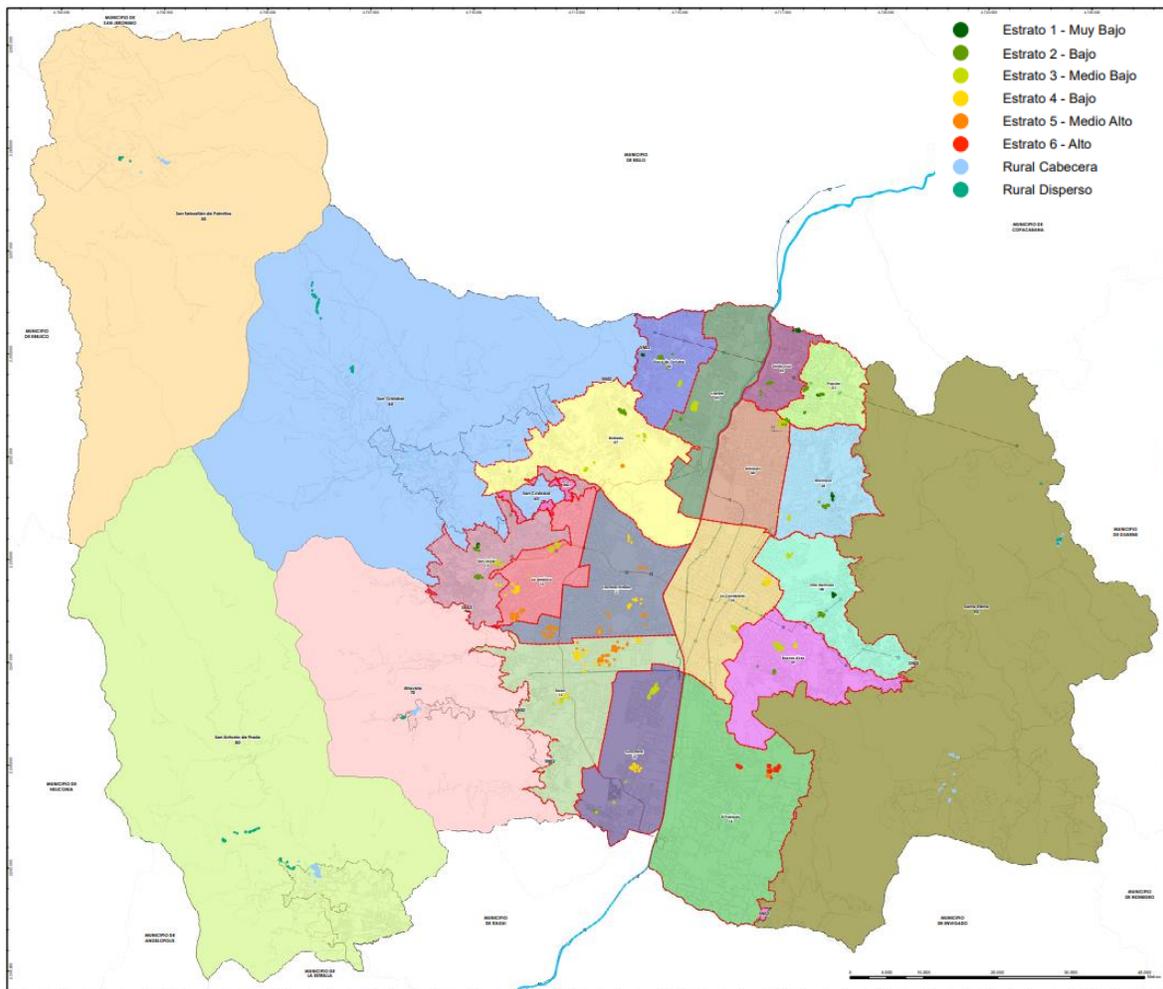
10.1 Resultados de la Producción Per Cápita (PPC) de residuos en zona urbana de Medellín

10.1.1 Resultados de PPC por estrato socioeconómico

Las comunas de Medellín tienen una mixtura de estratos socioeconómicos. En una comuna pueden tenerse variedad de estratos, tal como se aprecia en el siguiente mapa en el cual se ubican los puntos de muestreo estableciendo el estrato socioeconómico al que pertenece la vivienda y el resultado de PPC encontrado.



Mapa 3. Estrato socioeconómico de las viviendas participantes del estudio para el cálculo de la PPC en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín



Fuente: Elaboración propia

Como se muestra en la Tabla 16, las PPC encontradas en zona urbana por estrato socioeconómico, presentan valores que van desde 0,41 Kg/hab*día en el estrato 1 hasta 0,75 Kg/hab*día en el estrato 6 con un promedio de 0,50 Kg/hab*día para la zona urbana.

Tabla 16. Producción Per Cápita residencial por estrato socioeconómico en zona urbana de Medellín

Estrato	PPC (Kg/hab.día)
1	0,41
2	0,45
3	0,44
4	0,48
5	0,49
6	0,75
Promedio	0,50

Fuente: Elaboración propia

En general, puede decirse que los estratos más bajos presentan una PPC menor a los estratos altos. Esta diferencia puede ser explicada por los distintos hábitos de consumo que están determinados en gran medida por el poder adquisitivo de las personas.

Aunque se evidencia una tendencia al crecimiento de la PPC con el aumento del estrato socioeconómico, un caso especial se encuentra en el estrato 3, para el que se encontró un valor menor a la tendencia esperada, incluso menor al estrato 2, como se puede evidenciar en la Gráfica 3.

Adicionalmente, es importante mencionar que el estrato 6 evidencia un valor mayor a la tendencia esperada presentando un alto incremento frente a los demás estratos, que puede deberse a la dinámica de este estrato en la ciudad, teniendo en cuenta que la toma de muestras tuvo una particularidad en la que no fue posible la recolección individual casa a casa y por tanto los datos corresponden a la caracterización realizada de manera conjunta para algunas unidades residenciales, para las cuales se tuvo la certeza de que se midió la cantidad total de material de reciclaje generado dado los procesos de separación y comercialización que realizan estas unidades residenciales.

Dicha situación pudo ser diferente en los demás estratos socioeconómicos donde a pesar de haberse solicitado a los habitantes de las viviendas seleccionadas la entrega completa del material generado, es posible que se haya presentado desvío del material



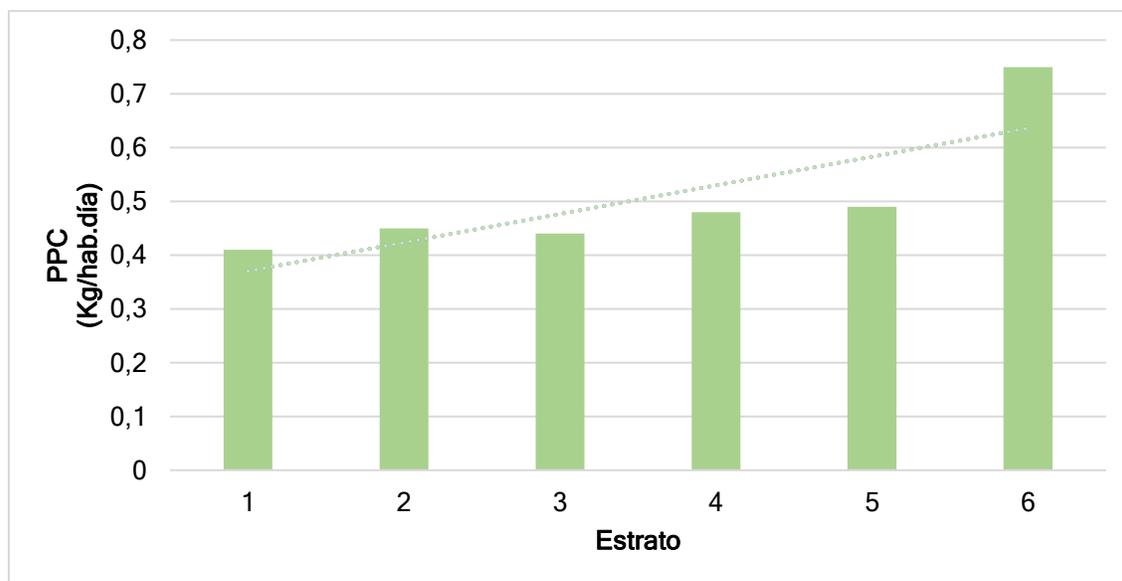
reciclable y en algunos casos entregado a recicladores y otros actores no pertenecientes al estudio de caracterización.

Para el estrato 6, también se encontró como particularidad la mayor generación de residuos de hojarasca y follaje, dado la existencia de amplias zonas verdes comunes al interior de las unidades y patios de las viviendas.

De acuerdo con el Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), los valores de PPC se correlacionan con el nivel de complejidad del sistema de aseo urbano, y éste a su vez, se define a partir de la población de la zona urbana del municipio y el estimativo de la capacidad económica de la población usuaria del servicio, por lo que el incremento de la PPC a medida que aumenta el estrato socioeconómico en el sector residencial de Medellín es coherente.

En la Gráfica 3 se muestra la variabilidad en los datos de la PPC por estrato socioeconómico del sector residencial.

Gráfica 3. Comparativo de la PPC residencial de residuos sólidos generados en la zona urbana de Medellín por estrato socioeconómico



Fuente: Elaboración propia

10.1.2 Resultados de PPC por comuna

En cuanto a la distribución de las PPC para las diferentes comunas de Medellín se encuentran variaciones que van desde 0,30 Kg/hab/día en la comuna 4 Aranjuez, hasta 0,75 Kg/hab/día en la comuna 14 El Poblado, tal como se muestra en la siguiente tabla donde se evidencian los valores promedio de PPC por comuna.

Tabla 17. Producción Per Cápita (PPC) promedio en cada comuna del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín

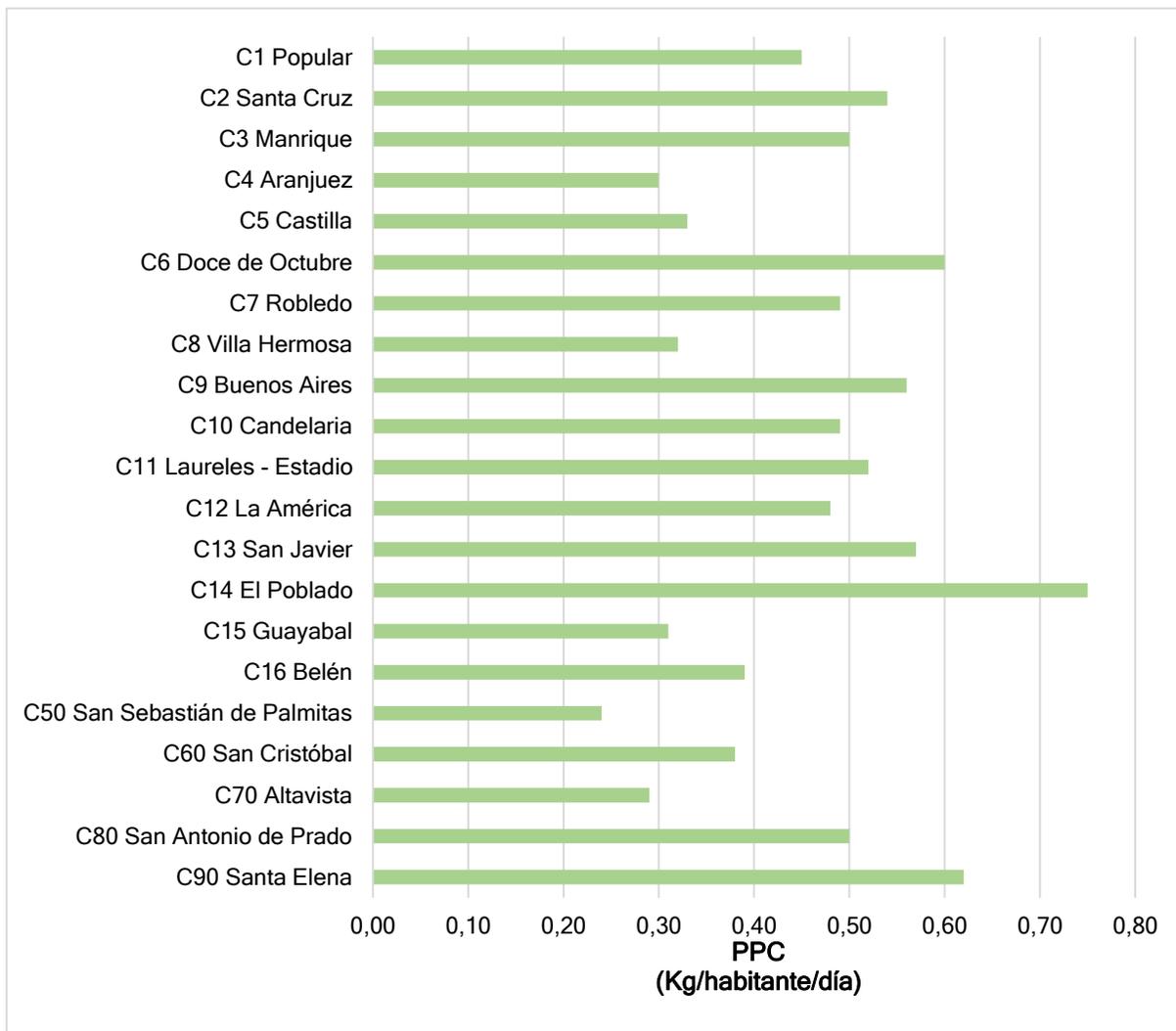
Comuna	PPC (kg/habitante*día)
C1 Popular	0,45
C2 Santa Cruz	0,54
C3 Manrique	0,50
C4 Aranjuez	0,30
C5 Castilla	0,33
C6 Doce de Octubre	0,60
C7 Robledo	0,49
C8 Villa Hermosa	0,32
C9 Buenos Aires	0,56
C10 Candelaria	0,49
C11 Laureles - Estadio	0,52
C12 La América	0,48
C13 San Javier	0,57
C14 El Poblado	0,75
C15 Guayabal	0,31
C16 Belén	0,39
C50 San Sebastián de Palmitas	0,24

Comuna	PPC (kg/habitante*día)
C60 San Cristóbal	0,38
C70 Altavista	0,29
C80 San Antonio de Prado	0,50
C90 Santa Elena	0,62

Fuente: Elaboración propia



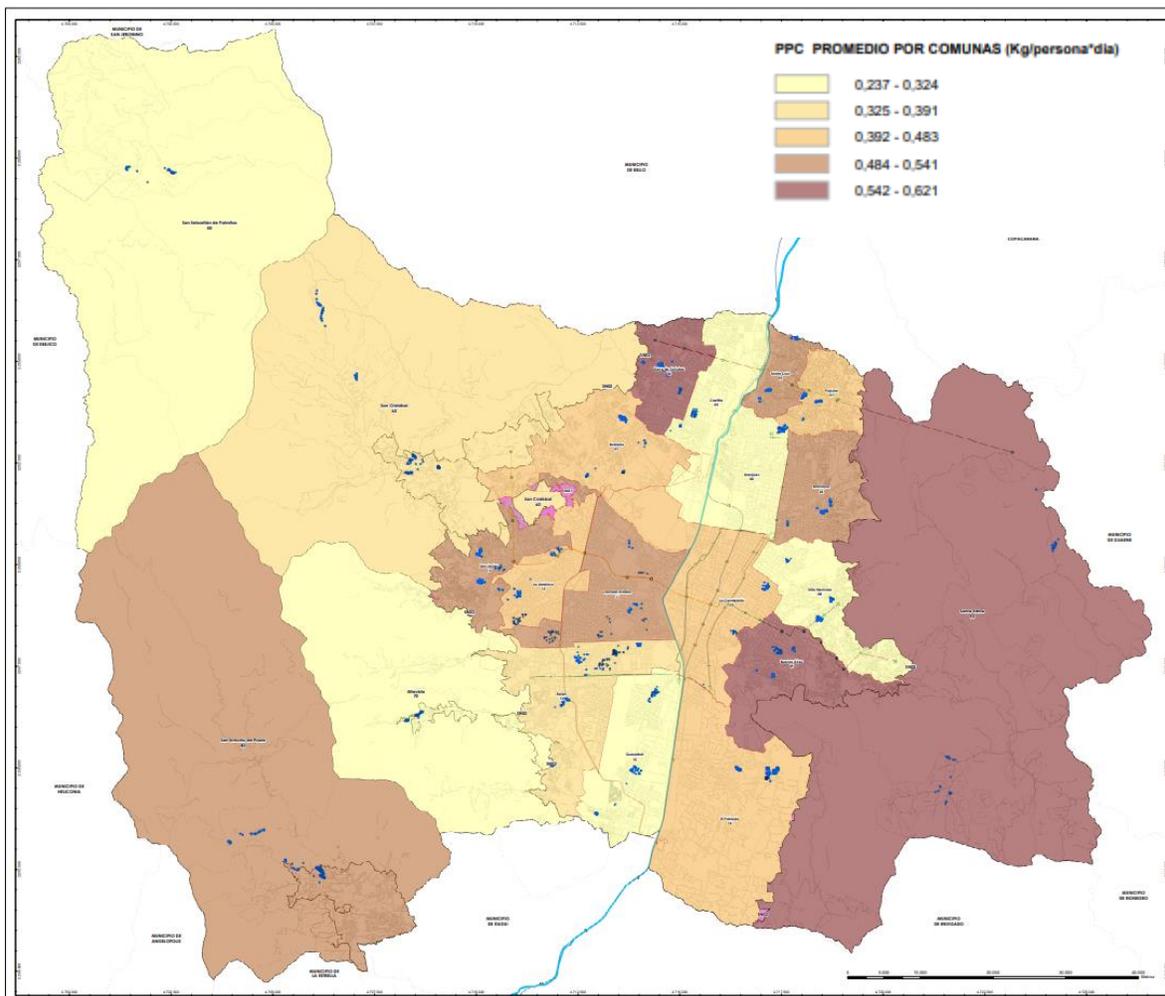
Gráfica 4. Producción Per Cápita (PPC) promedio en cada comuna del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín



Fuente: Elaboración propia

En el siguiente mapa se representa la distribución geográfica de las PPC encontradas en Medellín, según su agrupación geográfica por comuna, donde se evidencia los sectores de Medellín con mayores y menores valores de PPC.

Mapa 4. Producción Per Cápita (PPC) promedio en cada comuna del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín



Fuente: Elaboración propia

10.1.3 Análisis histórico de la PPC en el área urbana

Con el fin de determinar la generación per cápita de Medellín en diferentes años, la Subsecretaría de Servicios Públicos de la Secretaría de Gestión y Control Territorial, ha realizado periódicamente la caracterización de residuos sólidos desde el año 2014, además en años anteriores la actividad fue realizada por el prestador del servicio público de aseo.



Estos estudios de caracterización solo se han presentado por estrato socioeconómico, dado que la variabilidad de la PPC está en función de la capacidad adquisitiva, por lo que a continuación, se hace un consolidado de los resultados encontrados para el sector residencial de la zona urbana de Medellín en los estudios realizados en los años 2006, 2009, 2011, 2014, 2018 y 2023, con el fin de identificar la evolución de los valores de PPC en el tiempo.

Tabla 18. Datos históricos de la PPC residencial de residuos sólidos generados en la zona urbana de Medellín por estrato socioeconómico

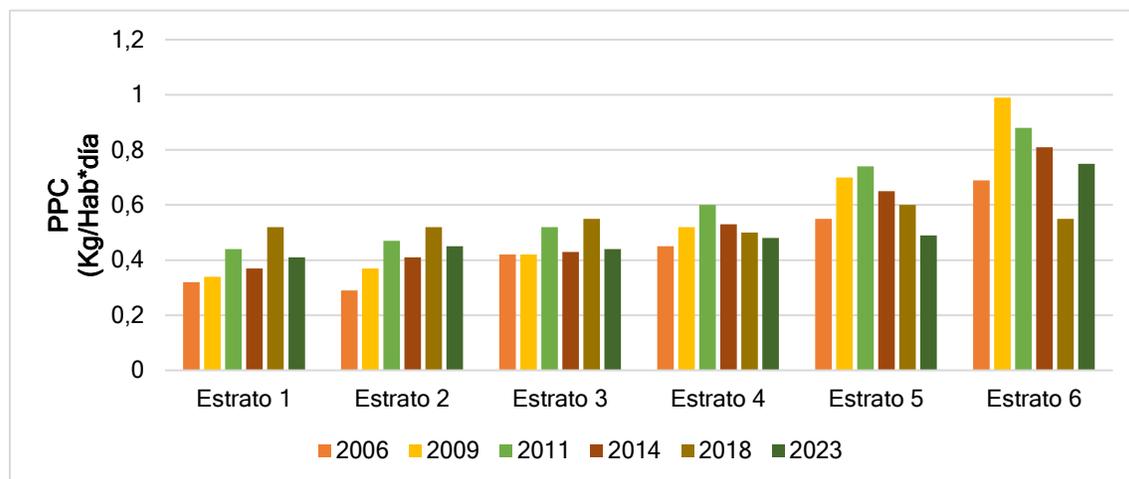
Estrato	PPC					
	(Kg/Hab*día)					
	2006	2009	2011	2014	2018	2023
1	0,32	0,34	0,44	0,37	0,52	0,41
2	0,29	0,37	0,47	0,41	0,52	0,45
3	0,42	0,42	0,52	0,43	0,55	0,44
4	0,45	0,52	0,60	0,53	0,50	0,48
5	0,55	0,7	0,74	0,65	0,60	0,49
6	0,69	0,99	0,88	0,81	0,55	0,75

Fuente: 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, 2018

Haciendo un análisis histórico de la PPC en el sector urbano de Medellín con el fin de comparar su comportamiento en el tiempo, se encuentra que de 2006 a 2023, los estratos socioeconómicos 1, 2 y 3 han presentado una tendencia al aumento en la PPC con el paso del tiempo, siendo menos evidente en el estrato 3, donde el valor ha permanecido estable con el paso del tiempo. Caso contrario sucede en los estratos 4, 5 y 6, que si bien hace algunos años reportaban incrementos en el tiempo, en la Gráfica 5, se puede visualizar que en los últimos años han venido mostrando una tendencia a la baja.



Gráfica 5. Comparativo de los datos históricos de la PPC residencial de residuos sólidos generados en la zona urbana de Medellín por estrato socioeconómico



Fuente: 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, 2018.

Tomando los promedios de la PPC del sector residencial de la zona urbana de Medellín, se evidencia un aumento constante de la PPC entre los años 2006 y 2011. Entre los años 2014 y 2023 se aprecian incrementos de la PPC para algunos estratos, pero disminuciones de dicho indicador para otros estratos socioeconómicos, por lo que el comportamiento es variable y heterogéneo.

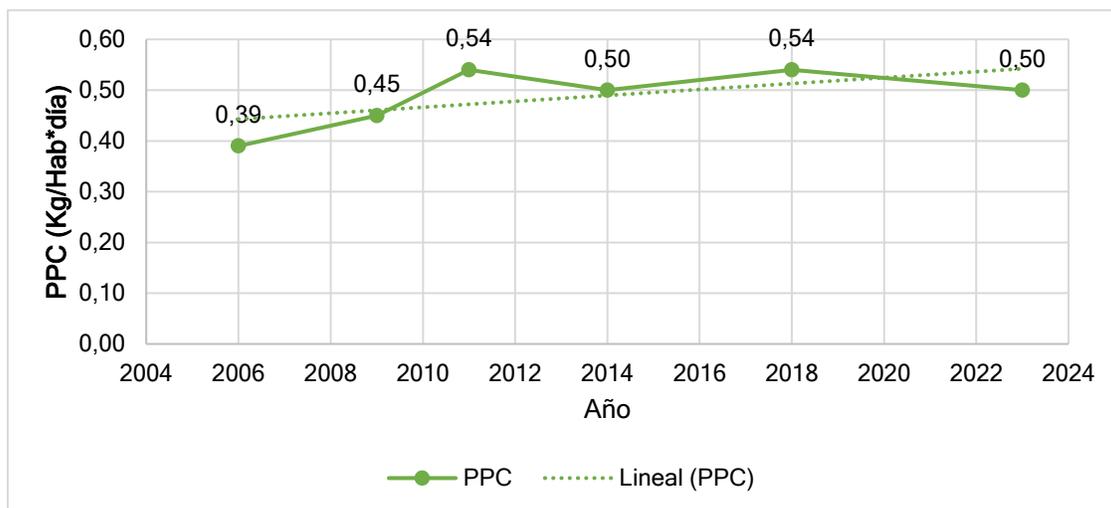
Frente a la disminución en la generación per cápita de los residuos residenciales, es importante tener en cuenta que situaciones como la pandemia por Covid-19 que generó importantes cambios de hábitos en la población pueden estar reflejados en la generación de residuos. Así mismo es importante tener en cuenta el efecto de las campañas que a nivel mundial y local se han generado frente a la importancia de la disminución de los residuos sólidos.

Tabla 19. Datos históricos de la PPC residencial promedio de residuos sólidos generados en la zona urbana de Medellín

Año	2006	2009	2011	2014	2018	2023
PPC (Kg/hab*día)	0,39	0,45	0,54	0,50	0,54	0,50

Fuente: 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, 2018.

Gráfica 6. Comparativo de los datos históricos de la PPC residencial promedio de residuos sólidos generados en la zona urbana de Medellín



Fuente: 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, 2018.

10.1.4 Proyección de la PPC en área urbana

A continuación, se presentan las proyecciones de la PPC hasta el año 2035, bajo la metodología de regresión lineal, tomando una tasa de crecimiento en función de la encontrada para Medellín, acorde al aumento de la PPC desde el año 2006 a la fecha.

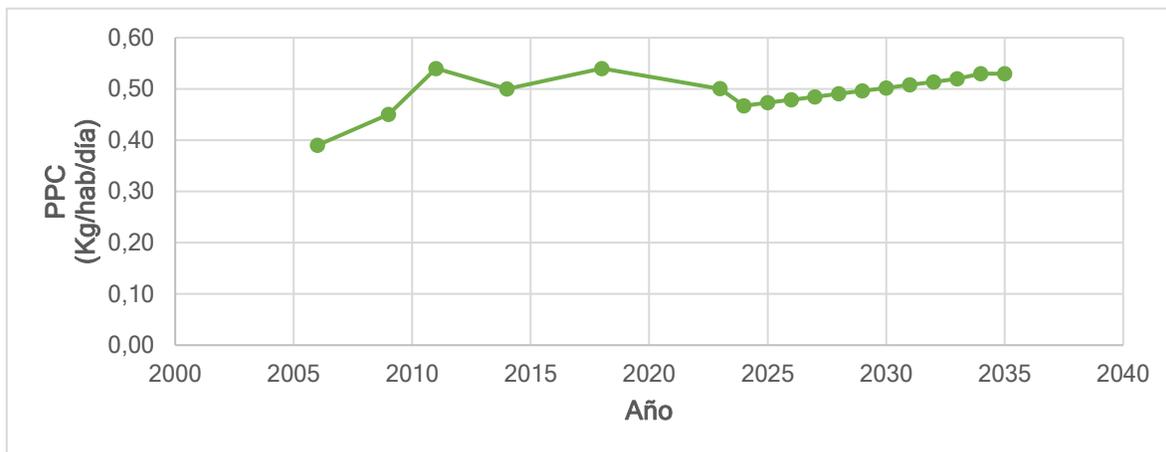
Tabla 20. Proyección de la PPC residencial promedio de residuos sólidos en la zona urbana de Medellín

Año	PPC (Kg/hab*día)
2006	0,39
2009	0,45
2011	0,54
2014	0,50
2018	0,54
2023	0,50
2024	0,47
2025	0,47
2026	0,48
2027	0,48
2028	0,49
2029	0,50
2030	0,50
2031	0,51
2032	0,51
2033	0,52
2034	0,53
2035	0,53

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 7. Proyección de la PPC residencial promedio de residuos sólidos en la zona urbana de Medellín



Fuente: Elaboración propia

10.2 Resultados de la Producción Per Cápita de residuos en los corregimientos de Medellín

10.2.1 Resultados PPC por corregimiento

Para los corregimientos de Medellín se realizó la recolección de muestras tanto en los centros poblados como en zona dispersa, teniendo en cuenta las diferencias en sus costumbres, hábitos, urbanismo, etc. Sin embargo, es importante mencionar que la inclusión de la zona dispersa en los estudios de caracterización de residuos de Medellín es primera vez que se realiza, por lo que en los análisis comparativos con resultados anteriores sólo se incluyen las cabeceras o centros poblados.

Como se muestra en la siguiente tabla, las PPC encontradas en corregimientos, presentan valores en sus centros poblados que van desde 0,20 Kg/hab*día hasta 0,78 Kg/hab*día con un promedio de 0,44 Kg/hab*día; y en zona dispersa valores que van desde 0,16 Kg/hab*día hasta 0,39 Kg/hab*día con un promedio de 0,30 Kg/hab*día.

Tabla 21. Producción Per Cápita residencial en corregimientos de Medellín

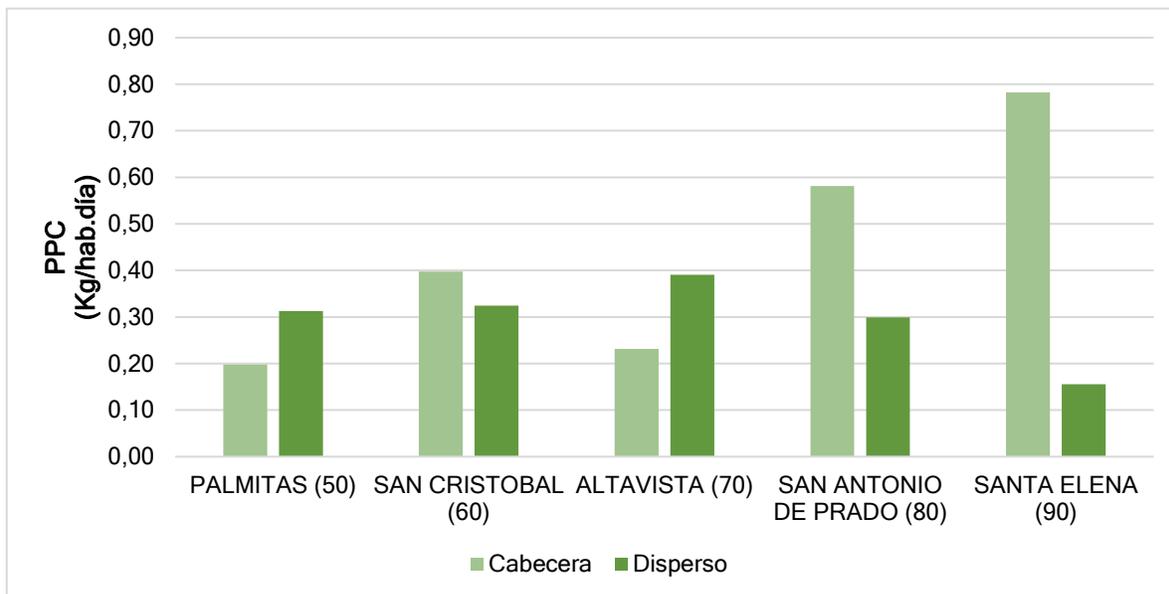
Corregimiento	PPC (Kg/Hab*Día)	
	Cabecera	Dispersa
Palmitas (50)	0,20	0,31
San Cristóbal (60)	0,40	0,32
Altavista (70)	0,23	0,39
San Antonio de Prado (80)	0,58	0,30
Santa Elena (90)	0,78	0,16
Promedio	0,44	0,30

Fuente: Elaboración propia

Los corregimientos de San Cristóbal, San Antonio de Prado y Santa Elena cuentan con mayor PPC en sus centros poblados frente a los demás corregimientos, siendo además estas cifras superiores a las PPC encontrada en su zona dispersa; esto puede ser explicado por el hecho de que los corregimientos de San Cristóbal y San Antonio de Prado, cuentan con costumbres y estilos de vida similares al sector urbano, mientras que Sana Elena cuenta con actividades más turísticas.

Por su parte, los corregimientos de Altavista y Palmitas cuentan con PPC mayores en la zona dispersa quizá porque estos cuentan con estilos de vida más rurales.

Gráfica 8. Comparativo de la PPC residencial de residuos sólidos generados en corregimientos de Medellín por zona



Fuente: Elaboración propia

10.2.2 Análisis histórico de la PPC en corregimientos

A continuación, se hace un consolidado e interpretación de los resultados encontrados para el sector residencial de los corregimientos de Medellín en los estudios realizados en los años 2006, 2009, 2011, 2014, 2018 y 2023 con el fin de identificar y describir todos aquellos factores que estén influyendo sobre la generación de residuos sólidos en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín.

Tabla 22. Datos históricos de la PPC de residuos sólidos generados en corregimientos de Medellín

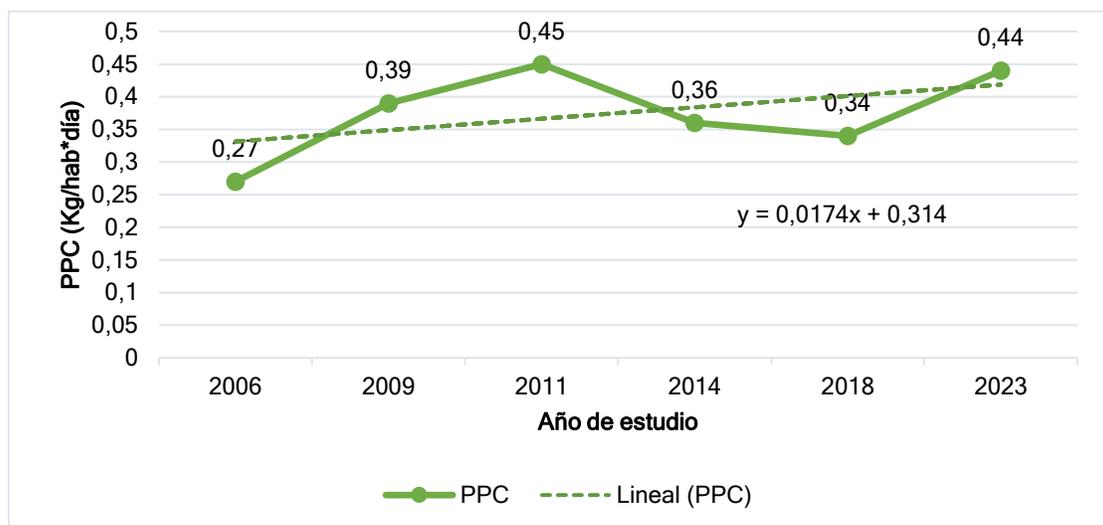
Año	2006	2009	2011	2014	2018	2023
PPC (Kg/hab*día)	0,27	0,39	0,45	0,36	0,34	0,44

Fuente: 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, 2018

Hasta el momento, en los estudios de caracterización de residuos de Medellín realizados en años anteriores, no se ha incluido la zona dispersa de los corregimientos, por lo que el análisis histórico de la PPC en corregimientos se hace teniendo en cuenta únicamente el resultado encontrado para las cabeceras.

De acuerdo con estos estudios se encuentra un crecimiento de la PPC hasta el año 2011, año a partir del cual se tiene un descenso para los años 2014 y 2018, con un aumento en 2023. A pesar de lo anterior, se encuentra una tendencia global de incremento.

Gráfica 9. Comparativo de los datos históricos de la PPC de residuos sólidos generados en corregimientos de Medellín



Fuente: 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, 2018.

10.2.3 Proyección de la PPC en corregimientos

A continuación, se proyecta la generación de residuos bajo la metodología de regresión lineal, tomando una tasa de crecimiento en función de la encontrada para la ciudad, acorde al aumento de la PPC desde el año 2006 a la fecha, como se muestra en la siguiente tabla.

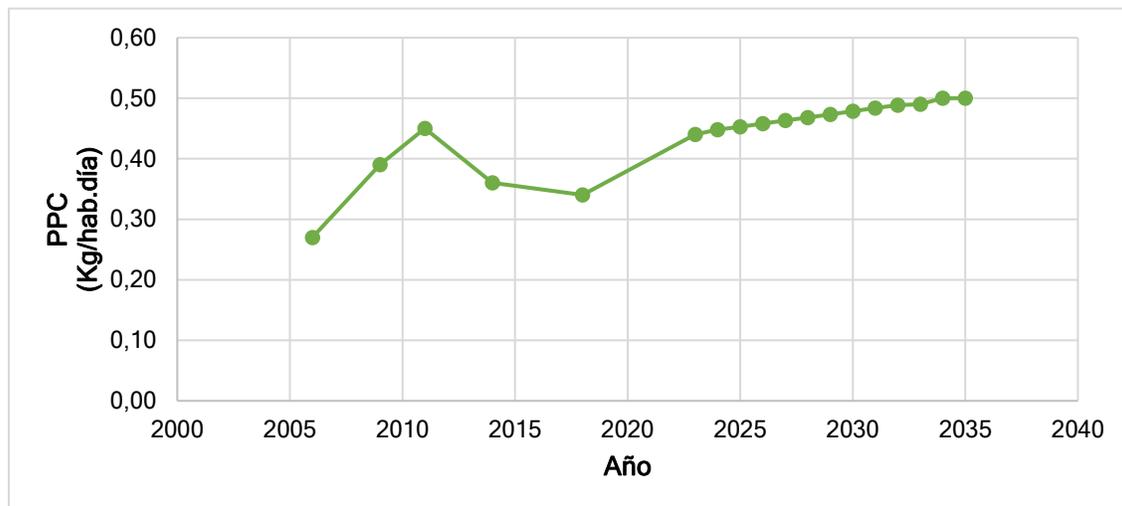
Tabla 23. Proyección de la PPC residencial promedio de residuos sólidos en corregimientos de Medellín

Año	PPC (Kg/hab*día)
2006	0,27
2009	0,39
2011	0,45
2014	0,36
2018	0,34
2023	0,44
2024	0,45
2025	0,45
2026	0,46
2027	0,46
2028	0,47
2029	0,47
2030	0,48
2031	0,48
2032	0,49
2033	0,49
2034	0,50
2035	0,50

Fuente: Elaboración propia



Gráfica 10. Proyección de la PPC residencial promedio de residuos sólidos en corregimientos de Medellín



Fuente: Elaboración propia

10.3 Resultados totales de Producción Per Cápita de residuos del sector residencial de Medellín y sus cinco corregimientos

De acuerdo con la Base de datos “desagregación predios por comuna y estrato rec_sui_2022” suministrada por la Subsecretaría de Servicios Públicos de Medellín, el Distrito cuenta con un total de 644.620 suscriptores del servicio de aseo, de los cuales 575.601 corresponden a usuarios de la zona urbana y 69.019 a los corregimientos; por tanto, con el fin de conocer la PPC residencial del Distrito de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín, se calcula el promedio ponderado de la PPC para Medellín, la cual corresponde a 0,50 Kg/hab*día. como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 24. PPC residencial promedio de los residuos sólidos en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín

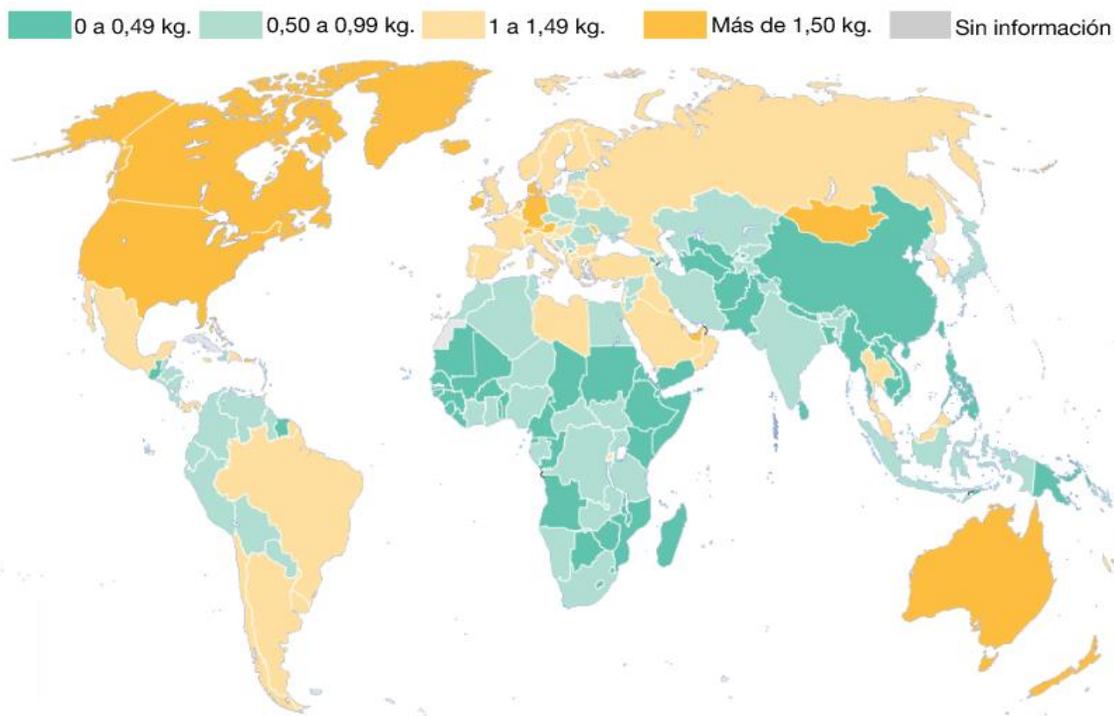
Zona	PPC (Kg/hab*día)
Zona urbana de Medellín	0,50
Cabecera de los corregimientos	0,44
Zona rural dispersa	0,30
Total Medellín (Promedio ponderado)	0,50

Fuente: Elaboración propia

El valor promedio de la PPC presenta un valor inferior a lo esperado de acuerdo con el comportamiento histórico de la ciudad y a los rangos de PPC establecidos en el RAS para un nivel de complejidad alto tal como corresponde para Medellín acorde a la población de su zona urbana. Sin embargo, el nivel económico de la población correspondería a un nivel de complejidad medio teniendo en cuenta que la mayoría de los suscriptores del servicio de aseo corresponde a los estratos 2 y 3, lo que se relaciona con valores promedio de PPC menores, según el RAS 001 (Definición del nivel de complejidad) y Título F del RAS.

Así mismo, estos valores se corresponden con la tendencia nacional, en la cual, la PPC promedio de Colombia se encuentra entre 0,50 Kg/hab*día y 0,99 Kg/hab*día como se evidencia en la siguiente figura en la que se puede visualizar la generación per cápita de los residuos a nivel nacional en relación con otros países a nivel mundial.

Ilustración 2. Generación per cápita de residuos en el mundo (2018)



Fuente: Banco Mundial, "Los desechos 2.0: Un panorama mundial de la gestión de desechos sólidos hasta 2050"

10.4 Análisis estadístico

10.4.1 Análisis estadístico de la Producción Per Cápita en zona urbana por estrato socioeconómico

El análisis estadístico que a continuación se explica fue realizado con el apoyo del software estadístico R versión 4.3.2 y Excel Office, con la finalidad de validar los datos y el comportamiento del índice de producción per cápita (PPC) obtenido en cada uno de los estratos socioeconómicos durante la realización del trabajo de campo para el sector residencial. A continuación, se muestra el resumen de los indicadores de la PPC y los valores descriptivos de los mismos, según la evaluación realizada en el 2023.

Tabla 25. Indicadores de la PPC para el sector residencial

N	ESTRATO	PPC (Media)	Desviación Estándar	Error Estándar	Mínimo	Máximo
151	Estrato 1	0,41	0,38	0,03	0,02	2,85
553	Estrato 2	0,45	0,50	0,02	0,01	4,25
608	Estrato 3	0,44	0,56	0,02	0,03	5,33
321	Estrato 4	0,48	0,56	0,03	0,04	4,25
227	Estrato 5	0,49	0,52	0,03	0,05	3,85
140	Estrato 6	0,75	0,12	0,01	0,62	0,98

Fuente: Elaboración propia

El valor de la “N” representa el tamaño de la muestra que fue necesaria para el estudio de caracterización de los residuos sólidos en los estratos socioeconómicos, la cual es representativa de la población de referencia.

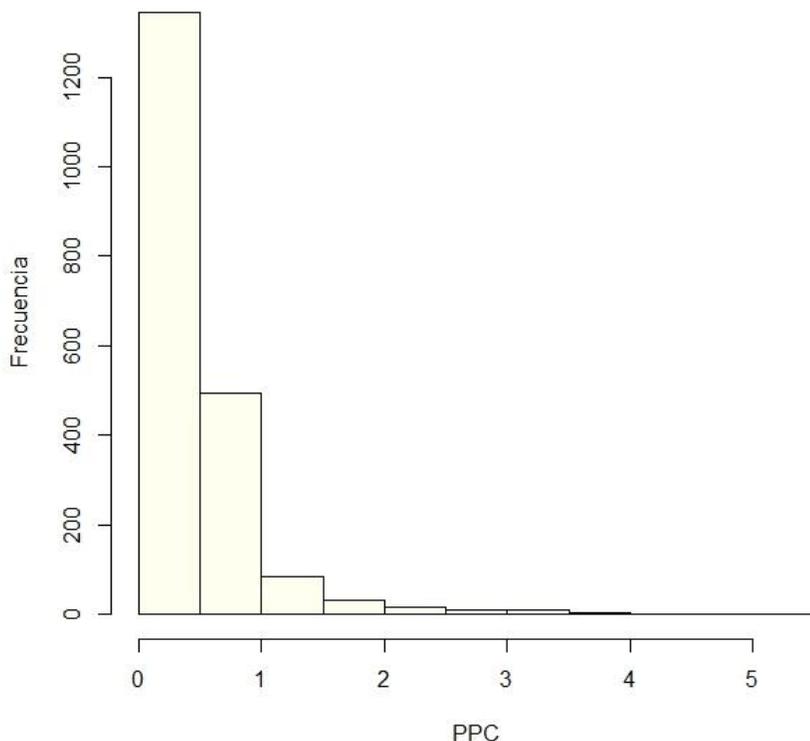
La media es el valor promedio de la PPC para cada uno de los estratos socioeconómicos en las viviendas donde se tomaron las muestras.

La desviación estándar nos explica la dispersión de los datos alrededor de la media. Entre más dispersos estén los datos el valor de la desviación estándar es más alto. Para el caso de los datos analizados del sector residencial, se tienen valores de desviación estándar relativamente bajos, lo que quiere expresar es que los datos son homogéneos.

Lo anterior representa, para cada uno de los estratos socioeconómicos, los valores de la PPC individuales están dispersos alrededor de la media más o menos dos veces la desviación estándar.



Gráfica 11. Histograma de frecuencia de las PPC



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica anterior se puede observar que los datos de la PPC de los estratos socioeconómicos de Medellín, tiene una asimetría a la derecha, es decir, los valores de la PPC se concentran entre valores de 0 y 1,5 Kg/habitante*día y llegan hasta valores máximos de 4 Kg/habitante*día.

También se utilizarán los intervalos de confianza para la media, lo que nos da un rango de valores admisible para la media de la población. Si un intervalo de confianza no incluye un valor determinado, podemos llegar a concluir que no es probable que la media de los datos sea verdadera para la población en estudio. A continuación, se presentan los intervalos de confianza para la PPC promedio para cada uno de los estratos socio económicos de Medellín.

Tabla 26. Intervalo de confianza al 95% para la media de la PPC

Estrato	PPC (media)	Valores de la PPC por estrato		Intervalo de confianza al 95% para la media de la PPC	
		Mínimo	Máximo	Límite inferior	Límite Superior
Estrato 1	0,41	0,02	2,85	0,35	0,47
Estrato 2	0,45	0,01	4,25	0,41	0,50
Estrato 3	0,44	0,03	5,33	0,39	0,48
Estrato 4	0,48	0,04	4,25	0,42	0,54
Estrato 5	0,49	0,05	3,85	0,42	0,55
Estrato 6	0,75	0,62	0,98	0,73	0,77

Fuente: Elaboración propia

Según lo descrito anteriormente, las PPC promedio constituyen un buen estimador de la generación por persona, ya que todos los intervalos de confianza contienen la media de cada uno de los estratos socioeconómicos. Esto también nos lleva a concluir que las medias para cada uno de los estratos son verdaderas.

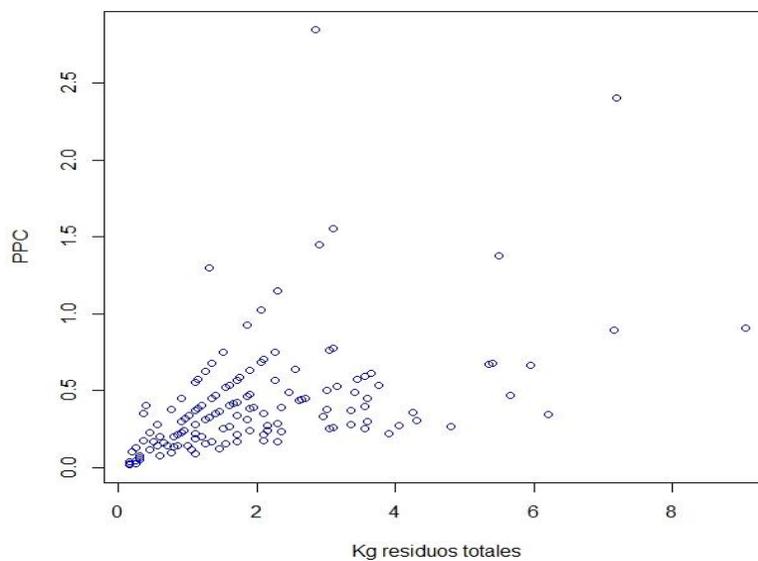
Los intervalos de confianza son reportados con rangos o intervalos y estimadores puntuales. Los intervalos describen los valores inferiores y superiores (límites) de incertidumbre o márgenes de error.

El nivel de confianza de 95 % significa que el intervalo de confianza abarca el valor verdadero en 95 de 100 estudios desarrollados. Es decir, que de 100 estudios que se realicen el 95% de las veces el valor real de la PPC en cada uno de los estratos caerá entre los límites inferior y superior de los intervalos.

A continuación, se presentan los gráficos de dispersión para cada uno de los estratos socioeconómicos de Medellín, en los cuales se relacionan los valores de PPC y los kilogramos de residuos totales muestreados:

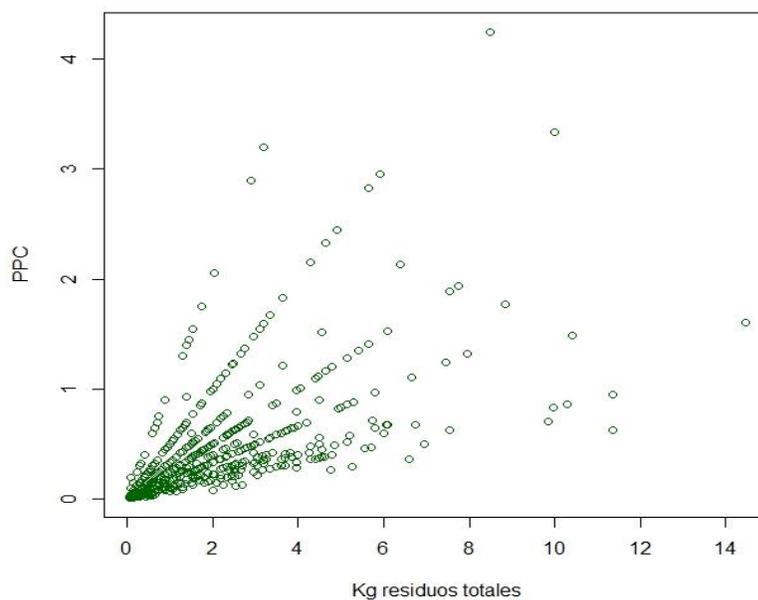


Gráfica 12. Dispersión de los datos de la PPC del estrato 1



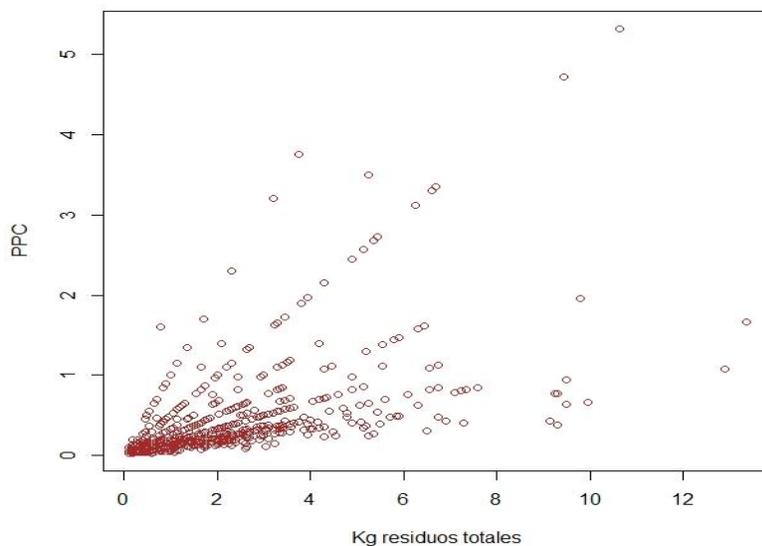
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 13. Dispersión de los datos de la PPC del estrato 2.



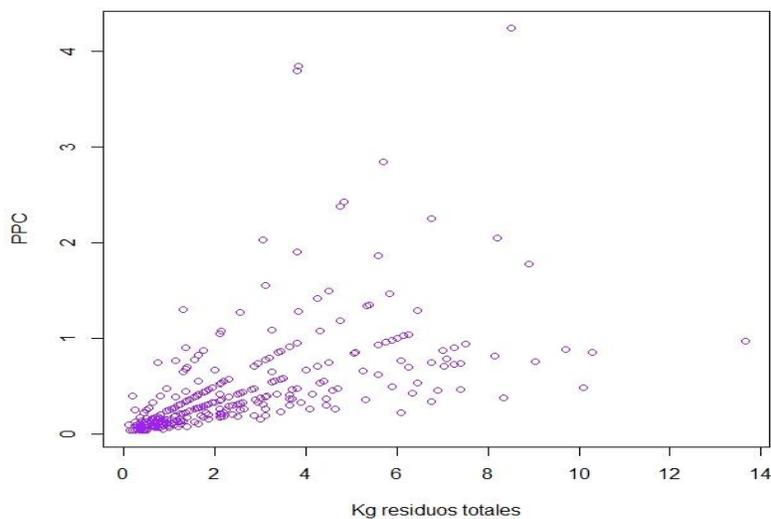
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 14. Dispersión de los datos de la PPC del estrato 3



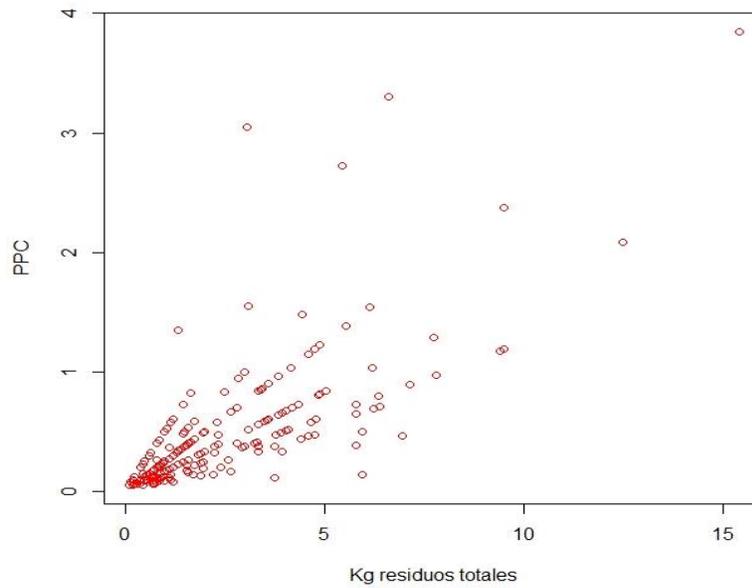
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 15. Dispersión de los datos de la PPC del estrato 4



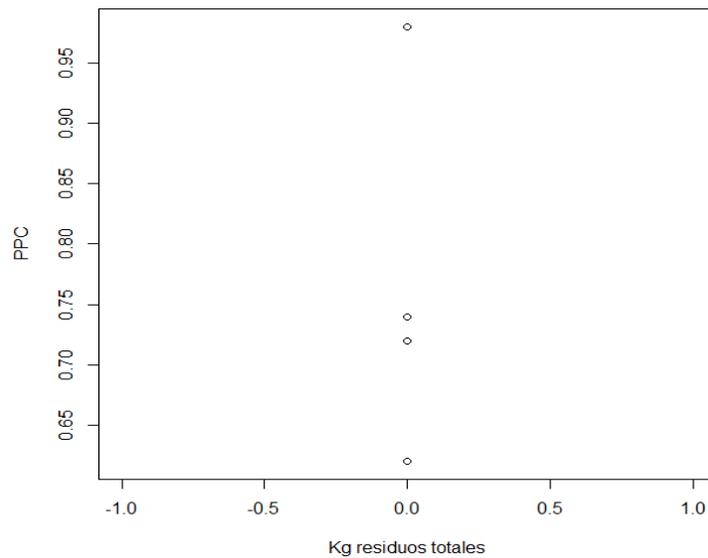
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 16. Dispersión de los datos de la PPC del estrato 5



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 17. Distribución de los datos de la PPC estrato 6, para cuatro unidades residenciales



Fuente: Elaboración propia

De las gráficas anteriores se puede concluir que los estratos socioeconómicos 1 a 5, tienen una figura de agrupación semejante para los valores de PPC entre 0 y 1,5 Kg/habitante*día, adicionalmente, se observa que a medida que aumentan los kilogramos de residuos totales muestreados, también aumentan los valores de PPC. Para el estrato 6 la distribución de los datos se manifiesta mediante cuatro puntos (valores de PPC), obtenidos mediante la recolección de muestras de residuos sólidos en cuatro unidades residenciales diferentes. Esta situación se presentó, por la dificultad de encontrar viviendas unifamiliares en el estrato 6, lo que se origina por la verticalización de la construcción o por la construcción de unidades residenciales en lugar de viviendas unifamiliares típicas.

A continuación, se presenta la comparación estadística del valor de la media y los intervalos de confianza para los estudios de caracterización de los años 2009, 2011, 2014, 2018 y 2023:

Tabla 27. Comparación estadística de la PPC promedio para los diferentes estudios de caracterización de residuos sólidos realizados en Medellín desde 2009 hasta 2023

Estrato	2009	2011	2014	2018	2023	Intervalo de confianza para la media de la PPC	
						Límite inferior	Límite Superior
Estrato 1	0,34	0,41	0,37	0,52	0,41	0,35	0,47
Estrato 2	0,37	0,47	0,41	0,52	0,45	0,41	0,50
Estrato 3	0,43	0,52	0,43	0,55	0,44	0,39	0,48
Estrato 4	0,52	0,60	0,53	0,60	0,48	0,42	0,54
Estrato 5	0,70	0,74	0,65	0,60	0,49	0,42	0,55
Estrato 6	0,99	0,88	0,81	0,55	0,75	0,73	0,77

Fuente: Elaboración propia

Con los datos de la Tabla 27 que están resaltados en color verde, se puede contrastar los valores de la media calculada para la PPC y los intervalos de confianza estimados mediante diferentes estudios de caracterización. Se observa que para el año 2009 solo el valor promedio de la PPC de los estratos 3 y 4 se encuentran dentro del intervalo de confianza estimado. Para el año 2011 los valores promedio de la PPC de los estratos 1

y 2 se encuentran dentro del intervalo de confianza. Para el año 2014 los valores promedio de la PPC de los estratos 1, 2, 3 y 4 se encuentran dentro del intervalo de confianza establecido. Para el año 2018 ningún valor promedio de la PPC se encuentra en el intervalo de confianza calculado. Solamente para el estudio de caracterización del año 2023, todos los valores promedio de PPC para los 6 estratos socioeconómicos se encontraron dentro del intervalo de confianza estimado.

Lo anterior quiere decir que dicho intervalo de confianza nos permite calcular dos valores (uno superior y otro inferior) alrededor de la media muestral y que estos valores van a acotar un rango dentro del cual, con una determinada probabilidad, se va a localizar la PPC. Para el caso del estudio del 2023, este intervalo de confianza para la media poblacional indica que, si el estudio se realiza cualquier cantidad de veces dentro de un periodo de tiempo determinado, el 95% de los casos la media de cada uno de los ensayos estará dentro de ese intervalo.

Para el estudio de caracterización del año 2023 podemos concluir que las PPC promedio constituyen un buen estimador de la generación por persona, ya que todos los intervalos de confianza contienen la media de cada uno de los estratos socioeconómicos. Esto también nos lleva a concluir que las medias para cada uno de los estratos son verdaderas.

De otro lado, el análisis de correlación entre las variables determina el tipo de asociación entre las variables. Para el caso del presente estudio, se revisó si las variables PPC y kilogramos de residuos totales muestreados tienen correlación. Para el análisis del coeficiente de correlación, un valor menor que 0 indica que existe una correlación negativa, es decir, que las dos variables están asociadas en sentido inverso. Cuánto más se acerca a uno negativo (-1), mayor es la fuerza de esa relación invertida, lo que implica que cuando el valor en una variable sea muy alto, el valor en la otra será muy bajo. Cuando es exactamente -1, eso significa que tienen una correlación negativa perfecta.

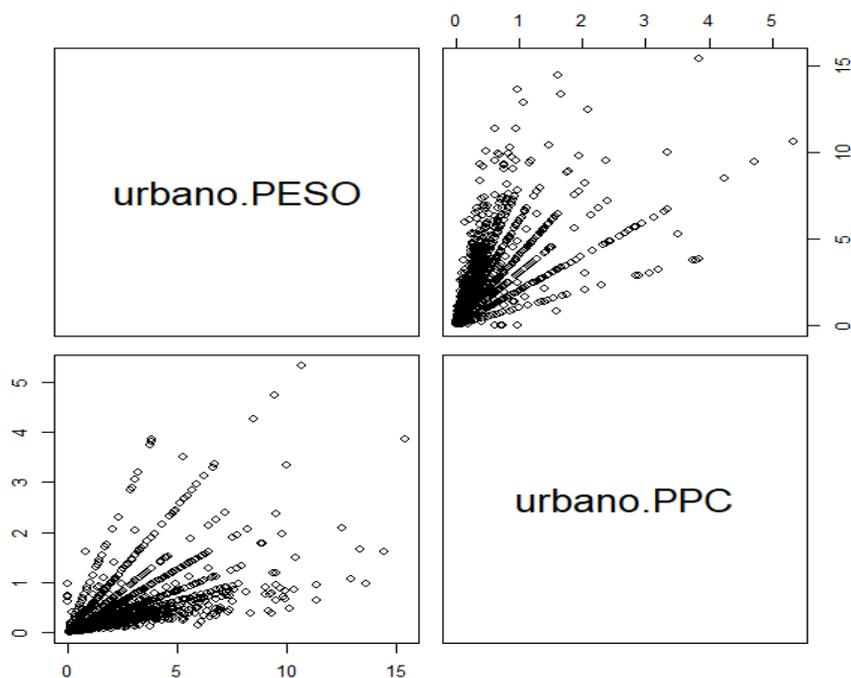
Un valor mayor que 0 indica que existe una correlación positiva. En este caso las variables estarían asociadas en sentido directo. Cuanto más cerca de uno positivo (+1), más alta es su asociación. Un valor exacto de +1 indicaría una relación lineal positiva perfecta. Finalmente, una correlación de 0, o próxima a 0, indica que no hay relación lineal entre las dos variables.

Para el caso de estudio de la PPC en el presente estudio, el coeficiente de correlación entre el peso (kilogramos de residuos totales muestreados) y la PPC es de 0.51, lo que indica una relación lineal positiva.



Se puede concluir que se presentó una correlación lineal positiva entre las dos variables analizadas, como se aprecia en la siguiente gráfica.

Gráfica 18. Correlación entre las variables Peso y PPC



Fuente: Elaboración propia

El análisis *Anova* es una prueba estadística que señala si las variables son dependientes o independientes. Esta prueba permite establecer si los resultados de una prueba son significativos, evaluando si las medias de las variables dependientes (PPC), son diferentes en las categorías o grupos de la variable independiente (Estrato socioeconómico). Es decir, señala si las medias entre dos o más grupos son similares o diferentes.

A continuación, se plantea una prueba de hipótesis donde se determina si todas las medias de los estratos son iguales, contra una hipótesis alternativa relacionada con que todas las medias de los estratos son diferentes.

Tabla 28. Análisis de varianza para la comparación de los resultados de la PPC por estrato

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Valor P
Entre grupos	140,1	1	140,1	726,5	< 2.2e-16 ***
Dentro de los grupos	835,3	1998	0,193		

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 por estrato socioeconómicos, se obtiene que el valor $p < 0,05$, con una confianza del 95%. Rechazamos la hipótesis que todas las medias son iguales, y podemos afirmar la hipótesis alternativa que al menos una de las medias entre los estratos es diferente y llegar a concluir que la producción per cápita entre los estratos tiene diferencias o son independientes, es decir, hay suficiente evidencia estadística de que cada estrato puede ser tratado y analizado de forma independiente.

10.4.2 Análisis estadístico de la Producción Per Cápita en los corregimientos de Medellín

El análisis estadístico que a continuación se explica fue realizado con el apoyo del software estadístico R versión 4.3.2 y Excel Office, para validar los datos y el comportamiento del índice de producción per cápita (PPC) obtenido en cada uno de los corregimientos durante la realización del trabajo de campo para el sector residencial. A continuación, se muestra el resumen de los indicadores de la PPC y los valores descriptivos de los mismos, según la evaluación realizada en el 2023.

Tabla 29. Indicadores de la PPC para el sector residencial - Corregimientos

N	Estrato	PPC (media)	Desviación estándar	Error estándar	Mínimo	Máximo
60	San Sebastián de Palmitas (50)	0,24	0,21	0,03	0,01	0,97
266	San Cristóbal (60)	0,38	0,50	0,03	0,01	4,30
76	Altavista (70)	0,29	0,34	0,04	0,01	1,95
225	San Antonio de Prado (80)	0,50	0,59	0,04	0,01	3,75
78	Santa Elena (90)	0,62	0,95	0,11	0,02	5,65

Fuente: Elaboración propia

El valor de la n representa el tamaño de la muestra que fue necesario para el estudio de caracterización de los residuos sólidos en los corregimientos, a partir de los cuales se hicieron inferencias. Este es un valor representativo de la población de referencia, es decir, del tamaño real de las viviendas de los suscriptores residenciales que cuentan con servicio público de aseo.

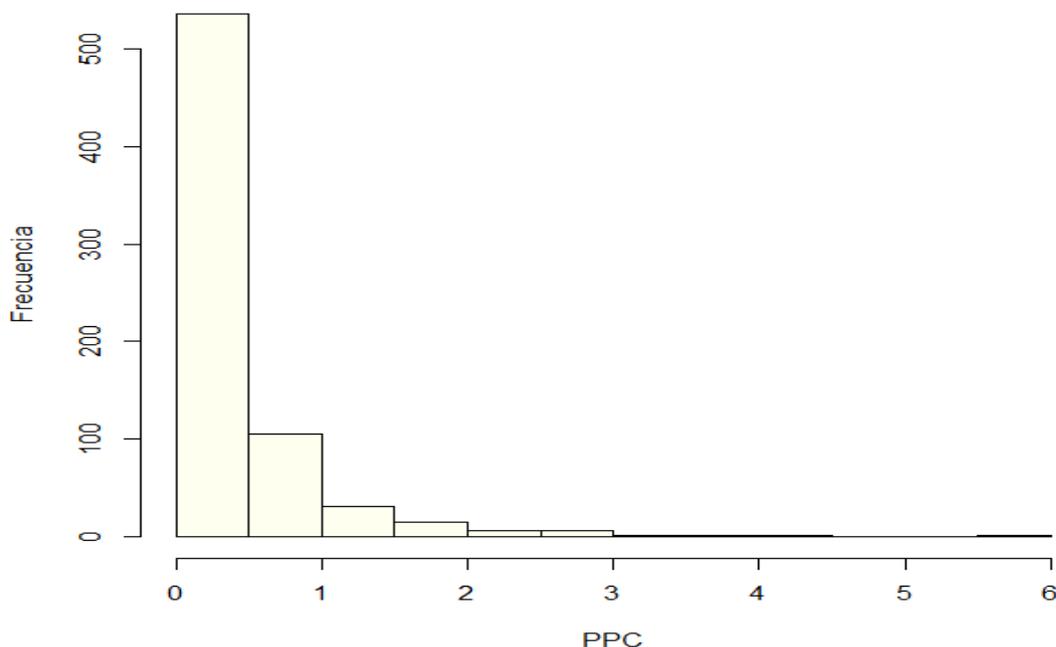
La media es el valor de la PPC para cada uno de los corregimientos en las viviendas donde se tomaron las muestras.

La desviación estándar nos explica la dispersión de los datos alrededor de la media. Entre más dispersos estén los datos el valor de la desviación estándar es más alto. Para el caso de los datos analizados de los corregimientos, se tienen valores de desviación estándar relativamente bajos, lo que quiere decir que los datos son homogéneos.

Lo anterior quiere decir que, para cada uno de los corregimientos, los valores de la PPC individuales están dispersos alrededor de la media más o menos dos veces la desviación estándar.



Gráfica 19. Histograma de frecuencia de las PPC en corregimientos



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica anterior se puede observar que los datos de la PPC de los corregimientos de Medellín, tiene una asimetría a la derecha, es decir, los valores de la PPC se concentran entre valores de 0 y 2 Kg/habitante*día y llegan hasta valores máximos de 6 Kg/habitante*día.

También se utilizan los intervalos de confianza para la media, lo que nos da un rango de valores admisible para la media de la población. Si un intervalo de confianza no incluye un valor determinado, podemos llegar a concluir que no es probable que la media de los datos sea verdadera para la población en estudio. A continuación, se presentan los intervalos de confianza para la PPC promedio para cada uno de los corregimientos de Medellín.

Tabla 30. Intervalo de confianza del 95% para la media de la PPC

Estrato	PPC (media)	Valores de la ppc por estrato		Intervalo de confianza para la media de la PPC	
		Mínimo	Máximo	Límite inferior	Límite Superior
San Sebastián de Palmitas (50)	0,24	0,01	0,97	0,18	0,29
San Cristóbal (60)	0,38	0,01	4,30	0,32	0,44
Altavista (70)	0,29	0,01	1,95	0,21	0,36
San Antonio de Prado (80)	0,50	0,01	3,75	0,42	0,58
Santa Elena (90)	0,62	0,02	5,65	0,41	0,83

Fuente: Elaboración propia

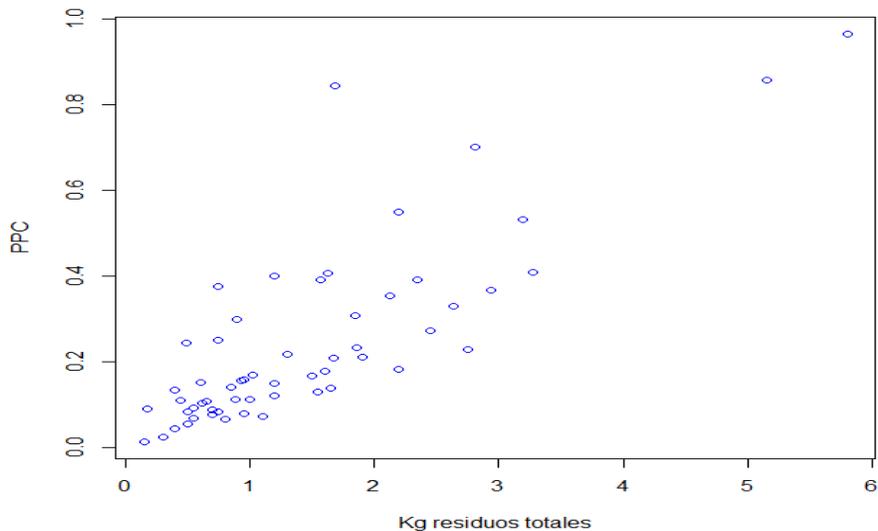
Según lo descrito anteriormente, podemos concluir que las PPC promedio constituyen un buen estimador de la generación por persona, ya que todos los intervalos de confianza contienen la media de cada uno de los corregimientos. Esto también nos lleva a concluir que las medias para cada uno de los corregimientos son verdaderas.

Los Intervalos de Confianza son reportados con rangos o intervalos y estimadores puntuales. Los intervalos describen los valores inferiores y superiores (límites) de incertidumbre o márgenes de error.

El nivel de confianza de 95% significa que el intervalo de confianza abarca el valor verdadero en 95 de 100 estudios desarrollados. Es decir, que de 100 estudios que se realicen el 95% de las veces el valor real de la PPC en cada uno de los corregimientos caerá entre los límites inferior y superior de los intervalos.

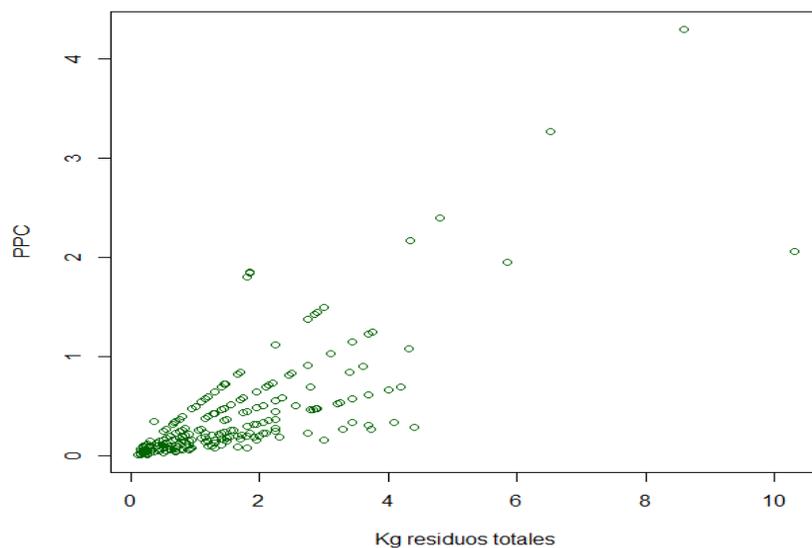
A continuación, se presentan los gráficos de dispersión para cada uno de los corregimientos de Medellín, en los cuales se relacionan los valores de PPC y los kilogramos de residuos totales muestreados:

Gráfica 20.. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 50 San Sebastián de Palmitas



Fuente: Elaboración propia

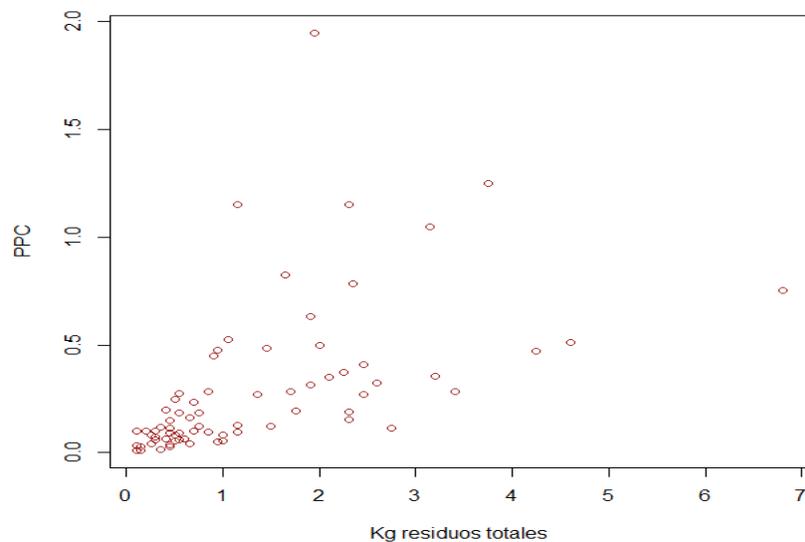
Gráfica 21. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 60 San Cristóbal



Fuente: Elaboración propia

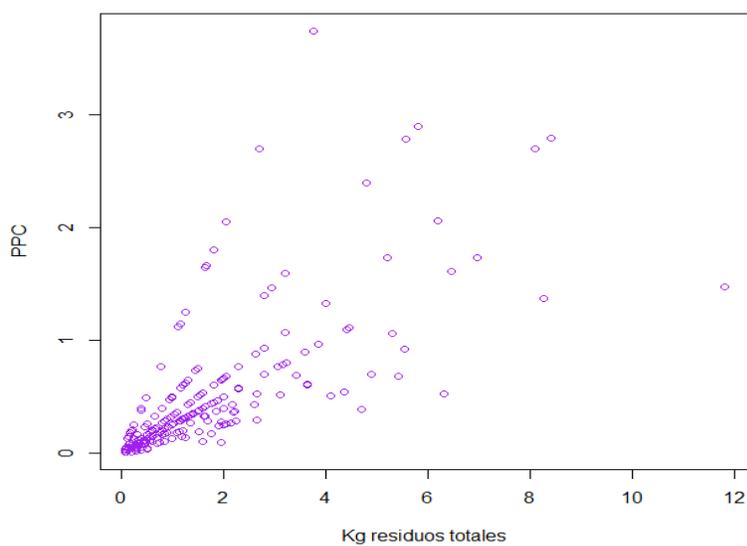


Gráfica 22. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 70 Altavista



Fuente: Elaboración propia

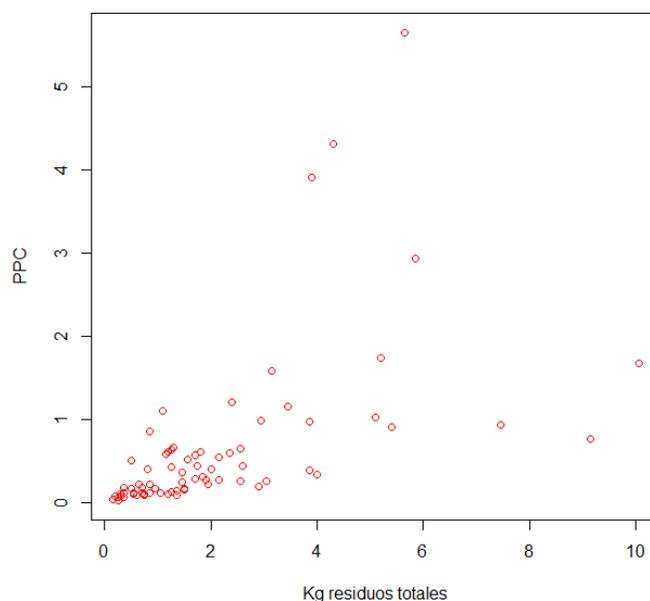
Gráfica 23.. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 80 San Antonio de Prado



Fuente: Elaboración propia



Gráfica 24. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 90 Santa Elena



Fuente: Elaboración propia

De las gráficas anteriores se puede concluir que todos los corregimientos tienen una figura de agrupación semejante para los valores de PPC entre 0 y 1,5 Kg/habitante*día, además de lo cual también se observa que a medida que aumentan los kilogramos de residuos totales muestreados, también aumentan los valores de PPC y presencia de datos atípicos que no afectan la media.

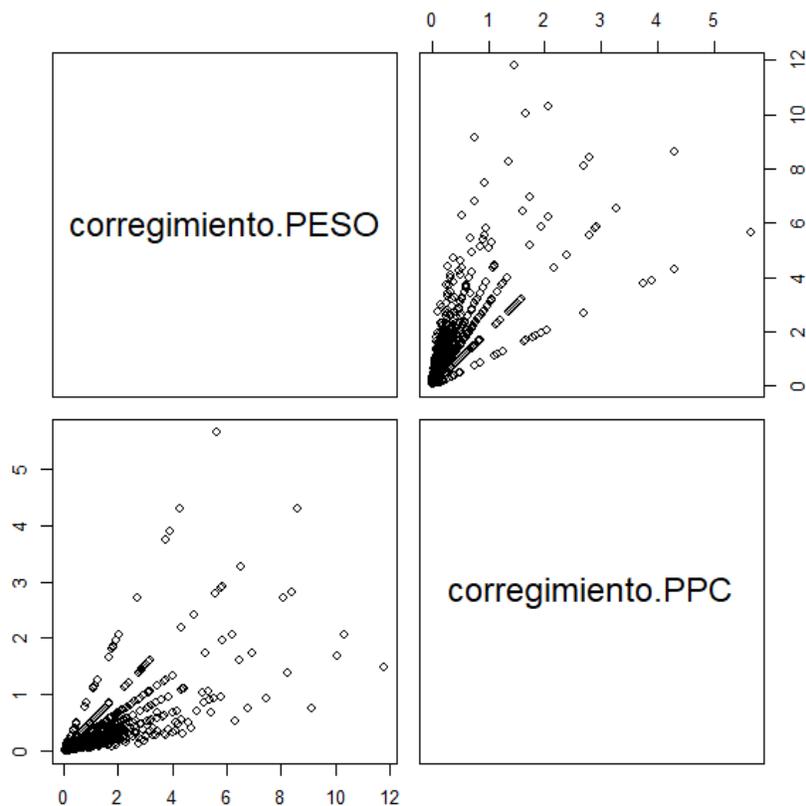
Para el análisis del coeficiente de correlación, un valor menor que 0 indica que existe una correlación negativa, es decir, que las dos variables están asociadas en sentido inverso. Cuánto más se acerca a uno negativo (-1), mayor es la fuerza de esa relación invertida, lo que implica que cuando el valor en una variable sea muy alto, el valor en la otra será muy bajo. Cuando es exactamente -1, eso significa que tienen una correlación negativa perfecta.

Un valor mayor que 0 indica que existe una correlación positiva. En este caso las variables estarían asociadas en sentido directo. Cuanto más cerca de uno positivo (+1), más alta es su asociación. Un valor exacto de +1 indicaría una relación lineal positiva perfecta. Finalmente, una correlación igual o próxima a 0, indica que no hay relación lineal entre las dos variables.

Para el caso de estudio de la PPC en el presente estudio, el coeficiente de correlación entre el peso (kilogramos de residuos totales muestreados) y la PPC es de 0.67, lo que indica una relación lineal positiva.

Se puede concluir que se presentó una correlación lineal positiva entre las dos variables analizadas, como se aprecia a continuación.

Gráfica 25. Correlación entre las variables Peso y PPC



Fuente: Elaboración propia

El análisis *Anova* es una prueba estadística que señala si las variables son dependientes o independientes. Esta prueba permite establecer si los resultados de una prueba son significativos, evaluando si las medias de las variables dependientes (PPC), son diferentes en las categorías o grupos de la variable independiente (Estrato socioeconómico). Es decir, señala si las medias entre dos o más grupos son similares o diferentes.

A continuación, se plantea una prueba de hipótesis donde se determina si todas las medias de los estratos son iguales, contra una hipótesis alternativa relacionada con que todas las medias de la cabecera de los corregimientos son diferentes.

Tabla 31. Análisis de varianza para la comparación de los resultados de la PPC por estrato

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Valor P
Entre grupos	107,23	1	107,234	597,53	< 2.2e-16 ***
Dentro de los grupos	126,16	703	0,179		

Fuente: Elaboración propia

Al realizar este análisis de varianza por medio de la prueba **Anova**, para verificar la diferencia de medias de la PPC para la cabecera de los corregimientos, se obtiene que el valor $p < 0,05$, con una confianza del 95%. Rechazamos la hipótesis que todas las medias son iguales, y podemos afirmar la hipótesis alternativa que al menos una de las medias entre los estratos es diferente y llegar a concluir que la producción per cápita entre los corregimientos tiene diferencias o son independientes, es decir, hay suficiente evidencia estadística de que cada cabecera corregimental puede ser tratada y analizada de forma independiente.

10.4.3 Análisis estadístico de la Producción Per Cápita en los corregimientos cabecera y zona rural dispersa

10.4.3.1 Cabecera

Para validar los datos y el comportamiento del índice de producción per cápita (PPC) obtenido en cada uno de los corregimientos durante la realización del trabajo de campo para el sector residencial, se muestra a continuación el resumen de los indicadores de la PPC y los valores descriptivos de los mismos, según la evaluación realizada en el año 2023.

Tabla 32. Indicadores de la PPC para el sector residencial - Corregimientos

N	Corregimientos Cabecera	PPC (Media)	Desviación Estándar	Error Estándar	Mínimo	Máximo
40	San Sebastián de Palmitas (50)	0,20	0,15	0,06	0,01	0,725
196	San Cristóbal (60)	0,40	0,51	0,04	0,01	4,3
50	Altavista (70)	0,23	0,24	0,08	0,01	1,25
159	San Antonio de Prado (80)	0,58	0,64	0,04	0,04	3,75
58	Santa Elena (90)	0,78	1,05	0,07	0,02	5,65

Fuente: Elaboración propia

El valor de la n representa el tamaño de la muestra que fue necesario para el estudio de caracterización de los residuos sólidos en los corregimientos cabecera, a partir de los cuales se hicieron inferencias. Este es un valor representativo de la población de referencia, es decir, del tamaño real de los suscriptores residenciales que cuentan con servicio público de aseo.

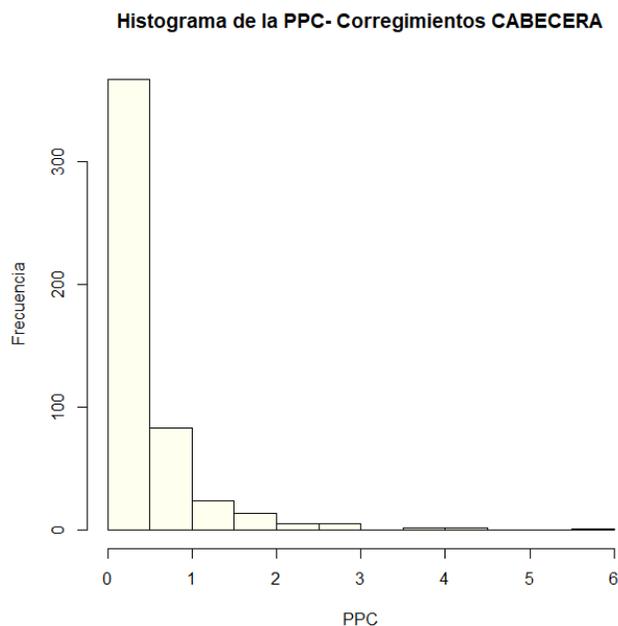
La media poblacional es el valor de la PPC para cada uno de los corregimientos en la cabecera de las viviendas donde se tomaron las muestras.

La desviación estándar nos explica la dispersión de los datos alrededor de la media. Entre más dispersos estén los datos el valor de la desviación estándar es más alto. Para el caso de los datos analizados de los corregimientos en la cabecera, se tienen valores de desviación estándar relativamente bajos, lo que quiere decir que los datos son homogéneos.

Lo anterior quiere decir que, para cada uno de los corregimientos, los valores de la PPC individuales están dispersos alrededor de la media más o menos dos veces la desviación estándar.



Gráfica 26. Histograma de frecuencia de las PPC



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que los datos de la PPC de los corregimientos en la cabecera, tiene una asimetría a la derecha, es decir, los valores de la PPC se concentran entre valores de 0 y 2,5 Kg/habitante*día y llegan hasta valores máximos de 6 Kg/habitante*día.

También se utilizan los intervalos de confianza para la media, lo que nos da un rango de valores admisible para la media de la población. Si un intervalo de confianza no incluye un valor determinado, podemos llegar a concluir que no es probable que la media de los datos sea verdadera para la población en estudio. A continuación, se presentan los intervalos de confianza para la PPC promedio para cada uno de los corregimientos en la cabecera de estos.

Tabla 33. Intervalo de confianza del 95% para la media de la PPC

Corregimientos Cabecera	PPC (Media)	Valores de la PPC por estrato		Intervalo de confianza para la media de la PPC	
		Mínimo	Máximo	Límite inferior	Límite Superior
San Sebastián de Palmitas (50)	0,198	0,01	0,73	0,14	0,26
San Cristóbal (60)	0,397	0,01	4,3	0,36	0,44
Altavista (70)	0,231	0,01	1,25	0,18	0,28
San Antonio de Prado (80)	0,581	0,04	3,75	0,52	0,64
Santa Elena (90)	0,782	0,02	5,65	0,71	0,85

Fuente: Elaboración propia

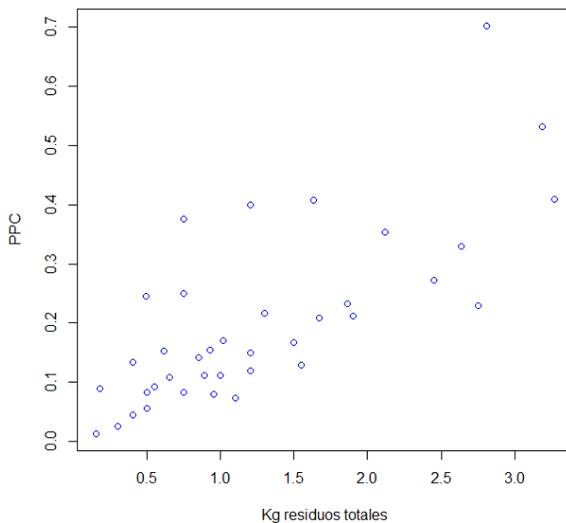
Según lo descrito anteriormente, podemos concluir que las PPC promedio constituyen un buen estimador de la generación por persona, ya que todos los intervalos de confianza contienen la media de cada uno de los corregimientos en la cabecera. Esto también nos lleva a concluir que las medias para cada uno de los corregimientos en sus cabeceras son verdaderas.

Los Intervalos de Confianza son reportados con rangos o intervalos y estimadores puntuales. Los intervalos describen los valores inferiores y superiores (límites) de incertidumbre o márgenes de error.

El nivel de confianza de 95% significa que el intervalo de confianza abarca el valor verdadero en 95 de 100 estudios desarrollados. Es decir, que de 100 estudios que se realicen el 95% de las veces el valor real de la PPC en cada uno de los corregimientos caerá entre los límites inferior y superior de los intervalos.

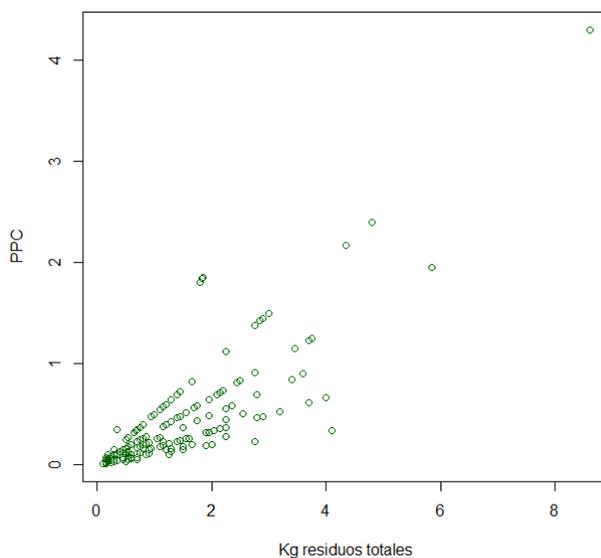
A continuación, se presentan los gráficos de dispersión para cada uno de los corregimientos en su cabecera, en los cuales se relacionan los valores de PPC y los kilogramos de residuos totales muestreados:

Gráfica 27. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 50 San Sebastián de Palmitas



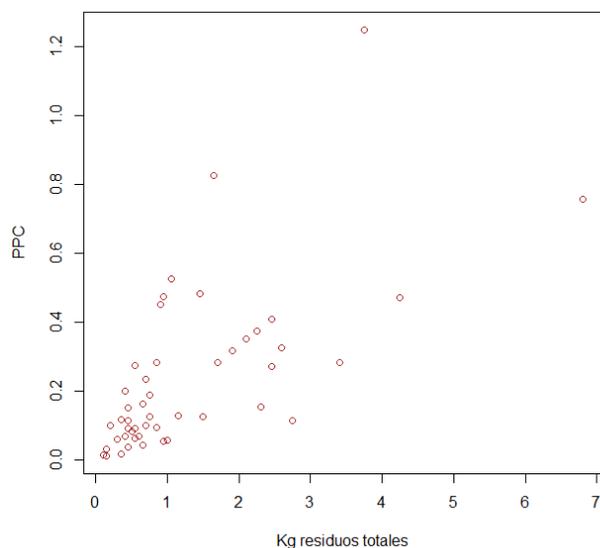
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 28. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 60 San Cristóbal



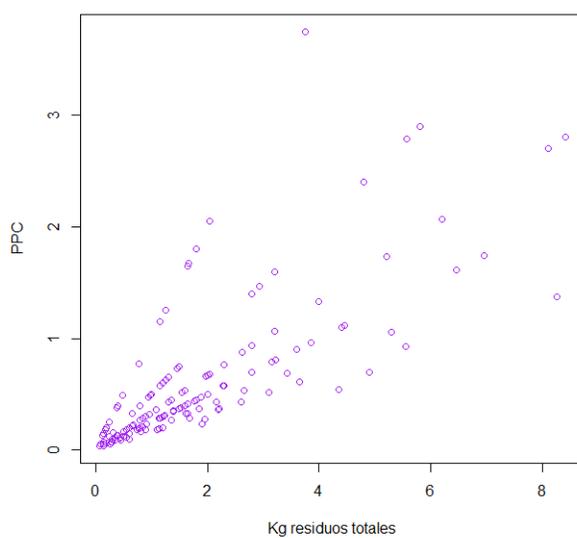
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 29.. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 70 Altavista



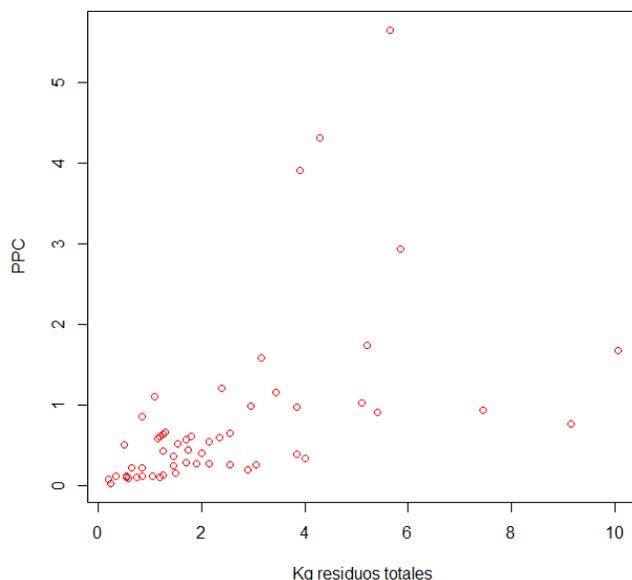
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 30. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 80 San Antonio de Prado



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 31. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 90 Santa Elena



Fuente: Elaboración propia

De las gráficas anteriores se puede concluir que en la cabecera de todos los corregimientos se presenta una figura de agrupación semejante para los valores de PPC entre 0 y 2 Kg/habitante*día, además de lo cual se observa que a medida que aumentan los kilogramos de residuos totales muestreados, también aumentan los valores de PPC.

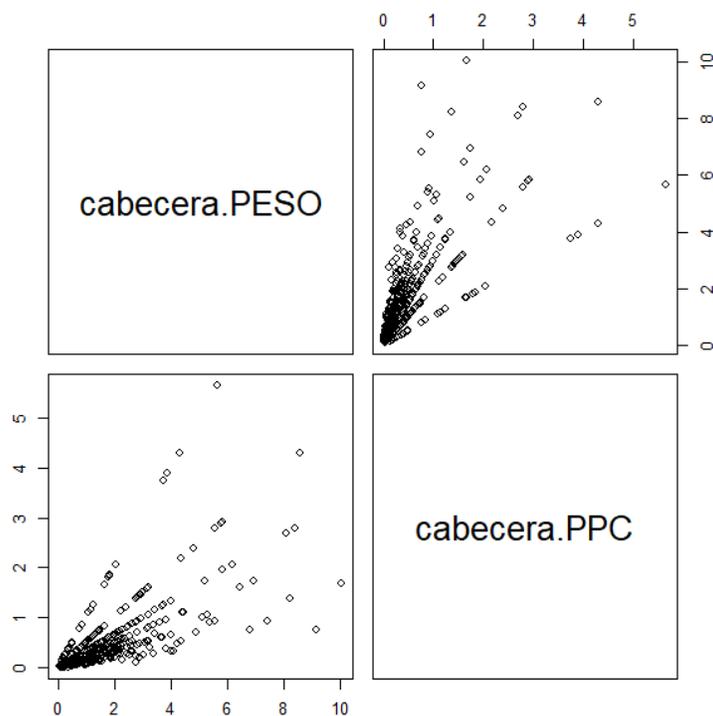
Para el análisis del coeficiente de correlación, un valor menor que 0 indica que existe una correlación negativa, es decir, que las dos variables están asociadas en sentido inverso. Cuánto más se acerca a uno negativo (-1), mayor es la fuerza de esa relación invertida, lo que implica que cuando el valor en una variable sea muy alto, el valor en la otra será muy bajo. Cuando es exactamente -1, eso significa que tienen una correlación negativa perfecta.

Un valor mayor que 0 indica que existe una correlación positiva. En este caso las variables estarían asociadas en sentido directo. Cuanto más cerca de uno positivo (+1), más alta es su asociación. Un valor exacto de +1 indicaría una relación lineal positiva perfecta. Finalmente, una correlación de 0, o próxima a 0, indica que no hay relación lineal entre las dos variables.

Para el caso de estudio de la PPC en el presente estudio en la cabecera de los corregimientos, el coeficiente de correlación entre el peso (kilogramos de residuos totales muestreados) y la PPC es de 0.70, lo que indica una relación lineal positiva.

Se puede concluir que se presentó una correlación lineal positiva entre las dos variables analizadas, como se aprecia en la Gráfica 18.

Gráfica 32. Correlación entre las variables Peso y PPC



Fuente: Elaboración propia

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 las variables dependientes (PPC), son diferentes en las categorías o grupos de la variable independiente (la cabecera de los corregimientos). Es decir, señala si las medias entre dos o más grupos son similares o diferentes.

A continuación, se plantea una prueba de hipótesis donde se determina si todas las medias de los estratos son iguales, contra una hipótesis alternativa relacionada con que todas las medias de la cabecera en los corregimientos son diferentes.

Tabla 34. Análisis de varianza para la comparación de los resultados de la PPC por estrato

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Valor P
Entre grupos	97.875	1	97.875	501.46	< 2.2e-16 ***
Dentro de los grupos	97.786	501	0,195		

Fuente: Elaboración propia

Al realizar este análisis de varianza por medio de la prueba *Anova*, para verificar la diferencia de medias de la PPC para la cabecera de los corregimientos, se obtiene que el valor $p < 0,05$, con una confianza del 95%. Rechazamos la hipótesis que todas las medias son iguales, y podemos afirmar la hipótesis alternativa que al menos una de las medias entre las cabeceras de los corregimientos es diferente y llegar a concluir que la producción per cápita tiene diferencias o son independientes, es decir, hay suficiente evidencia estadística de que cada cabecera corregimental puede ser tratada y analizada de forma independiente.

10.4.3.2 Rural Disperso

Para validar los datos y el comportamiento del índice de producción per cápita (PPC) promedio obtenido en la zona rural dispersa de cada uno de los corregimientos, se muestra a continuación el resumen de los indicadores de la PPC y los valores descriptivos de los mismos, según la evaluación realizada en el año 2023.

Tabla 35. Indicadores de la PPC para el sector residencial - Corregimientos Rural Disperso

n	Corregimientos Rural disperso	PPC (Media)	Desviación Estándar	Error Estándar	Mínimo	Máximo
20	San Sebastián de Palmitas (50)	0,31	0,28	0,08	0,07	0,97
70	San Cristóbal (60)	0,32	0,48	0,06	0,01	3,27
26	Altavista (70)	0,39	0,47	0,11	0,03	1,95
66	San Antonio de Prado (80)	0,30	0,40	0,07	0,01	2,70
20	Santa Elena (90)	0,16	0,11	0,12	0,04	0,43

Fuente: Elaboración propia

El valor de la “n” representa el tamaño de la muestra que fue necesario para el estudio de caracterización de los residuos sólidos en la zona rural dispersa de los corregimientos, a partir de lo cual se hicieron inferencias. Este es un valor representativo de la población de referencia, es decir, del tamaño real de los suscriptores residenciales que cuentan con servicio público de aseo.

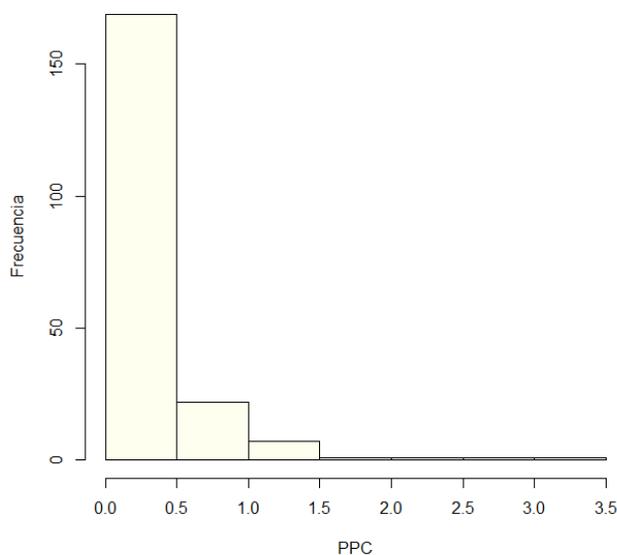
La media poblacional es el valor de la PPC para cada una de las zonas rural dispersas de los corregimientos donde se tomaron las muestras de residuos sólidos.

La desviación estándar nos explica la dispersión de los datos alrededor de la media. Entre más dispersos estén los datos el valor de la desviación estándar es más alto. Para el caso de los datos analizados, se tienen valores de desviación estándar relativamente bajos, lo que quiere decir que los datos son homogéneos.

Lo anterior quiere decir que, para cada uno de los corregimientos, los valores de la PPC individuales dispersos alrededor de la media más o menos dos veces la desviación estándar.



Gráfica 33. Histograma de frecuencia de las PPC



Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que los datos de la PPC de los corregimientos en el área rural dispersa tienen una asimetría a la derecha, es decir, los valores de la PPC se concentran entre valores de 0 y 1,5 Kg/habitante*día y llegan hasta valores máximos de 3,5 Kg/habitante*día.

También se utilizan los intervalos de confianza para la media, lo que nos da un rango de valores admisible para la media de la población. Si un intervalo de confianza no incluye un valor determinado, podemos llegar a concluir que no es probable que la media de los datos sea verdadera para la población en estudio. A continuación, se presentan los intervalos de confianza para la PPC promedio para cada uno de los corregimientos en la zona rural dispersa de estos.



Tabla 36. Intervalo de confianza al 95% para la media de la PPC

Corregimientos Rural Disperso	PPC (Media)	Valores de la PPC por estrato		Intervalo de confianza para la media de la PPC	
		Mínimo	Máximo	Límite inferior	Límite Superior
San Sebastián de Palmitas (50)	0,31	0,07	0,97	0,25	0,37
San Cristóbal (60)	0,32	0,01	3,27	0,28	0,37
Altavista (70)	0,39	0,03	1,95	0,35	0,44
San Antonio de Prado (80)	0,30	0,01	2,70	0,24	0,36
Santa Elena (90)	0,16	0,04	0,43	0,09	0,22

Fuente: Elaboración propia

Según lo descrito anteriormente, podemos concluir que las PPC promedio constituyen un buen estimador de la generación por persona, ya que todos los intervalos de confianza contienen la media de cada uno de los corregimientos en la zona rural dispersa. Esto también nos lleva a concluir que las medias para cada uno de los corregimientos en su zona rural dispersa son verdaderas.

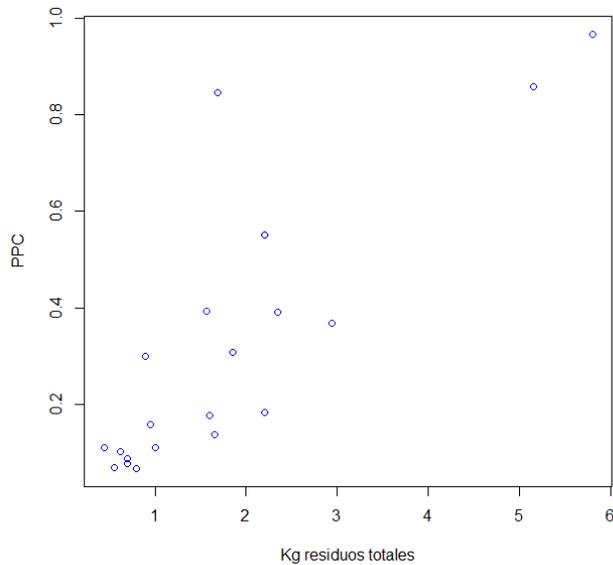
Los Intervalos de Confianza son reportados con rangos o intervalos y estimadores puntuales. Los intervalos describen los valores inferiores y superiores (límites) de incertidumbre o márgenes de error.

El nivel de confianza de 95% significa que el intervalo de confianza abarca el valor verdadero en 95 de 100 estudios desarrollados. Es decir, que de 100 estudios que se realicen el 95% de las veces el valor real de la PPC caerá entre los límites inferior y superior de los intervalos.

A continuación, se presentan los gráficos de dispersión para cada uno de los corregimientos en su zona rural dispersa, en los cuales se relacionan los valores de PPC y los kilogramos de residuos totales muestreados.

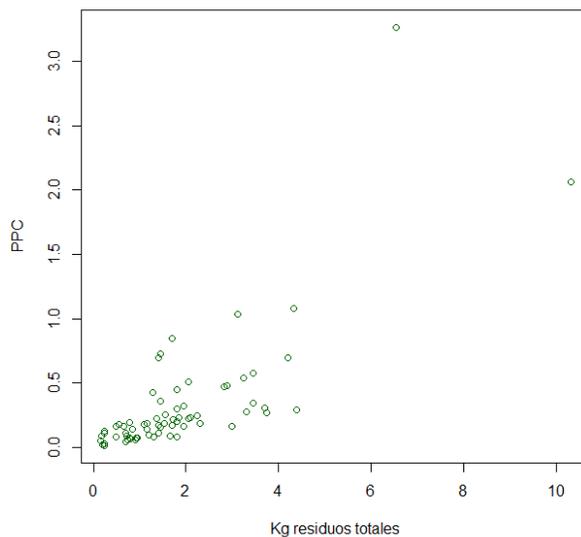


Gráfica 34. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 50 San Sebastián de Palmitas



Fuente: Elaboración propia

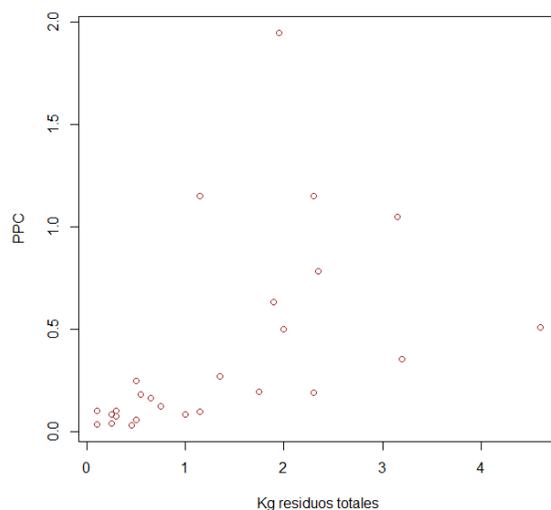
Gráfica 35. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 60 San Cristóbal



Fuente: Elaboración propia

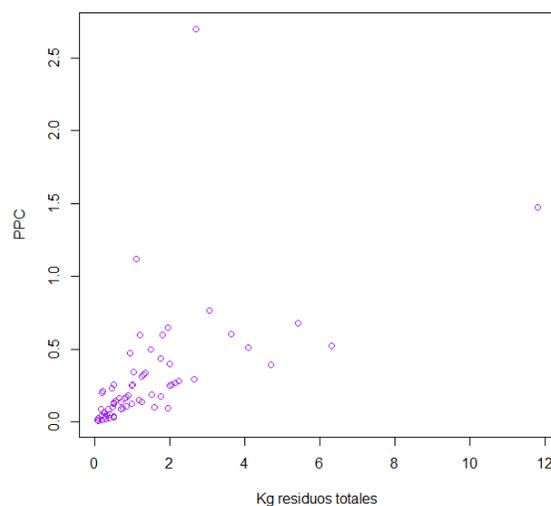


Gráfica 36. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 70 Altavista



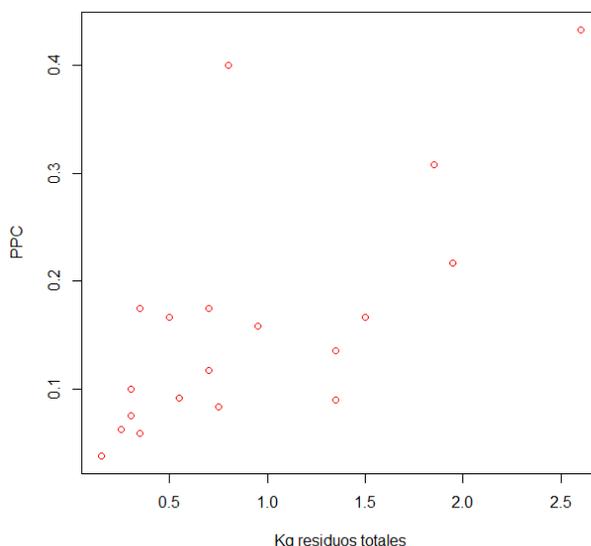
Fuente: Elaboración propia

Gráfica 37. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 80 San Antonio de Prado



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 38. Dispersión de los datos de la PPC de la Comuna 90 Santa Elena



Fuente: Elaboración propia

De las gráficas anteriores se puede concluir que, en todas las zonas rural dispersas de los corregimientos se tiene una figura de agrupación semejante y buena dispersión de datos, para los valores de PPC entre 0 y 2 Kg/habitante*día, además de lo cual también se observa que a medida que aumentan los kilogramos de residuos totales muestreados, también aumentan los valores de PPC.

Para el análisis del coeficiente de correlación, un valor menor que 0 indica que existe una correlación negativa, es decir, que las dos variables están asociadas en sentido inverso. Cuánto más se acerca a uno negativo (-1), mayor es la fuerza de esa relación invertida, lo que implica que cuando el valor en una variable sea muy alto, el valor en la otra será muy bajo. Cuando es exactamente -1, eso significa que tienen una correlación negativa perfecta.

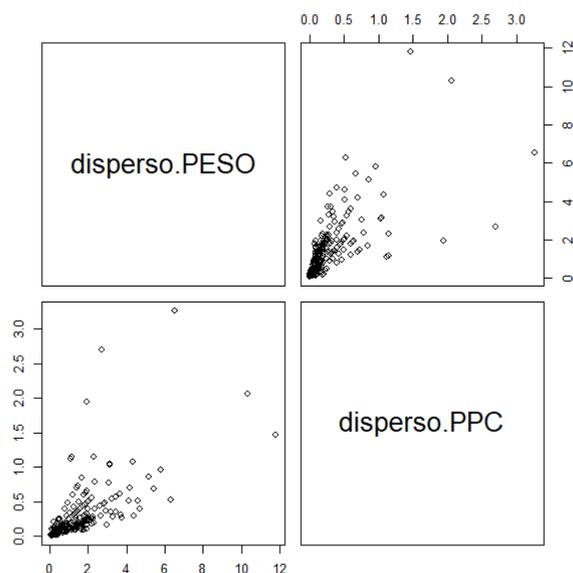
Un valor mayor que 0 indica que existe una correlación positiva. En este caso las variables estarían asociadas en sentido directo. Cuanto más cerca de uno positivo (+1), más alta es su asociación. Un valor exacto de +1 indicaría una relación lineal positiva perfecta. Finalmente, una correlación de 0, o próxima a 0, indica que no hay relación lineal entre las dos variables.

Para el caso de estudio de la PPC en el presente estudio en el área rural disperso de los corregimientos, el coeficiente de correlación entre el peso (kilogramos de residuos totales muestreados) y la PPC es de 0.64, lo que indica una relación lineal positiva.



Se puede concluir que se presentó una correlación lineal positiva entre las dos variables analizadas, como se muestra a continuación.

Gráfica 39. Correlación entre las variables Peso y PPC



Fuente: Elaboración propia

El análisis **Anova** es una prueba estadística que señala si las variables son dependientes o independientes. Esta prueba evalúa si las medias de las variables dependientes (PPC), son diferentes en las categorías o grupos de la variable independiente (la zona rural dispersa de los corregimientos). Es decir, señala si las medias entre dos o más grupos son similares o diferentes.

A continuación, se plantea una prueba de hipótesis donde se determina si todas las medias de los corregimientos en zona rural dispersa son iguales, contra una hipótesis alternativa relacionada con que todas las medias del rural disperso en los corregimientos son diferentes.

Tabla 37. Análisis de varianza para la comparación de los resultados de la PPC por estrato

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	GL	Media cuadrática	F	Valor P
Entre grupos	14.136	1	14.1364	142,28	< 2.2e-16 ***
Dentro de los grupos	19.872	200	0,0994		

Fuente: Elaboración propia

Al realizar este análisis de varianza por medio de la prueba **Anova**, para verificar la diferencia de medias de la PPC para la zona rural de los corregimientos, se obtiene que el valor $p < 0,05$, con una confianza del 95%. Rechazamos la hipótesis que todas las medias son iguales, y podemos afirmar la hipótesis alternativa que al menos una de las medias entre los corregimientos es diferente y llegar a concluir que la producción per cápita en la zona rural dispersa de los corregimientos tiene diferencias o son independientes, es decir, hay suficiente evidencia estadística de que cada zona rural dispersa corregimental puede ser tratada y analizada de forma independiente.

11 RESULTADOS DE LA COMPOSICIÓN FÍSICA PORCENTUAL DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL SECTOR RESIDENCIAL DE MEDELLÍN Y SUS CINCO CORREGIMIENTOS

11.1 Resultados de la composición física porcentual de los residuos sólidos en zona urbana de Medellín

A continuación, se presentan los resultados de la composición física porcentual encontrada en el sector residencial de la zona urbana de Medellín, según la clasificación por tipología de residuos que se obtuvo en la caracterización de las muestras de acuerdo con la metodología descrita.

En primera instancia se analizarán los resultados obtenidos por estrato socioeconómico y posteriormente se presentan por comuna.

11.1.1 Resultados de la composición física porcentual de los residuos sólidos por estrato socioeconómico

Teniendo en cuenta que los hábitos de consumo y por tanto la composición de residuos puede cambiar con el nivel económico de la población, para el caso de la zona urbana de Medellín, el análisis de la composición física de los residuos se realizó de manera independiente para cada estrato socioeconómico; y finalmente se halló el promedio ponderado (por usuarios) para la zona urbana de Medellín teniendo en cuenta que cada estrato cuenta con diferente cantidad de habitantes y por tanto usuarios del servicio de aseo.

En la siguiente tabla se presentan los resultados encontrados para cada estrato socioeconómico y el promedio ponderado para la zona urbana, presentando el resultado detallado para cada uno de los subcomponentes evaluados, así mismo se presentan los resultados por los principales componentes.



Tabla 38. Compilación de la composición física porcentual de los residuos sólidos generados en el sector residencial del área urbana de Medellín por estrato socioeconómico

Componente	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6	Promedio (ponderado por usuario)
Residuos reciclables aprovechables	26,03%	29,51%	27,16%	27,75%	28,70%	32,24%	28,28%
Papel	1,24%	2,37%	2,80%	2,69%	2,31%	3,11%	2,49%
Archivo	0,60%	1,28%	1,29%	1,15%	1,76%	0,66%	1,21%
Kraft	0,25%	0,57%	0,33%	0,79%	0,33%	1,40%	0,53%
Periódico	0,29%	0,36%	0,53%	0,65%	0,13%	1,05%	0,48%
Revista	0,10%	0,17%	0,65%	0,10%	0,09%	0,00%	0,28%
Cartón	2,26%	3,66%	4,21%	3,39%	4,48%	7,51%	4,02%
Corrugado	1,00%	2,26%	1,96%	1,04%	1,87%	5,38%	2,03%
Plegadizo	1,12%	1,20%	1,82%	2,17%	2,02%	2,04%	1,69%
Tubos de cartón	0,14%	0,21%	0,43%	0,17%	0,59%	0,10%	0,30%
Canastas de huevos	1,16%	0,98%	0,77%	1,05%	0,80%	1,95%	0,99%
Canastas de huevos	1,16%	0,98%	0,77%	1,05%	0,80%	1,95%	0,99%
Plástico	13,49%	10,83%	10,55%	11,33%	10,75%	7,89%	10,86%
PET (1) Transparente	3,40%	2,32%	2,32%	3,08%	2,93%	1,60%	2,56%
PET (1) Verde	0,12%	0,05%	0,08%	0,01%	0,17%	0,03%	0,07%
PET (1) Ámbar	0,07%	0,20%	0,17%	0,11%	0,17%	0,01%	0,15%

Componente	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6	Promedio (ponderado por usuario)
PET (1) Aceite	0,32%	0,32%	0,33%	0,21%	0,08%	0,03%	0,26%
PEAD (2) Flexible	1,33%	1,22%	1,16%	1,30%	0,68%	0,50%	1,11%
PEAD (2) Rígido	2,55%	1,39%	1,37%	1,69%	1,32%	2,82%	1,63%
PVC (3)	0,12%	0,03%	0,10%	0,15%	0,14%	0,16%	0,10%
PEBD (4) Flexible	1,72%	1,53%	1,42%	1,45%	1,44%	1,15%	1,46%
PEBD (4) Rígido	0,00%	0,03%	0,01%	0,07%	0,00%	0,00%	0,02%
PP (5) Flexible	0,87%	0,73%	0,63%	0,49%	0,62%	0,26%	0,63%
PP (5) Rígido	0,69%	0,83%	1,04%	0,51%	1,83%	0,63%	0,93%
PS (6)	0,99%	0,97%	0,95%	1,03%	0,43%	0,36%	0,87%
PS (6) Expandido (Icopor)	0,00%	0,09%	0,01%	0,02%	0,08%	0,00%	0,04%
Otros (7)	0,58%	0,51%	0,38%	0,32%	0,21%	0,10%	0,39%
Plásticos aluminizados	0,71%	0,56%	0,58%	0,87%	0,64%	0,24%	0,62%
ABS	0,00%	0,06%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%
Polycarbonato	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Vidrio	4,02%	6,86%	4,73%	4,54%	6,14%	8,15%	5,58%
Blanco	2,47%	6,03%	4,12%	4,28%	4,67%	7,96%	4,81%
Verde	0,62%	0,26%	0,08%	0,00%	0,00%	0,16%	0,16%

Componente	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6	Promedio (ponderado por usuario)
Café - ámbar	0,93%	0,56%	0,54%	0,26%	1,47%	0,03%	0,61%
Plano	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Metales	0,42%	1,11%	1,44%	1,71%	0,70%	2,76%	1,31%
Chatarra	0,22%	0,66%	0,67%	1,16%	0,28%	2,32%	0,77%
Aluminio	0,04%	0,02%	0,01%	0,04%	0,00%	0,30%	0,04%
Hierro gris	0,00%	0,10%	0,00%	0,10%	0,00%	0,00%	0,04%
Latón	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Cobre (amarillo)	0,00%	0,01%	0,46%	0,00%	0,00%	0,00%	0,15%
Cobre (rojo)	0,00%	0,00%	0,05%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%
Karla	0,16%	0,32%	0,24%	0,41%	0,42%	0,14%	0,29%
Cuero	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Cuero	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Caucho	0,08%	0,02%	0,09%	0,03%	0,21%	0,00%	0,07%
Caucho	0,08%	0,02%	0,09%	0,03%	0,21%	0,00%	0,07%
Tetrapack	1,14%	0,54%	0,51%	0,99%	0,85%	0,51%	0,69%
Tetra pack	1,14%	0,54%	0,51%	0,99%	0,85%	0,51%	0,69%
Textiles	2,22%	3,11%	2,07%	2,03%	2,46%	0,36%	2,27%

Componente	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6	Promedio (ponderado por usuario)
Estopas y textiles no contaminados	2,22%	3,11%	2,07%	2,03%	2,46%	0,36%	2,27%
Residuos orgánicos aprovechables	55,37%	55,45%	56,68%	59,80%	61,10%	59,49%	57,42%
Materia orgánica	55,37%	54,85%	56,23%	58,77%	60,05%	59,11%	56,82%
Restos de Alimentos, Frutas y Verduras	55,19%	54,03%	53,67%	53,94%	54,44%	49,37%	53,74%
Follaje y residuos de zonas verdes	0,17%	0,82%	2,55%	4,83%	5,60%	9,74%	3,08%
Madera	0,00%	0,60%	0,46%	1,03%	1,06%	0,38%	0,60%
Madera no inmunizada	0,00%	0,33%	0,42%	0,38%	0,00%	0,09%	0,28%
Residuos de carpintería	0,00%	0,28%	0,04%	0,65%	1,06%	0,28%	0,32%
Residuos no aprovechables	18,12%	13,49%	14,10%	12,30%	9,06%	8,13%	13,06%
Papel Higiénico, toallas higiénicas, pañales, servilletas, etc.	13,73%	9,42%	11,45%	10,09%	4,72%	7,04%	9,87%
Papel No reciclable	0,33%	0,22%	0,56%	0,07%	1,93%	0,00%	0,49%
Cartón no aprovechable: encerado, plastificado, sucio	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	1,06%	0,00%	0,12%
Calzado	0,79%	2,10%	0,52%	0,17%	0,06%	0,28%	0,83%

Componente	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6	Promedio (ponderado por usuario)
Restos de barrido	3,11%	1,73%	1,56%	1,93%	1,21%	0,78%	1,72%
PET exótico	0,15%	0,01%	0,01%	0,03%	0,08%	0,02%	0,04%
Otros residuos	0,49%	1,55%	2,05%	0,15%	1,14%	0,14%	1,24%
Residuos especiales	0,00%	0,55%	0,31%	0,00%	0,43%	0,00%	0,29%
RCD (mampostería, yeso, entre otros)	0,00%	0,29%	0,31%	0,00%	0,43%	0,00%	0,22%
Muebles y enseres	0,00%	0,26%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,07%
Peligrosos	0,21%	0,13%	0,23%	0,05%	0,09%	0,01%	0,14%
Madera inmunizada a vacío presión (sales de cromo y arsénico)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Biosanitarios (tapabocas, gasas, algodón y residuos contaminados con fluidos corporales)	0,21%	0,04%	0,05%	0,00%	0,04%	0,00%	0,05%
Cortopunzantes	0,00%	0,03%	0,01%	0,01%	0,06%	0,01%	0,02%
Restos de aceites minerales y grasas de desecho	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Filtros contaminados con aceites lubricantes	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Componente	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6	Promedio (ponderado por usuario)
Residuos resultantes de la producción, preparación y utilización de tintas, colorantes, pigmentos, pinturas, lacas o barnices; sus contenedores y materiales impregnados con estos.	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Cartuchos, tonners y cintas de impresión	0,00%	0,04%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%
Residuos de piel curtida contaminado con cromo y otras sustancias químicas del proceso de curtido de pieles	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Otros envases y contenedores de desecho que contienen residuos de sustancias peligrosas	0,00%	0,03%	0,16%	0,04%	0,00%	0,00%	0,06%
Lodos y escorias peligrosas (incluidas listado Dec. 4741)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Fibra de vidrio	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Residuos posconsumo	0,27%	0,86%	1,51%	0,10%	0,61%	0,13%	0,81%

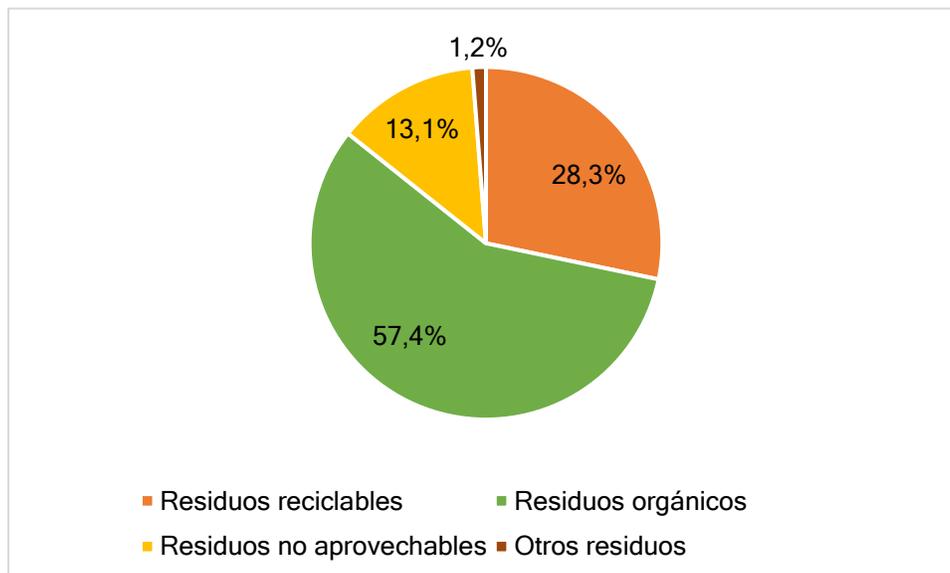
Componente	Estrato 1	Estrato 2	Estrato 3	Estrato 4	Estrato 5	Estrato 6	Promedio (ponderado por usuario)
Llantas usadas	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)	0,12%	0,74%	1,29%	0,08%	0,60%	0,05%	0,69%
Fármacos o medicamentos vencidos	0,02%	0,08%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%
Pilas y/o acumuladores	0,12%	0,01%	0,19%	0,00%	0,00%	0,00%	0,07%
Baterías usadas plomo ácido	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Bombillas	0,00%	0,01%	0,00%	0,02%	0,00%	0,08%	0,01%
Plaguicidas y envases	0,02%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%
Total	100%						

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la tabla anterior, la composición porcentual en peso de la generación de residuos en zona urbana de Medellín se compone en un 57,42% de residuos orgánicos siendo estos los residuos más generados; en segundo lugar, se encuentran los residuos reciclables con un 28,3% del total de residuos generados, un 13,1% de residuos no aprovechables y un 1,2% de otros residuos en los que se encuentran residuos especiales, peligrosos y posconsumo, como se muestra en la siguiente figura

Si se tiene en cuenta que entre residuos orgánicos y reciclables se llega a un total del 85,7% de los residuos generados, se pone en evidencia que la mayoría de los residuos generados en el sector residencial de Medellín pueden someterse a algún tipo de aprovechamiento o tratamiento en lugar de ser dispuestos en el relleno sanitario La Pradera.

Gráfica 40. Composición física porcentual de los residuos sólidos generados en el sector residencial de Medellín



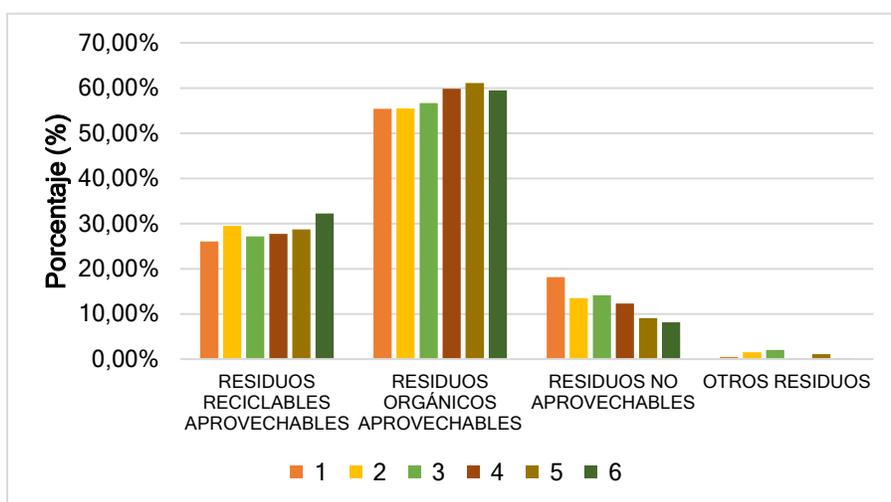
Fuente: Elaboración propia

En todos los estratos socioeconómicos la mayor fracción generada corresponde a residuos orgánicos, presentando una tendencia al aumento en la medida en que aumenta el estrato socioeconómico. Para los residuos reciclables también se presentan incrementos con el aumento del estrato socioeconómico. No obstante, para el caso de los residuos no aprovechables se presenta una relación inversamente proporcional, pues a mayor estrato menor proporción de residuos no aprovechables, los cuales constituyen la tercera categoría en la composición física porcentual de residuos.

En el

Gráfica 41 se puede apreciar que los residuos orgánicos son los que predominan en la generación de residuos en todos los estratos socioeconómicos con un promedio del 57,4%, seguidos de los residuos reciclables con un promedio de 28,3%.

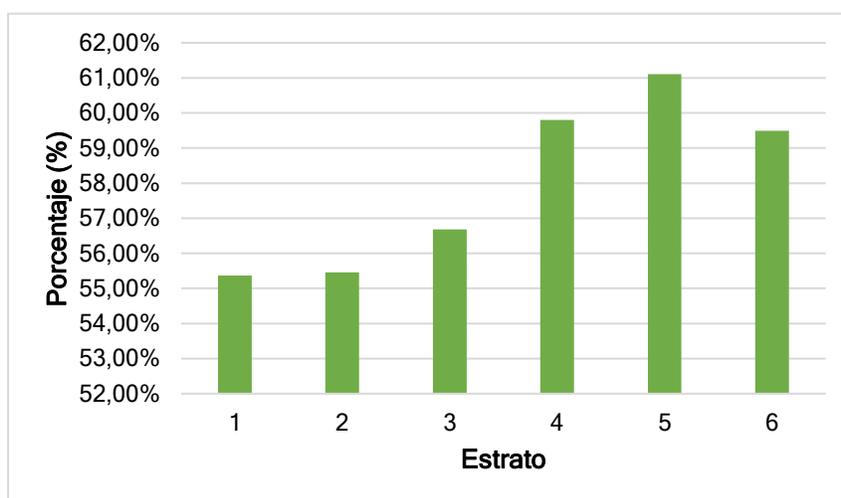
Gráfica 41. Comparativo de los resultados de la composición de residuos por estratos socioeconómicos



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la generación de residuos orgánicos totales que son los que presentan los mayores porcentajes en la producción de residuos, se evidencia una mayor participación de estos en los estratos 4,5 y 6 respectivamente, como se muestra en el siguiente gráfico.

Gráfica 42. Porcentaje de residuos orgánicos presentes en los residuos sólidos generados por estrato socioeconómico



Fuente: Elaboración propia

En general, los residuos orgánicos encontrados en el sector residencial se componen principalmente de restos de alimentos, frutas y verduras (crudos y/o cocidos), y en menos proporción hojarasca, residuos de poda, follaje y en general residuos vegetales y madera no inmunizada.

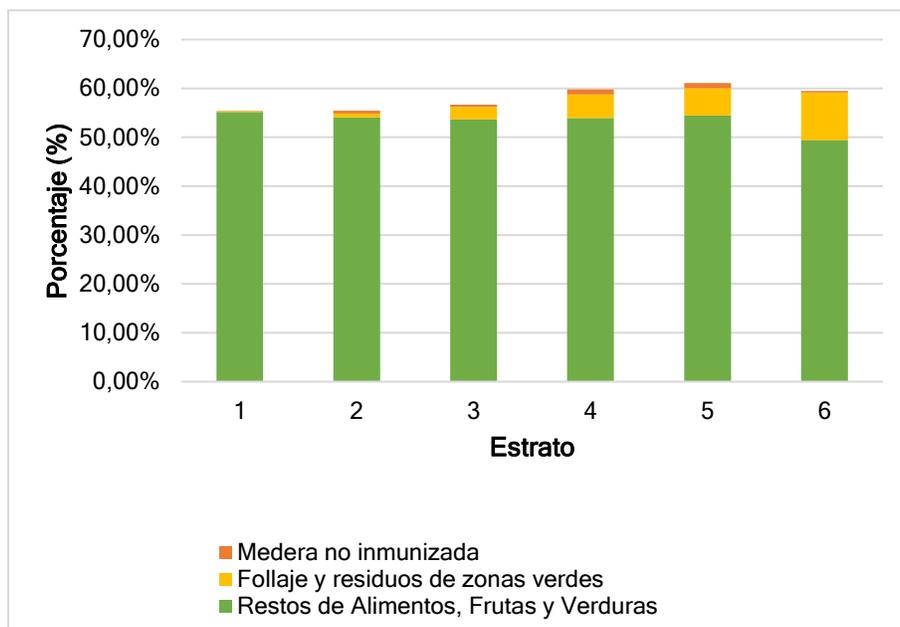
En cuanto a las cantidades totales de residuos orgánicos generados, se evidencia una tendencia al aumento en la participación de estos a medida que incrementa el estrato socioeconómico; siendo los estratos 4, 5 y 6 los que además de contar con mayor proporción de los residuos orgánicos totales coinciden con ser los que cuentan con mayor proporción en la generación de follaje.

Sin embargo, esta cifra en la generación de residuos orgánicos correspondientes a restos de alimentos, presentan una leve disminución a medida que aumenta el estrato socioeconómico.



La generación de hojarasca, corte de césped, follaje cobra relevancia en los estratos 4, 5 y 6, por lo que es importante la creación de estrategias de gestión para este tipo de residuos.

Gráfica 43. Composición de residuos orgánicos presentes en los residuos sólidos generados por estrato socioeconómico



Fuente: Elaboración propia

En la

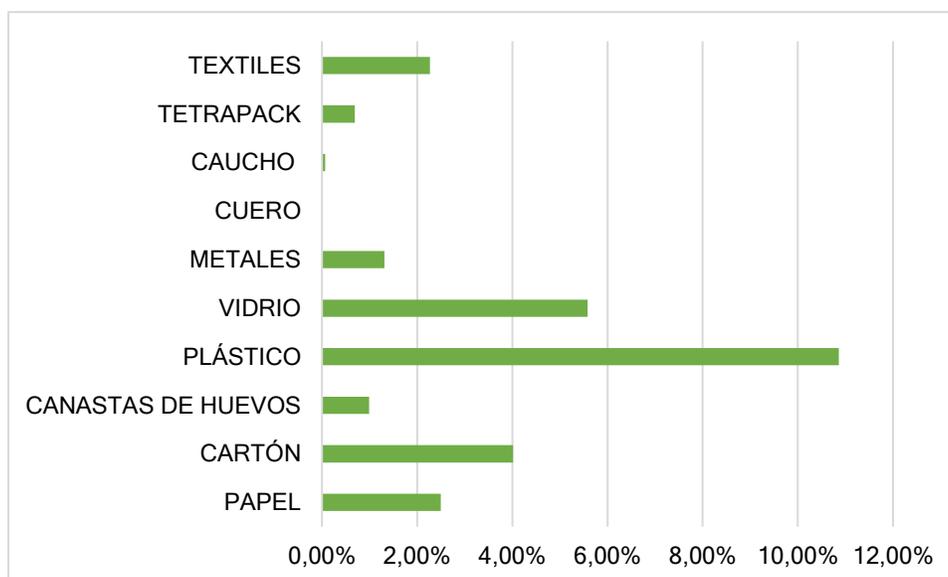
Gráfica 44 se detalla la generación de cada una de las subcategorías para los residuos reciclables en la zona urbana, mientras que en la Gráfica 45 se presenta el detalle por estrato socioeconómico, encontrándose a nivel general una alta generación de plásticos en todos los estratos socioeconómicos, siendo el material reciclable con mayor peso en la ciudad, seguido en orden de generación por vidrio, cartón, papel y textiles.

Cabe anotar que el presente estudio tuvo en cuenta los materiales con potencial de aprovechamiento, aunque actualmente, dado que no se han generalizado los procesos de separación en la fuente, estos residuos en ocasiones se encuentran contaminados

con otros residuos como los orgánicos, lo que disminuye su potencial, convirtiéndolos en residuos no aprovechables.

En general, la proporción de estos residuos se mantiene en todos los estratos socioeconómicos encontrándose predominio de plástico en todos los estratos con una mayor fracción de residuos en el estrato 1 y una menor participación en el estrato 6.

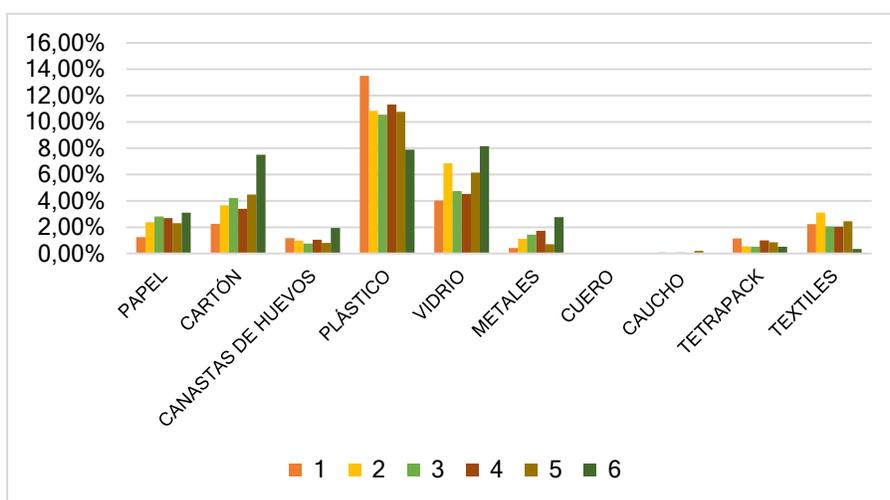
Gráfica 44. Porcentaje de residuos reciclables presentes en los residuos sólidos generados en zona urbana



Fuente: Elaboración propia

Caso contrario ocurre con materiales como vidrio, metales, papel y cartón que cuentan con fracciones mayores en el estrato 6 mientras que las menos fracciones se encuentran en el estrato 1.

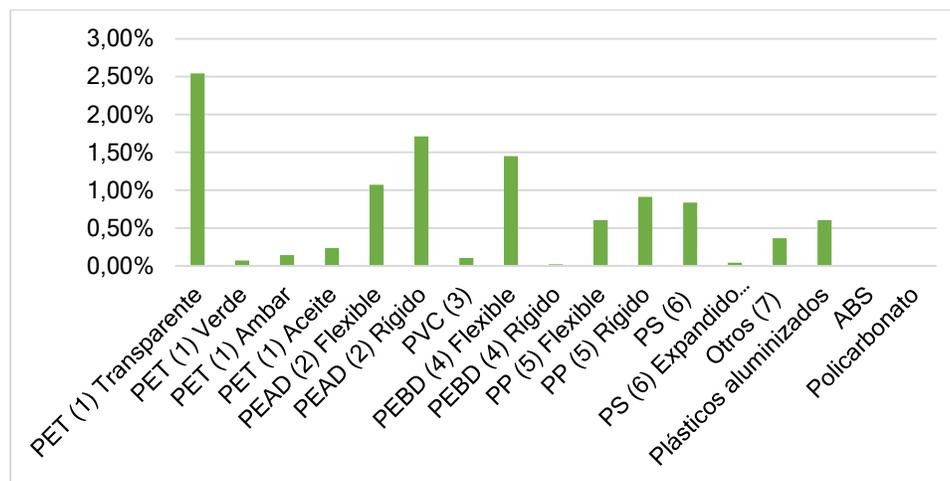
Gráfica 45. Composición de residuos reciclables presentes en los residuos sólidos generados por estrato socioeconómico



Fuente: Elaboración propia

El porcentaje de plásticos caracterizados fue alto en todos los estratos; en la Gráfica 46 se reportan los resultados para cada tipo de plástico; siendo el PET el de mayor generación, seguido por el PEAD rígido, PEBD flexible y PEAD flexible.

Gráfica 46. Participación de los diferentes plásticos presentes en los residuos sólidos generados en zona urbana

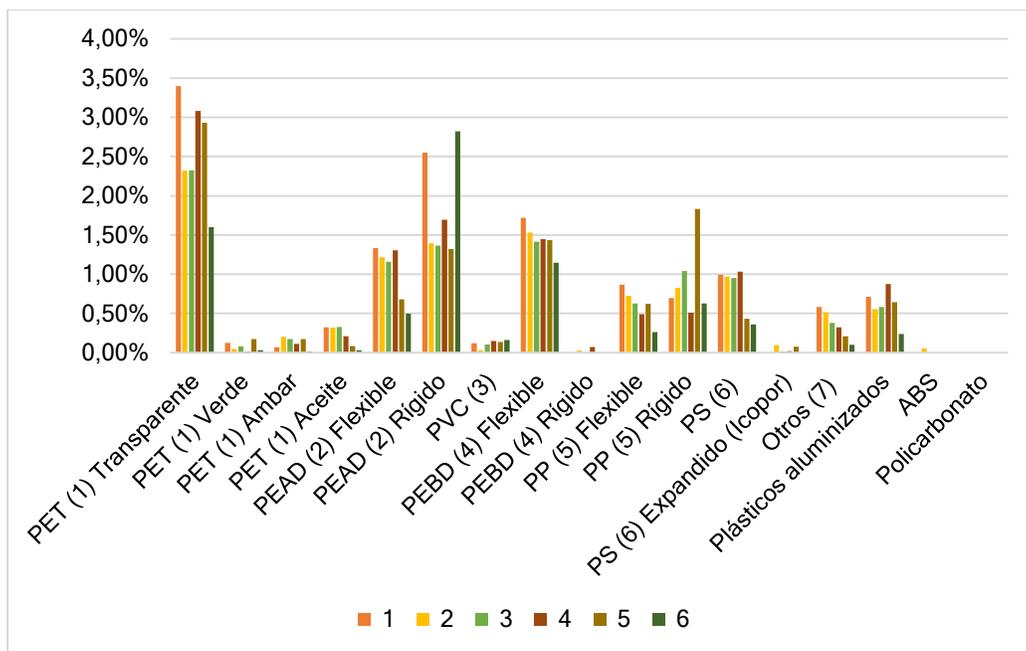


Fuente: Elaboración propia

En cuanto a las diferencias encontradas por estrato socioeconómico se encuentra que el estrato que cuenta con mayor fracción de plásticos es el 1, mientras que el estrato 6 es el que cuenta con una menor fracción de estos.

Para el estrato 6, se presentó mayor representatividad del PEAD. El estrato 1 cuenta con mayor fracción en plásticos como PET, PEBD flexible, PEAD flexible, PP flexible. En general, el PET y el PEAD son los plásticos que más usan todos los estratos socioeconómicos.

Gráfica 47. Porcentajes de residuos plásticos generados por estrato socioeconómico en el Sector Residencial de Medellín

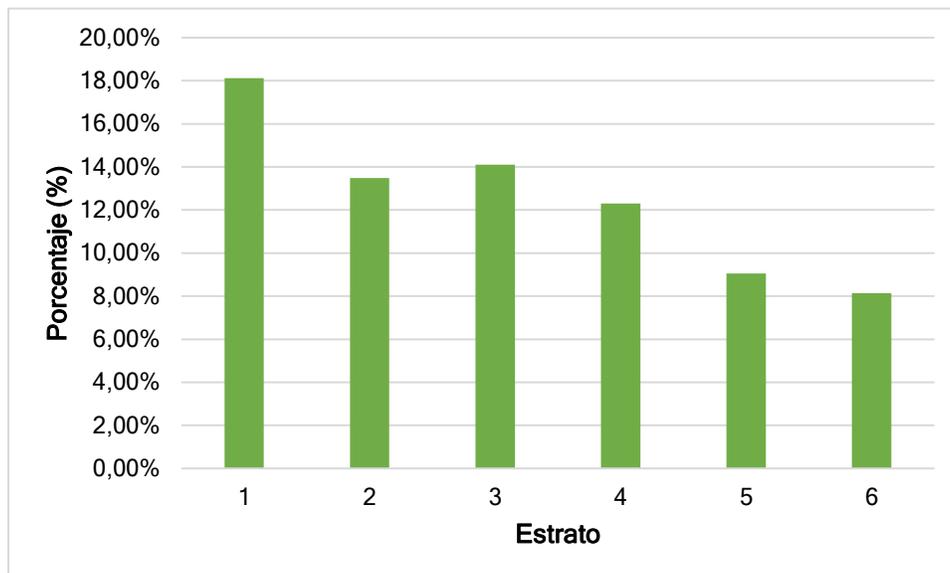


Fuente: Elaboración propia

La generación de residuos no aprovechables estuvo en tercer lugar de generación en la zona urbana, donde los estratos 1, 2 y 3 cuentan una mayor fracción de estos con un 18,12%, 13,49 y 14,10% respectivamente. El estrato 6 fue el menor generador de estos residuos con un 8,13%.



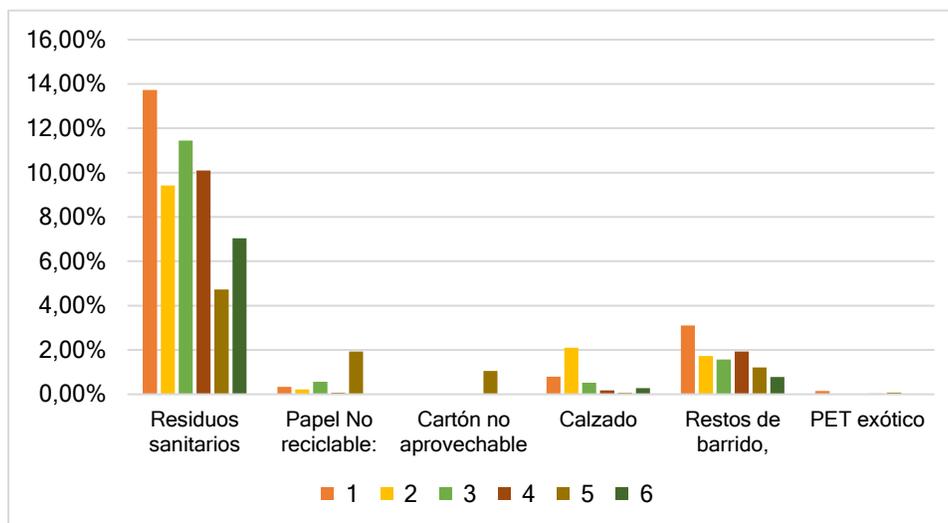
Gráfica 48. Porcentaje de residuos no aprovechables presentes en los residuos sólidos generados por estrato socioeconómico



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los residuos no aprovechables, los residuos más comunes son los residuos sanitarios como el papel higiénico, toallas higiénicas, pañales y servilletas, los cuales componen en mayor medida esta categoría, seguida por restos de barrido, papeles y cartones no aprovechables, además de otros materiales como colillas de cigarrillo, chicles, cerámica, fomi, ceniza y parafina.

Gráfica 49. Composición de residuos no aprovechables presentes en los residuos sólidos generados en el sector residencial por estrato socioeconómico



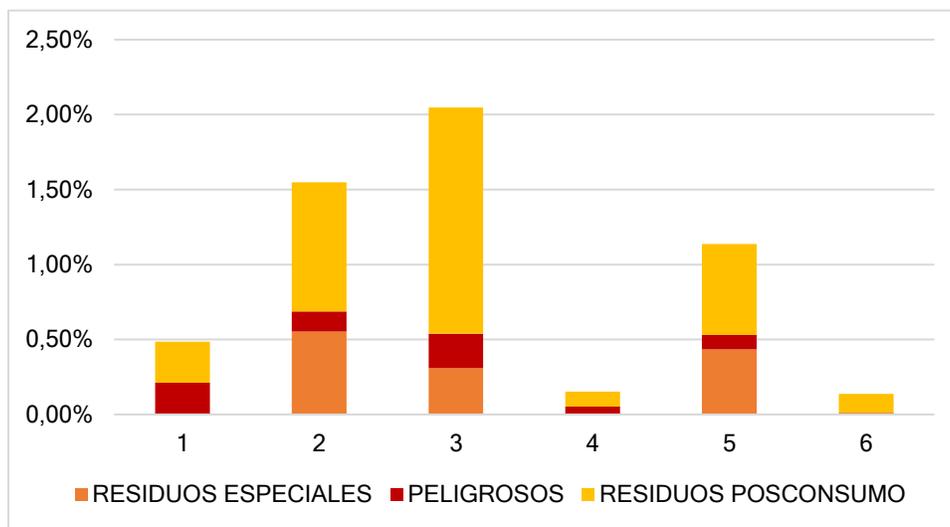
Fuente: Elaboración propia

En la categoría de "otros residuos" se encuentran residuos posconsumo con un 0,81%, especiales (RCD, muebles y enseres) con un 0,29% y peligrosos con un 0,14%. Los estratos con mayor fracción de "otros residuos" fueron los estratos 3 y 2 con un 2,05% y 1,55% respectivamente. En menor porcentaje estuvo el estrato 6 con 0,14%.

Siendo en todos los estratos predominante en esta categoría la presencia de residuos posconsumo principalmente RAEE, pilas y en menor proporción medicamentos y bombillas. Los residuos especiales encontrados corresponden principalmente a residuos de construcción y demolición.

Los residuos peligrosos corresponden principalmente a residuos biosanitarios (tapabocas, gasas, algodón y residuos contaminados con fluidos corporales) y en menor medida a envases y contenedores de desecho que contienen residuos de sustancias peligrosas, residuos cortopunzantes (lancetas y cuchillas contaminadas con sangre y fluidos corporales), cartuchos, tonners y cintas de impresión.

Gráfica 50. Composición de la categoría "otros residuos" en los residuos sólidos generados por el sector residencial por estrato socioeconómico



Fuente: Elaboración propia

11.1.2 Resultados de la composición física porcentual de los residuos sólidos por comuna

A continuación, se presenta la composición física porcentual de los residuos sólidos para cada una de las comunas, evidenciándose una composición bastante similar entre éstas con pequeñas variaciones especialmente en la comuna 14 El Poblado.

Esta uniformidad se debe a la composición socioeconómica de las comunas ya que todos los estratos se encuentran dispersos en muchas de las comunas

La variación encontrada en la composición porcentual de los residuos sólidos en la comuna 14 corresponde con la variación socioeconómica de dicha comuna puesto que si bien cuenta también con la participación de todos los estratos difiere del resto en una mayor concentración de estratos 5 y 6.



Tabla 39. Compilación de la composición física porcentual de los residuos sólidos generados en el sector residencial del área urbana de Medellín por comuna

Componente	Comuna															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Residuos reciclables aprovechables	28,18 %	29,07 %	28,29 %	27,77 %	27,44 %	28,24 %	28,14 %	27,73 %	27,73 %	27,70 %	28,47 %	27,90 %	27,69 %	31,38 %	27,67 %	27,94 %
Papel	1,94%	2,23%	2,19%	2,56%	2,73%	2,33%	2,47%	2,19%	2,67%	2,69%	2,46%	2,61%	2,19%	2,94%	2,70%	2,60%
Archivo	1,02%	1,19%	1,13%	1,24%	1,28%	1,18%	1,23%	1,08%	1,24%	1,23%	1,53%	1,35%	1,07%	0,90%	1,24%	1,35%
Kraft	0,45%	0,53%	0,45%	0,39%	0,36%	0,44%	0,48%	0,41%	0,45%	0,60%	0,50%	0,55%	0,43%	1,16%	0,51%	0,49%
Periódico	0,33%	0,35%	0,38%	0,46%	0,51%	0,40%	0,45%	0,40%	0,52%	0,57%	0,33%	0,48%	0,41%	0,85%	0,55%	0,46%
Revista	0,14%	0,16%	0,24%	0,47%	0,57%	0,31%	0,31%	0,30%	0,46%	0,28%	0,10%	0,24%	0,28%	0,03%	0,41%	0,30%



“Informe final de caracterización de los residuos sólidos en el sector residencial de
 Medellín y en el área urbana y rural de los cinco corregimientos”

in
 on

Componente	Comuna															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Cartón	3,13%	3,49%	3,44%	3,90%	4,10%	3,62%	3,72%	3,42%	4,01%	3,73%	4,20%	3,91%	3,38%	6,76%	3,86%	3,95%
Corrugado	1,78%	2,10%	1,92%	1,98%	1,97%	1,97%	1,86%	1,77%	1,93%	1,45%	1,69%	1,53%	1,70%	4,53%	1,70%	1,70%
Plegadizo	1,17%	1,19%	1,29%	1,59%	1,74%	1,38%	1,57%	1,40%	1,74%	2,00%	2,07%	2,03%	1,43%	2,03%	1,84%	1,90%
Tubos de cartón	0,18%	0,20%	0,23%	0,34%	0,39%	0,27%	0,29%	0,26%	0,34%	0,28%	0,44%	0,35%	0,25%	0,20%	0,32%	0,36%
Canastas de huevos	1,05%	1,00%	0,98%	0,86%	0,80%	0,94%	0,93%	0,97%	0,88%	0,94%	0,91%	0,91%	0,98%	1,68%	0,89%	0,89%
Canastas de huevos	1,05%	1,00%	0,98%	0,86%	0,80%	0,94%	0,93%	0,97%	0,88%	0,94%	0,91%	0,91%	0,98%	1,68%	0,89%	0,89%



Componente	Comuna															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Plástico	11,85 %	11,16 %	11,39 %	10,85 %	10,64 %	11,15 %	11,03 %	11,52 %	10,74 %	11,02 %	10,87 %	10,97 %	11,57 %	8,58%	10,85 %	10,88 %
PET (1) Transparente	2,73%	2,45%	2,57%	2,40%	2,35%	2,49%	2,55%	2,65%	2,45%	2,79%	2,94%	2,84%	2,70%	1,91%	2,57%	2,70%
PET (1) Verde	0,08%	0,06%	0,07%	0,07%	0,08%	0,07%	0,06%	0,08%	0,07%	0,05%	0,12%	0,07%	0,08%	0,06%	0,06%	0,08%
PET (1) Ambar	0,15%	0,19%	0,17%	0,17%	0,17%	0,17%	0,17%	0,15%	0,17%	0,14%	0,15%	0,15%	0,15%	0,05%	0,16%	0,16%
PET (1) Aceite	0,32%	0,32%	0,32%	0,32%	0,32%	0,32%	0,30%	0,32%	0,30%	0,24%	0,12%	0,20%	0,31%	0,05%	0,29%	0,23%



Componente	Comuna															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
PEAD (2) Flexible	1,26%	1,23%	1,23%	1,19%	1,17%	1,22%	1,20%	1,23%	1,18%	1,22%	0,88%	1,09%	1,24%	0,57%	1,21%	1,10%
PEAD (2) Rígido	1,83%	1,54%	1,65%	1,46%	1,39%	1,56%	1,52%	1,73%	1,48%	1,55%	1,48%	1,51%	1,75%	2,48%	1,48%	1,47%
PVC (3)	0,07%	0,04%	0,07%	0,08%	0,10%	0,07%	0,08%	0,08%	0,10%	0,13%	0,14%	0,13%	0,09%	0,15%	0,11%	0,12%
PEBD (4) Flexible	1,60%	1,56%	1,55%	1,47%	1,43%	1,52%	1,49%	1,55%	1,44%	1,44%	1,43%	1,44%	1,55%	1,22%	1,44%	1,44%
PEBD (4) Rígido	0,02%	0,02%	0,02%	0,01%	0,01%	0,02%	0,02%	0,01%	0,02%	0,05%	0,02%	0,04%	0,02%	0,00%	0,03%	0,03%
PP (5) Flexible	0,78%	0,74%	0,74%	0,67%	0,64%	0,72%	0,67%	0,73%	0,63%	0,55%	0,57%	0,56%	0,72%	0,34%	0,60%	0,60%



Componente	Comuna															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
PP (5) Rígido	0,78%	0,81%	0,84%	0,95%	1,00%	0,87%	0,88%	0,84%	0,92%	0,77%	1,37%	1,01%	0,82%	0,86%	0,84%	1,03%
PS (6)	0,98%	0,97%	0,97%	0,96%	0,96%	0,97%	0,95%	0,97%	0,95%	0,97%	0,63%	0,85%	0,98%	0,40%	0,98%	0,86%
PS (6) Expandido (Icopor)	0,06%	0,08%	0,06%	0,04%	0,02%	0,05%	0,05%	0,04%	0,03%	0,02%	0,05%	0,03%	0,04%	0,02%	0,03%	0,04%
Otros (7)	0,54%	0,52%	0,50%	0,43%	0,40%	0,48%	0,43%	0,48%	0,39%	0,34%	0,24%	0,31%	0,48%	0,13%	0,38%	0,34%
Plásticos aluminizados	0,62%	0,58%	0,60%	0,58%	0,59%	0,59%	0,63%	0,62%	0,61%	0,75%	0,71%	0,73%	0,64%	0,34%	0,67%	0,68%
ABS	0,04%	0,05%	0,03%	0,02%	0,01%	0,03%	0,02%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,02%	0,00%	0,01%	0,01%



“Informe final de caracterización de los residuos sólidos en el sector residencial de
 Medellín y en el área urbana y rural de los cinco corregimientos”

in
 on

Componente	Comuna															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Policarbonato	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Vidrio	5,77%	6,50%	5,83%	5,30%	4,97%	5,76%	5,54%	5,31%	5,14%	4,81%	5,66%	5,07%	5,24%	7,63%	4,96%	5,22%
Blanco	4,68%	5,59%	4,88%	4,55%	4,33%	4,89%	4,78%	4,36%	4,51%	4,33%	4,62%	4,38%	4,31%	7,18%	4,42%	4,49%
Verde	0,40%	0,31%	0,31%	0,17%	0,11%	0,26%	0,18%	0,30%	0,12%	0,04%	0,01%	0,02%	0,29%	0,13%	0,08%	0,06%
Café - Ambar	0,70%	0,61%	0,64%	0,57%	0,54%	0,61%	0,57%	0,65%	0,51%	0,43%	1,04%	0,67%	0,64%	0,32%	0,46%	0,67%
Plano	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Metales	0,85%	1,02%	1,01%	1,26%	1,39%	1,11%	1,24%	1,03%	1,41%	1,54%	1,09%	1,36%	1,05%	2,31%	1,47%	1,31%



Componente	Comuna															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Chatarra	0,49%	0,61%	0,56%	0,63%	0,67%	0,60%	0,69%	0,55%	0,75%	0,93%	0,62%	0,79%	0,58%	1,87%	0,82%	0,73%
Aluminio	0,03%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,03%	0,03%	0,02%	0,03%	0,03%	0,23%	0,02%	0,02%
Hierro gris	0,06%	0,09%	0,06%	0,03%	0,01%	0,05%	0,05%	0,04%	0,03%	0,06%	0,03%	0,05%	0,04%	0,00%	0,05%	0,04%
Latón	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Cobre (Amarillo)	0,01%	0,01%	0,09%	0,30%	0,39%	0,15%	0,16%	0,15%	0,30%	0,15%	0,00%	0,11%	0,13%	0,00%	0,25%	0,17%
Cobre (Rojo)	0,00%	0,00%	0,01%	0,03%	0,05%	0,02%	0,02%	0,02%	0,03%	0,02%	0,00%	0,01%	0,01%	0,00%	0,03%	0,02%
Karla	0,26%	0,30%	0,27%	0,26%	0,25%	0,27%	0,30%	0,25%	0,27%	0,35%	0,41%	0,37%	0,26%	0,20%	0,30%	0,34%



Componente	Comuna															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Cuero	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%
Cuero	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%
Caucho	0,05%	0,03%	0,05%	0,07%	0,08%	0,05%	0,06%	0,06%	0,07%	0,06%	0,14%	0,09%	0,06%	0,04%	0,06%	0,09%
Caucho	0,05%	0,03%	0,05%	0,07%	0,08%	0,05%	0,06%	0,06%	0,07%	0,06%	0,14%	0,09%	0,06%	0,04%	0,06%	0,09%
Tetrapack	0,77%	0,62%	0,67%	0,57%	0,53%	0,62%	0,66%	0,72%	0,60%	0,80%	0,88%	0,83%	0,75%	0,59%	0,67%	0,74%
Tetrapack	0,77%	0,62%	0,67%	0,57%	0,53%	0,62%	0,66%	0,72%	0,60%	0,80%	0,88%	0,83%	0,75%	0,59%	0,67%	0,74%
Textiles	2,77%	3,00%	2,72%	2,38%	2,19%	2,65%	2,50%	2,50%	2,22%	2,12%	2,26%	2,16%	2,47%	0,84%	2,20%	2,25%
Estopas, fibras y	2,77%	3,00%	2,72%	2,38%	2,19%	2,65%	2,50%	2,50%	2,22%	2,12%	2,26%	2,16%	2,47%	0,84%	2,20%	2,25%



“Informe final de caracterización de los residuos sólidos en el sector residencial de
 Medellín y en el área urbana y rural de los cinco corregimientos”

in
 on

Componente	Comuna															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
excedentes textiles no contaminados																
Residuos orgánicos aprovechables	55,42 %	55,45 %	55,66 %	56,23 %	56,58 %	55,83 %	56,71 %	55,96 %	56,94 %	58,65 %	60,60 %	59,33 %	56,14 %	59,76 %	57,51 %	58,47 %
Materia orgánica	55,05 %	54,92 %	55,22 %	55,76 %	56,10 %	55,36 %	56,13 %	55,56 %	56,38 %	57,83 %	59,58 %	58,45 %	55,72 %	59,23 %	56,85 %	57,70 %
Restos de Alimentos, Frutas y Verduras	54,48 %	54,18 %	54,23 %	53,89 %	53,74 %	54,10 %	54,01 %	54,25 %	53,74 %	53,89 %	54,15 %	54,00 %	54,27 %	50,54 %	53,82 %	53,97 %



Componente	Comuna															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Follaje y residuos de zonas verdes	0,57%	0,74%	0,98%	1,86%	2,36%	1,26%	2,12%	1,31%	2,64%	3,94%	5,43%	4,45%	1,45%	8,69%	3,03%	3,72%
Madera	0,38%	0,53%	0,44%	0,47%	0,48%	0,47%	0,58%	0,40%	0,55%	0,82%	1,03%	0,89%	0,43%	0,53%	0,66%	0,77%
Madera no inmunizada (Estibas, guacales, carretas, palos de escoba, entre otros)	0,20%	0,29%	0,27%	0,36%	0,40%	0,31%	0,33%	0,27%	0,38%	0,37%	0,13%	0,28%	0,26%	0,09%	0,39%	0,30%
Residuos de carpintería (aserrín, viruta, orillos,	0,17%	0,24%	0,17%	0,11%	0,08%	0,16%	0,26%	0,14%	0,17%	0,46%	0,90%	0,61%	0,16%	0,44%	0,27%	0,48%



Componente	Comuna															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
retales, tableros aglomerados , enchapes, entre otras)																
Residuos no aprovechables	15,25 %	14,07 %	14,66 %	14,23 %	14,05 %	14,39 %	13,74 %	14,96 %	13,72 %	12,76 %	10,12 %	11,86 %	14,91 %	8,51%	13,46 %	12,39 %
Residuos sanitarios	11,06 %	9,96%	10,77 %	11,03 %	11,21 %	10,71 %	10,39 %	11,31 %	10,84 %	10,20 %	6,57%	8,94%	11,29 %	6,73%	10,75 %	9,33%
Papel No reciclable	0,26%	0,24%	0,31%	0,45%	0,51%	0,35%	0,39%	0,35%	0,43%	0,34%	1,27%	0,70%	0,34%	0,38%	0,36%	0,68%



“Informe final de caracterización de los residuos sólidos en el sector residencial de
 Medellín y en el área urbana y rural de los cinco corregimientos”

in
 on

Componente	Comuna															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Cartón no aprovechable:	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,04%	0,00%	0,01%	0,06%	0,68%	0,29%	0,00%	0,20%	0,00%	0,24%
Calzado	1,60%	1,94%	1,52%	1,00%	0,70%	1,41%	1,10%	1,17%	0,75%	0,37%	0,11%	0,25%	1,12%	0,25%	0,62%	0,48%
Restos de barrido y otros	2,26%	1,90%	2,02%	1,73%	1,61%	1,89%	1,80%	2,08%	1,67%	1,76%	1,44%	1,64%	2,11%	0,91%	1,71%	1,63%
PET exótico	0,07%	0,03%	0,04%	0,02%	0,01%	0,03%	0,03%	0,05%	0,02%	0,03%	0,06%	0,04%	0,05%	0,03%	0,02%	0,03%
Otros residuos	1,14%	1,42%	1,40%	1,78%	1,93%	1,54%	1,41%	1,35%	1,62%	0,89%	0,80%	0,91%	1,26%	0,36%	1,37%	1,20%
Residuos especiales	0,34%	0,48%	0,38%	0,36%	0,33%	0,39%	0,34%	0,30%	0,30%	0,15%	0,28%	0,20%	0,28%	0,09%	0,24%	0,27%



Componente	Comuna															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
RCD	0,18%	0,26%	0,23%	0,28%	0,30%	0,25%	0,24%	0,20%	0,25%	0,14%	0,28%	0,20%	0,19%	0,09%	0,21%	0,24%
Muebles y enseres	0,16%	0,23%	0,15%	0,08%	0,03%	0,14%	0,10%	0,10%	0,05%	0,01%	0,00%	0,00%	0,09%	0,00%	0,04%	0,03%
Peligrosos	0,16%	0,14%	0,17%	0,20%	0,21%	0,18%	0,16%	0,18%	0,18%	0,12%	0,08%	0,11%	0,18%	0,03%	0,16%	0,13%
Madera inmunizada a vacío presión (sales de cromo y arsénico)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Biosanitarios	0,10%	0,06%	0,08%	0,06%	0,05%	0,07%	0,05%	0,09%	0,04%	0,02%	0,03%	0,02%	0,09%	0,01%	0,03%	0,03%



Componente	Comuna															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Cortopunzantes	0,02%	0,03%	0,02%	0,01%	0,01%	0,02%	0,02%	0,01%	0,01%	0,01%	0,04%	0,02%	0,01%	0,02%	0,01%	0,02%
Cartuchos, tonners y cintas de impresión	0,03%	0,04%	0,02%	0,01%	0,00%	0,02%	0,02%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,01%	0,00%
Residuos de piel curtida contaminado con cromo y otras sustancias químicas del proceso de curtido de pieles	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%



Componente	Comuna															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Otros envases y contenedores de desechos que contienen residuos de sustancias peligrosas	0,02%	0,02%	0,04%	0,11%	0,14%	0,06%	0,07%	0,06%	0,11%	0,08%	0,02%	0,06%	0,06%	0,00%	0,10%	0,07%
Lodos y escorias peligrosas (incluidas listado Dec. 4741)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Fibra de vidrio	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%



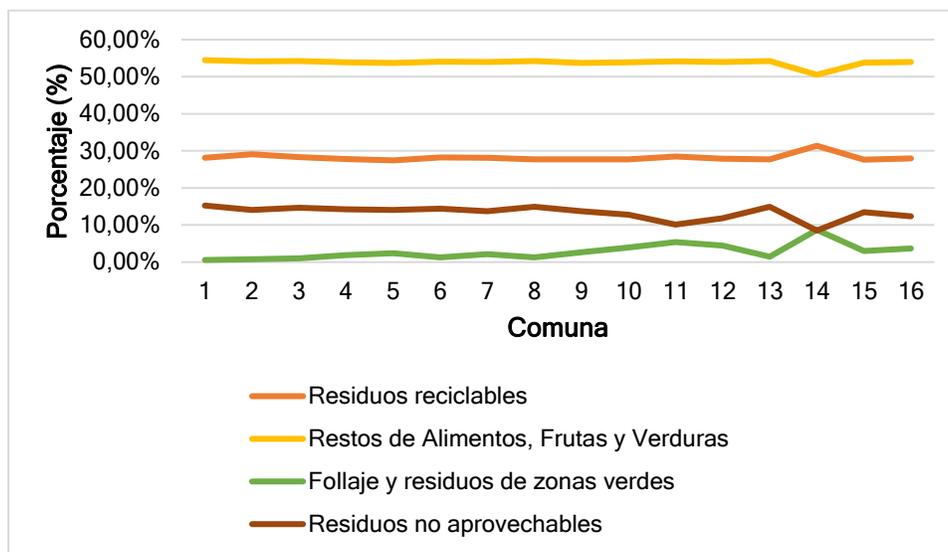
Componente	Comuna															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Residuos posconsumo	0,64%	0,79%	0,84%	1,22%	1,39%	0,97%	0,91%	0,87%	1,14%	0,62%	0,44%	0,60%	0,80%	0,24%	0,97%	0,80%
Llantas usadas	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)	0,50%	0,66%	0,70%	1,04%	1,19%	0,82%	0,77%	0,71%	0,97%	0,53%	0,43%	0,53%	0,65%	0,17%	0,82%	0,70%
Fármacos o medicamentos vencidos	0,06%	0,07%	0,05%	0,03%	0,02%	0,05%	0,04%	0,04%	0,02%	0,01%	0,00%	0,01%	0,04%	0,00%	0,02%	0,01%



Componente	Comuna															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Pilas y/o acumuladores	0,05%	0,02%	0,06%	0,13%	0,16%	0,08%	0,08%	0,09%	0,12%	0,06%	0,01%	0,05%	0,09%	0,00%	0,10%	0,07%
Baterías usadas plomo ácido	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Bombillas	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,00%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,01%	0,06%	0,01%	0,01%
Plaguicidas y envases	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,02%	0,01%	0,01%	0,00%	0,00%	0,02%	0,00%	0,01%	0,01%
Total	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %	100,00 %

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 51. Composición física porcentual de los residuos sólidos generados en el sector residencial del área urbana de Medellín por comuna



Fuente: Elaboración propia

11.1.3 Análisis histórico de la composición física porcentual de los residuos en zona urbana

Con el fin de evaluar la tendencia de la composición de los residuos que genera Medellín se realiza un análisis histórico del comportamiento con los datos generados desde el año 2009.

Dado que en los diversos estudios realizados se han modificado las subcategorías de residuos evaluados, en la siguiente tabla se presentan las composiciones físicas porcentuales según las categorías establecidas en los estudios anteriores para el sector urbano, por lo que se hace una reagrupación de los resultados obtenidos en 2023 con el fin de hacer comparables dichos resultados.

Tabla 40. Datos históricos de la composición física porcentual de residuos sólidos generados en la zona urbana de Medellín

Componente	Porcentaje %				
	2009	2011	2014	2018	2023*
Biodegradable*	53,8%	60,0%	55,4%	40,2%	57,42%
No aprovechables**	25,3%	18,0%	18,5%	28,6%	13,06%
Plásticos	6,7%	8,2%	8,6%	11,7%	10,86%
Papel	3,2%	3,4%	3,7%	2,7%	2,49%
Cartón***	2,1%	2,2%	1,8%	3,2%	5,01%
Vidrio	2,1%	2,8%	3,7%	4,1%	5,58%
Textiles	2,1%	2,4%	4,2%	3,4%	2,27%
Metales	0,8%	0,8%	1,4%	1,4%	1,31%
RCD****	1,9%	0,9%	0,4%	0,7%	0,29%
Tetra pack	0,3%	0,4%	0,2%	0,8%	0,69%
Electrónicos	0,5%	0,2%	0,2%	0,5%	0,69%
Peligrosos	1,2%	0,7%	1,2%	2,0%	0,14%
Otros*****					0,19%

* Para los resultados 2023, se hace equivalencia con residuos orgánicos

** Para los resultados 2023, se hace equivalencia con residuos no aprovechables

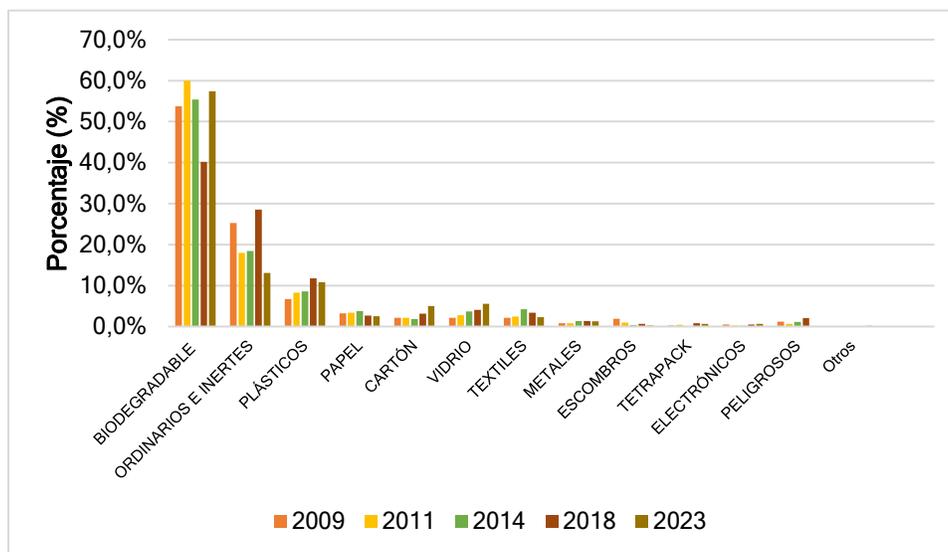
*** Para los resultados 2023, se hace equivalencia con residuos de cartón y canastas de huevo

**** Para los resultados 2023, se hace equivalencia con los residuos especiales generados (RCD y residuos voluminosos)

***** Para los resultados 2023, se evaluaron otros residuos como caucho y residuos posconsumo que no fueron equiparables con las corrientes estudiadas en años anteriores

Fuente: 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, 2018.

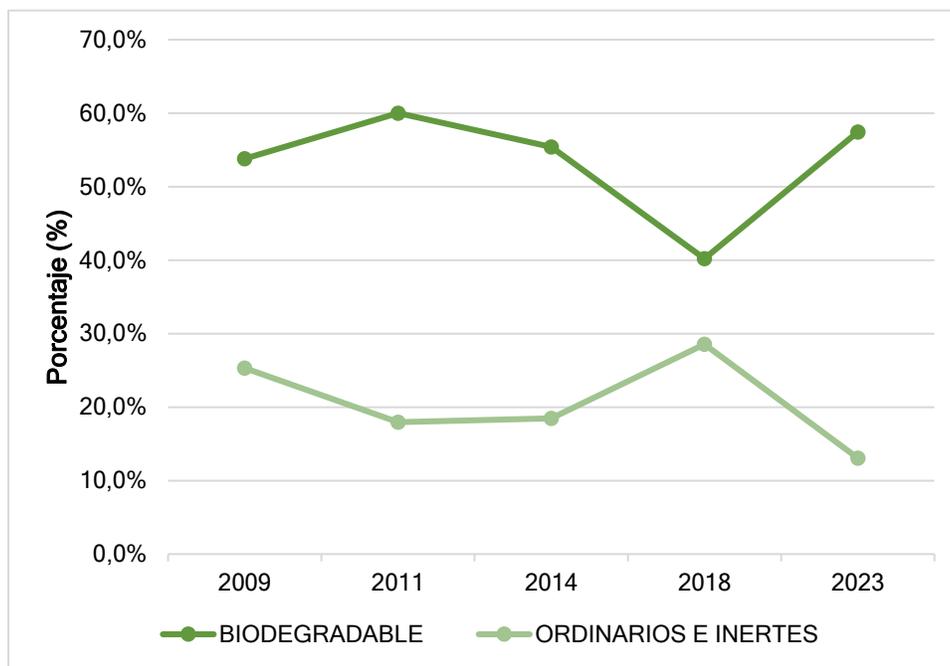
Gráfica 52. Comparativo de los datos históricos de la composición física porcentual de residuos sólidos generados en la zona urbana de Medellín



Fuente: 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, 2018.

Según la comparación de los resultados obtenidos en los años anteriores, se evidencia que pese a variaciones en el porcentaje total de la generación de los residuos orgánicos, se encuentra una relación inversamente proporcional con la variabilidad de la fracción de residuos no aprovechables como se muestra en la siguiente gráfica, evidenciándose que en la medida en que se hace una mayor separación de los residuos orgánicos, disminuye la cantidad de residuos no aprovechables, lo que refleja que la mala separación de los residuos realizada por el sector residencial genera una mixtura de residuos que si bien pueden considerarse inservibles, podrían haber tenido una separación en la fuente que permitiera su aprovechamiento.

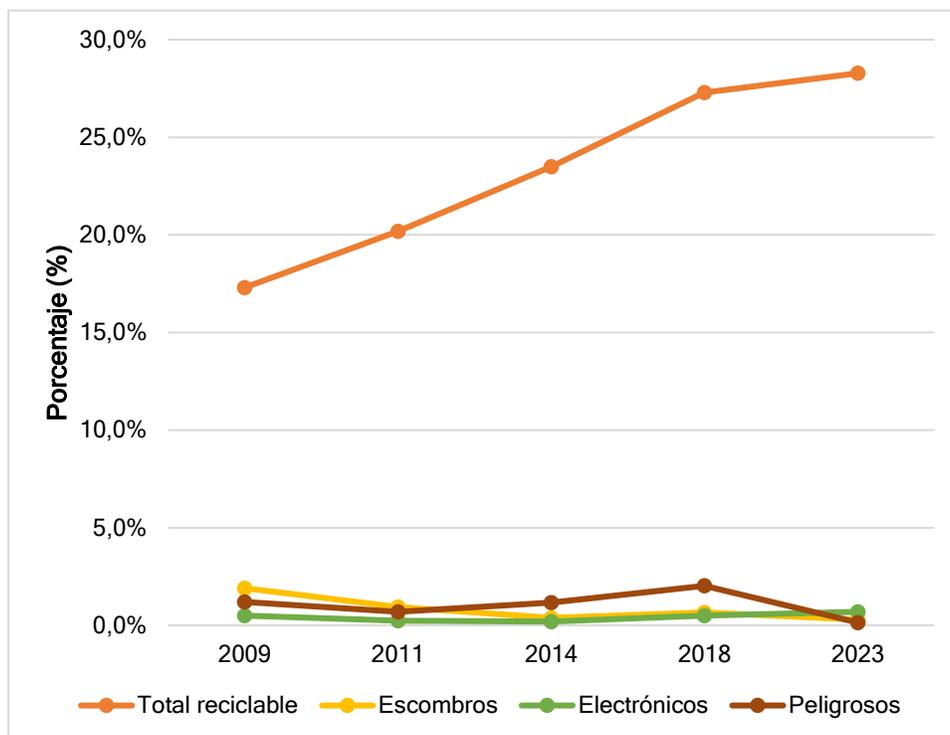
Gráfica 53. Comparativo en las tendencias de cambio en el peso porcentual de las fracciones de residuos orgánicos y residuos no aprovechables en Medellín



Fuente: 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, 2018.

Frente a las demás corrientes de residuos, es importante recalcar el aumento permanente en las fracciones de residuos reciclables y un leve incremento de RAEE, mientras que los residuos de construcción y demolición muestran una tendencia a la baja.

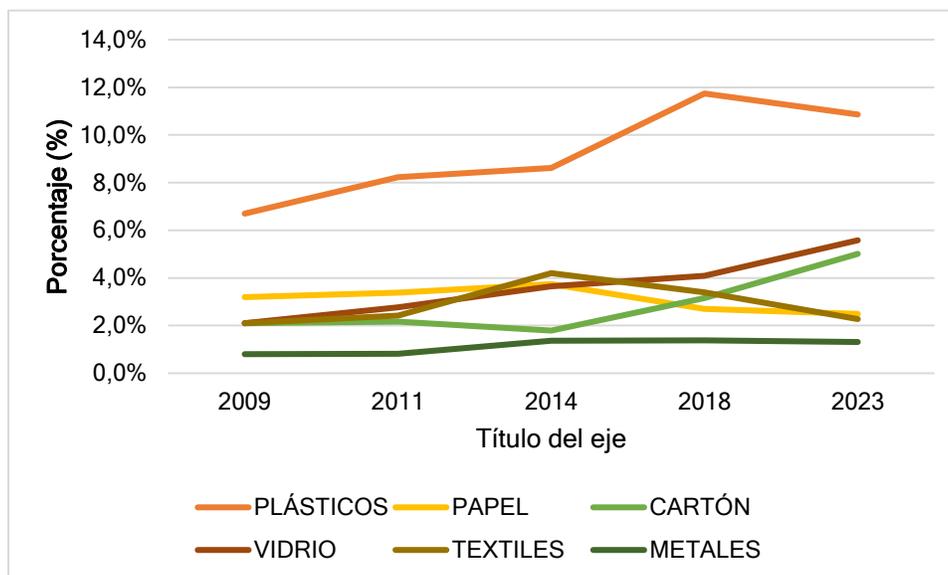
Gráfica 54. Comparativo en las tendencias de cambio en el peso porcentual de las fracciones de residuos reciclables, especiales y peligrosos en el sector urbano de Medellín



Fuente: 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, 2018.

En cuanto a los residuos reciclables, llama la atención que materiales como plástico, cartón, vidrio y tetrapak presentan una constante tendencia a aumentar; mientras que los demás residuos no muestran tendencias claras ya que se presentan aumentos y disminuciones.

Gráfica 55. Comparativo en las tendencias de cambio en el peso porcentual de las fracciones de residuos reciclables, en el sector rural de Medellín



Fuente: 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, 2018.

11.2 Resultados de la composición física porcentual de los residuos sólidos en los corregimientos de Medellín

11.2.1 Resultados de la composición física porcentual de los residuos sólidos por corregimiento

El análisis de la composición porcentual de los residuos se realizó de manera independiente para cada corregimiento, tanto en su casco urbano como en zona dispersa. Teniendo en cuenta que cada uno de los corregimientos tiene diferente cantidad de habitantes y por tanto usuarios del servicio de aseo, se halló el promedio ponderado para los centros poblados y el promedio ponderado para la zona dispersa de Medellín.

En la siguiente tabla, se presentan los resultados encontrados para cada corregimiento, tanto en sus centros poblados como en zona dispersa, presentando el resultado detallado para cada uno de los subcomponentes evaluados.

Tabla 41. Compilación de la composición física porcentual de los residuos sólidos generados en los centros poblados de los corregimientos de Medellín

Componente	Santa Elena	Altavista	San Antonio	San Cristóbal	Palmitas	Promedio Ponderado
Residuos reciclables aprovechables	55,43%	38,85%	30,27%	32,80%	60,01%	34,32%
Papel	6,18%	1,40%	3,56%	4,21%	2,15%	3,71%
Archivo	4,75%	0,54%	2,59%	3,66%	0,58%	2,90%
Kraft	0,99%	0,86%	0,31%	0,21%	1,00%	0,39%
Periódico	0,45%	0,00%	0,66%	0,26%	0,58%	0,38%
Revista	0,00%	0,00%	0,00%	0,09%	0,00%	0,04%
Cartón	8,53%	3,23%	4,68%	5,92%	12,50%	5,31%
Corrugado	5,11%	0,75%	2,83%	1,79%	8,82%	2,27%
Plegadizo	3,22%	1,94%	1,70%	3,45%	3,07%	2,60%
Tubos de cartón	0,20%	0,54%	0,15%	0,68%	0,61%	0,44%

Componente	Santa Elena	Altavista	San Antonio	San Cristóbal	Palmitas	Promedio Ponderado
Canastas de huevos	1,88%	2,16%	1,63%	1,66%	2,68%	1,74%
Canastas de huevos	1,88%	2,16%	1,63%	1,66%	2,68%	1,74%
Plástico	20,75%	14,45%	10,67%	11,00%	25,00%	12,06%
PET (1) Transparente	5,91%	3,88%	2,32%	2,13%	4,98%	2,70%
PET (1) Verde	0,18%	0,00%	0,08%	0,17%	0,77%	0,12%
PET (1) Ámbar	0,20%	0,54%	0,05%	0,21%	1,15%	0,20%
PET (1) Aceite	0,27%	1,08%	0,15%	0,30%	0,96%	0,35%
PEAD (2) Flexible	1,70%	2,70%	1,86%	1,15%	1,15%	1,65%
PEAD (2) Rígido	2,15%	0,75%	1,24%	2,51%	3,83%	1,80%
PVC (3)	0,04%	0,04%	0,05%	0,05%	0,27%	0,05%

Componente	Santa Elena	Atvavista	San Antonio	San Cristóbal	Palmitas	Promedio Ponderado
PEBD (4) Flexible	2,87%	1,85%	1,94%	1,45%	5,94%	1,80%
PEBD (4) Rígido	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
PP (5) Flexible	1,43%	0,75%	0,70%	0,72%	1,15%	0,77%
PP (5) Rígido	1,79%	1,32%	0,62%	1,06%	1,92%	0,99%
PS (6)	1,61%	0,43%	0,66%	0,43%	1,53%	0,59%
PS (6) Expandido (Icopor)	0,00%	0,02%	0,00%	0,01%	0,00%	0,01%
Otros (7)	0,63%	0,32%	0,35%	0,30%	0,00%	0,34%
Plásticos aluminizados	1,97%	0,75%	0,66%	0,51%	1,34%	0,70%
ABS	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Polycarbonato	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Vidrio	12,72%	14,34%	3,33%	5,41%	12,08%	6,38%

Componente	Santa Elena	Altavista	San Antonio	San Cristóbal	Palmitas	Promedio Ponderado
Blanco	7,52%	9,16%	2,67%	5,02%	9,01%	4,92%
Verde	0,00%	0,00%	0,00%	0,34%	0,00%	0,15%
Café - Ámbar	5,20%	5,17%	0,66%	0,04%	3,07%	1,31%
Plano	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Metales	1,97%	1,12%	0,79%	1,45%	2,72%	1,21%
Chatarra	0,90%	0,34%	0,77%	1,11%	2,68%	0,88%
Aluminio	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,04%	0,00%
Hierro gris	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Latón	0,00%	0,00%	0,00%	0,04%	0,00%	0,02%
Cobre (Amarillo)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Cobre (Rojo)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Karla	1,07%	0,78%	0,02%	0,30%	0,00%	0,31%

Componente	Santa Elena	Altavista	San Antonio	San Cristóbal	Palmitas	Promedio Ponderado
Cuero	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Cuero	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Caucho	0,00%	0,00%	0,00%	0,68%	0,00%	0,30%
Caucho	0,00%	0,00%	0,00%	0,68%	0,00%	0,30%
Tetrapack	1,34%	0,75%	0,43%	0,26%	0,58%	0,46%
Tetra pack	1,34%	0,75%	0,43%	0,26%	0,58%	0,46%
Textiles	2,06%	1,40%	5,19%	2,21%	2,30%	3,17%
Estopas, fibras y excedentes textiles no contaminados	2,06%	1,40%	5,19%	2,21%	2,30%	3,17%
Residuos orgánicos aprovechables	17,83%	41,72%	59,78%	49,39%	22,05%	49,91%
Materia orgánica	17,83%	41,72%	59,66%	48,83%	22,05%	49,63%

Componente	Santa Elena	Altavista	San Antonio	San Cristóbal	Palmitas	Promedio Ponderado
Restos de Alimentos, Frutas y Verduras	14,06%	40,97%	58,96%	48,28%	22,05%	48,79%
Follaje y residuos de zonas verdes	3,76%	0,75%	0,70%	0,55%	0,00%	0,83%
Madera	0,00%	0,00%	0,12%	0,55%	0,00%	0,28%
Madera no inmunizada (Estibas, guacales, carretas, palos de escoba, entre otros)	0,00%	0,00%	0,12%	0,00%	0,00%	0,04%
Residuos de carpintería (aserrín, viruta, orillos, retales, tablero aglomerado, enchapes, entre otras)	0,00%	0,00%	0,00%	0,55%	0,00%	0,24%
Residuos no aprovechables	25,46%	14,88%	8,60%	16,65%	17,68%	14,08%

Componente	Santa Elena	Altavista	San Antonio	San Cristóbal	Palmitas	Promedio Ponderado
Residuos sanitarios	22,48%	9,49%	5,96%	13,54%	10,16%	10,81%
Papel No reciclable	0,00%	0,00%	0,09%	0,72%	0,19%	0,35%
Cartón no aprovechable	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Calzado	0,00%	1,29%	0,74%	0,81%	0,00%	0,79%
Restos de barrido y otros	2,96%	4,10%	1,59%	1,58%	7,29%	2,04%
PET exótico	0,02%	0,00%	0,23%	0,00%	0,04%	0,09%
Otros residuos	1,29%	4,55%	1,35%	1,17%	0,27%	1,69%
Residuos especiales	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
RCD	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Muebles y enseres	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Componente	Santa Elena	Altavista	San Antonio	San Cristóbal	Palmitas	Promedio Ponderado
Peligrosos	0,36%	0,02%	0,10%	0,18%	0,04%	0,14%
Madera inmunizada	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Biosanitarios	0,00%	0,00%	0,05%	0,14%	0,04%	0,08%
Cortopunzantes	0,36%	0,02%	0,01%	0,00%	0,00%	0,03%
Cartuchos, tonners y cintas de impresión	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Residuos de piel curtida contaminado con cromo y otras sustancias químicas del proceso de curtido de pieles	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Otros envases y contenedores de desecho que contienen residuos	0,00%	0,00%	0,00%	0,04%	0,00%	0,02%

Componente	Santa Elena	Altavista	San Antonio	San Cristóbal	Palmitas	Promedio Ponderado
de sustancias peligrosas						
Lodos y escorias peligrosas (incluidas listado Dec. 4741)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Fibra de vidrio	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Residuos posconsumo	0,93%	4,53%	1,25%	0,99%	0,23%	1,56%
Llantas usadas	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)	0,90%	4,31%	0,62%	0,68%	0,19%	1,16%
Fármacos o medicamentos vencidos	0,02%	0,00%	0,62%	0,04%	0,00%	0,24%
Pilas y/o acumuladores	0,00%	0,22%	0,00%	0,21%	0,00%	0,12%

Componente	Santa Elena	Altavista	San Antonio	San Cristóbal	Palmitas	Promedio Ponderado
Baterías usadas plomo ácido	0,02%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Bombillas	0,00%	0,00%	0,01%	0,05%	0,04%	0,03%
Plaguicidas y envases	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 42. Compilación de la composición física porcentual de los residuos sólidos generados en la zona dispersa de los corregimientos de Medellín

Componente	Santa elena	Altavista	San Antonio	San Cristóbal	Palmitas	Promedio ponderado
Residuos reciclables aprovechables	37,59%	50,94%	42,40%	40,03%	92,21%	42,52%
Papel	1,69%	2,61%	5,06%	2,47%	1,85%	3,37%
Archivo	1,16%	1,81%	0,49%	1,34%	0,34%	1,08%

Componente	Santa elena	Altavista	San Antonio	San Cristóbal	Palmitas	Promedio ponderado
Kraft	0,53%	0,60%	0,57%	0,75%	1,52%	0,66%
Periódico	0,00%	0,20%	0,57%	0,16%	0,00%	0,30%
Revista	0,00%	0,00%	3,43%	0,21%	0,00%	1,33%
Cartón	4,33%	6,92%	3,85%	4,27%	10,35%	4,52%
Corrugado	0,00%	4,62%	1,47%	1,83%	8,60%	2,00%
Plegadizo	4,22%	2,21%	1,23%	1,93%	1,69%	1,86%
Tubos de cartón	0,11%	0,08%	1,16%	0,52%	0,07%	0,66%
Canastas de huevos	2,11%	0,60%	0,98%	1,02%	2,19%	1,03%
Canastas de huevos	2,11%	0,60%	0,98%	1,02%	2,19%	1,03%
Plástico	21,44%	20,06%	12,89%	19,11%	30,75%	17,21%
PET (1) Transparente	3,70%	4,62%	2,78%	6,39%	11,63%	4,71%
PET (1) Verde	0,00%	0,08%	0,02%	0,00%	1,01%	0,02%

Componente	Santa elena	Altavista	San Antonio	San Cristóbal	Palmitas	Promedio ponderado
PET (1) Ámbar	0,00%	0,40%	0,02%	0,32%	0,37%	0,20%
PET (1) Aceite	1,06%	0,40%	0,25%	0,02%	2,02%	0,23%
PEAD (2) Flexible	5,28%	2,61%	1,88%	1,88%	3,03%	2,20%
PEAD (2) Rígido	1,16%	3,02%	1,39%	0,86%	5,90%	1,39%
PVC (3)	0,00%	0,08%	0,03%	0,02%	0,03%	0,03%
PEBD (4) Flexible	4,22%	3,22%	2,61%	3,17%	2,87%	3,04%
PEBD (4) Rígido	0,00%	0,80%	0,16%	0,27%	0,00%	0,28%
PP (5) Flexible	3,17%	1,21%	0,74%	0,00%	1,18%	0,64%
PP (5) Rígido	0,00%	1,21%	0,49%	2,15%	1,18%	1,28%
PS (6)	2,64%	0,60%	0,41%	2,84%	1,01%	1,64%
PS (6) Expandido (Icopor)	0,00%	0,20%	0,00%	0,00%	0,00%	0,03%
Otros (7)	0,11%	0,00%	0,65%	0,44%	0,00%	0,43%

Componente	Santa elena	Altavista	San Antonio	San Cristóbal	Palmitas	Promedio ponderado
Plásticos aluminizados	0,11%	1,61%	1,47%	0,75%	0,51%	1,08%
ABS	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Polycarbonato	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Vidrio	4,22%	12,06%	5,88%	5,31%	38,27%	6,56%
Blanco	4,22%	12,06%	5,23%	2,68%	32,03%	5,15%
Verde	0,00%	0,00%	0,00%	0,54%	0,00%	0,23%
Café - Ámbar	0,00%	0,00%	0,65%	2,09%	6,24%	1,18%
Plano	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Metales	0,11%	0,84%	1,24%	1,23%	1,55%	1,11%
Chatarra	0,11%	0,80%	0,74%	0,70%	1,52%	0,69%
Aluminio	0,00%	0,00%	0,02%	0,32%	0,00%	0,15%
Hierro gris	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Componente	Santa elena	Altavista	San Antonio	San Cristóbal	Palmitas	Promedio ponderado
Latón	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Cobre (Amarillo)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Cobre (Rojo)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Karla	0,00%	0,04%	0,49%	0,21%	0,03%	0,28%
Cuero	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Cuero	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Caucho	0,00%	0,00%	0,82%	0,06%	4,72%	0,35%
Caucho	0,00%	0,00%	0,82%	0,06%	4,72%	0,35%
Tetrapack	1,58%	1,61%	0,49%	1,99%	0,67%	1,36%
Tetra pack	1,58%	1,61%	0,49%	1,99%	0,67%	1,36%
Textiles	2,11%	6,23%	11,19%	4,56%	1,85%	7,01%

Componente	Santa elena	Altavista	San Antonio	San Cristóbal	Palmitas	Promedio ponderado
Estopas, fibras y excedentes textiles no contaminados	2,11%	6,23%	11,19%	4,56%	1,85%	7,01%
Residuos orgánicos aprovechables	21,12%	12,67%	35,94%	32,05%	1,18%	29,93%
Materia orgánica	21,12%	12,67%	28,01%	32,05%	1,18%	27,08%
Restos de Alimentos, Frutas y Verduras	21,12%	12,67%	27,20%	31,13%	1,18%	26,39%
Follaje y residuos de zonas verdes	0,00%	0,00%	0,82%	0,91%	0,00%	0,69%
Madera	0,00%	0,00%	7,92%	0,00%	0,00%	2,85%
Madera no inmunizada (Estibas, guacales, carretas, palos de escoba, entre otros)	0,00%	0,00%	6,70%	0,00%	0,00%	2,41%
Residuos de carpintería (aserrín, viruta, orillos, retales, tablero)	0,00%	0,00%	1,23%	0,00%	0,00%	0,44%

Componente	Santa elena	Altavista	San Antonio	San Cristóbal	Palmitas	Promedio ponderado
aglomerado, enchapes, entre otras)						
Residuos no aprovechables	41,18%	34,78%	20,08%	26,78%	6,61%	26,26%
Residuos sanitarios	22,18%	32,97%	15,52%	20,56%	4,55%	20,44%
Papel No reciclable	0,00%	0,00%	0,03%	0,43%	0,00%	0,20%
Cartón no aprovechable:	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Calzado	8,45%	0,00%	0,90%	1,02%	0,00%	1,31%
Restos de barrido y otros	10,56%	1,81%	3,59%	4,78%	2,02%	4,30%
PET exótico	0,00%	0,00%	0,03%	0,00%	0,03%	0,01%
Otros residuos	0,11%	1,61%	1,58%	1,14%	0,00%	1,29%
Residuos especiales	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
RCD	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Muebles y enseres	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

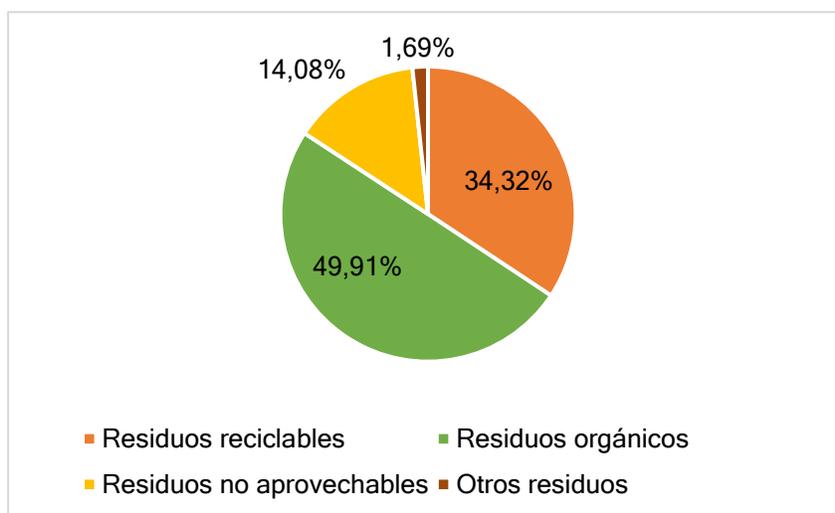
Componente	Santa elena	Altavista	San Antonio	San Cristóbal	Palmitas	Promedio ponderado
Peligrosos	0,00%	0,00%	0,44%	0,33%	0,00%	0,30%
Madera inmunizada a vacío presión	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Biosanitarios	0,00%	0,00%	0,44%	0,11%	0,00%	0,21%
Cortopunzantes	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%	0,00%	0,00%
Cartuchos, tonners y cintas de impresión	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Residuos de piel curtida contaminado con cromo y otras sustancias químicas del proceso de curtido de pieles	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Otros envases y contenedores de desecho que contienen residuos de sustancias peligrosas	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Lodos y escorias peligrosas (incluidas listado Dec. 4741)	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Componente	Santa elena	Altavista	San Antonio	San Cristóbal	Palmitas	Promedio ponderado
Fibra de vidrio	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Residuos posconsumo	0,11%	1,61%	1,14%	0,81%	0,00%	0,99%
Llantas usadas	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)	0,00%	1,61%	1,06%	0,81%	0,00%	0,95%
Fármacos o medicamentos vencidos	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Pilas y/o acumuladores	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Baterías usadas plomo ácido	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Bombillas	0,11%	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,01%
Plaguicidas y envases	0,00%	0,00%	0,08%	0,00%	0,00%	0,03%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia

En la composición porcentual en peso (ponderada por número de usuarios) de los residuos generados en la cabecera de los 5 corregimientos de Medellín, predomina la generación de residuos orgánicos con un 49,91% siendo estos los residuos que más se generan. En segundo lugar, se encuentran los residuos reciclables con un 34,32%, un 14,08% de residuos no aprovechables y un 1,69% de otros residuos en los que se encuentran especiales, peligrosos y posconsumo como se muestra en la Gráfica 56.

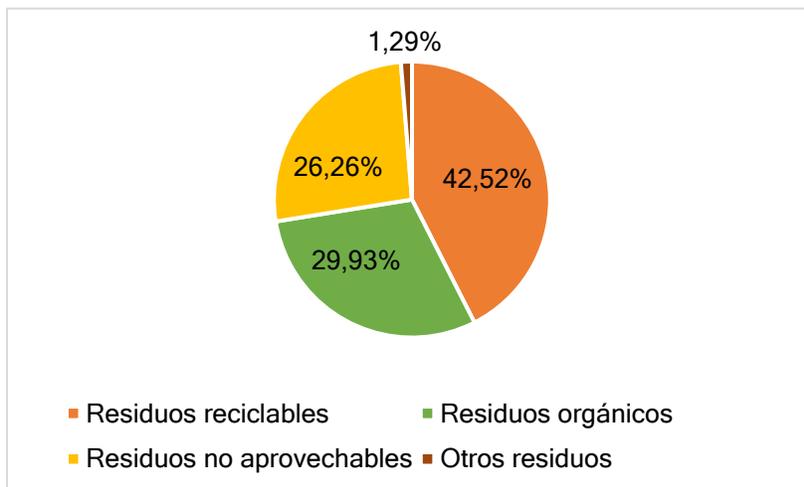
Gráfica 56. Resultados de la composición física de los residuos en centros poblados de los corregimientos de Medellín



Fuente: Elaboración propia

Para la zona rural dispersa se presenta la predominancia de los residuos reciclables con 42,52%, mientras que la fracción de residuos orgánicos representa el 29,93%, siendo muy similar a la fracción de residuos no aprovechables con un 26,26% y un 1,29% corresponde a la categoría de otros residuos. Es posible que la poca generación de residuos orgánicos se deba a su aprovechamiento para alimentación de animales o alguna práctica de auto gestión como el compostaje.

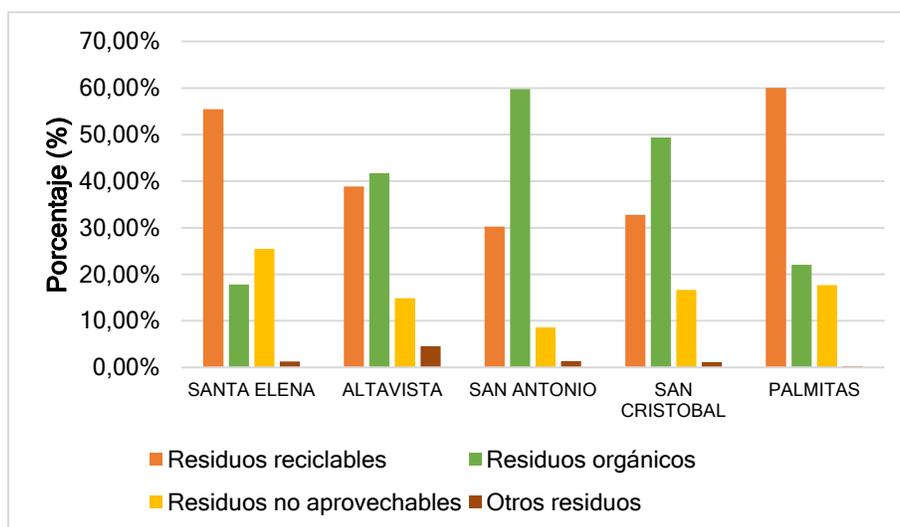
Gráfica 57. Resultados de la composición física de los residuos en zona dispersa de los corregimientos de Medellín



Fuente: Elaboración propia

A continuación, se presenta el comparativo de las composiciones físicas porcentuales encontradas en el casco urbano de cada uno de los corregimientos.

Gráfica 58. Comparativo de los resultados de la composición física de los residuos en los centros poblados de los cinco corregimientos de Medellín



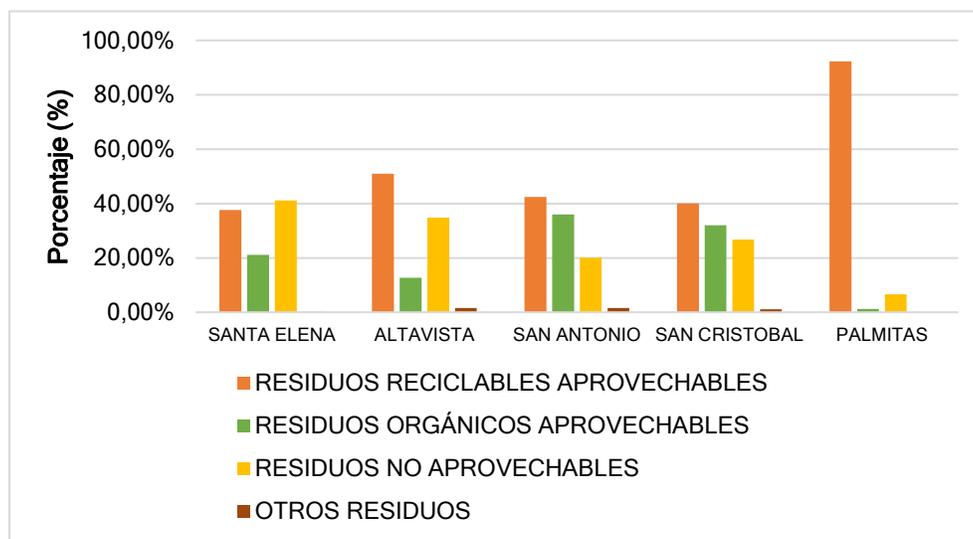
Fuente: Elaboración propia

En los corregimientos de San Antonio de Prado, San Cristóbal y Altavista la mayor fracción generada corresponde a residuos orgánicos, seguido por residuos reciclables, los residuos no aprovechables y una fracción inferior de otros residuos. Esta composición se asemeja a la encontrada en zona urbana, lo cual es entendible dado que las formas de vida en estos corregimientos son más urbanas.

En el corregimiento de Palmitas la mayor fracción corresponde a los residuos reciclables. En segundo lugar, se encuentran los residuos orgánicos, seguidos por los residuos no aprovechables y otros residuos. Es importante mencionar que en este corregimiento donde se encuentran formas de vida más rurales los residuos orgánicos no son considerados desechos puesto que cuentan con aprovechamiento al interior de las viviendas en la alimentación de animales según información suministrada en la visita realizada.

Por su parte, en el corregimiento de Santa Elena predomina la generación de residuos reciclables, seguidos por los residuos no aprovechables y en tercer lugar se encuentran los residuos de tipo orgánico.

Gráfica 59. Comparativo de los resultados de la composición física de los residuos en zona dispersa de los cinco corregimientos de Medellín



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a la composición de residuos en zona dispersa se encuentra una predominancia de los residuos reciclables en los corregimientos AltaVista, San Antonio de Prado, San Cristóbal y Palmitas, debido posiblemente a que los desperdicios de comida no se consideran desechos dado su uso interno en la alimentación de animales, lo que disminuye la aparición del componente orgánico en la composición física porcentual de esos lugares.

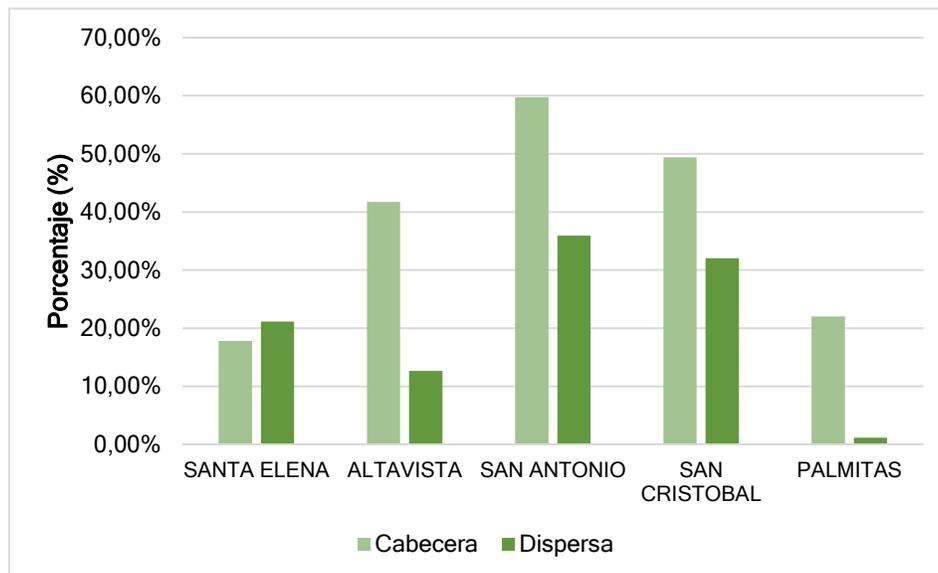
Esto se evidencia en mayor medida en los corregimientos de Palmitas, Alta vista Santa Elena donde los residuos orgánicos se encuentran de terceros en orden de participación después de los reciclables y no aprovechables.

En el corregimiento de Santa Elena, para su cabecera y para su zona dispersa, se encontró predominancia de residuos no aprovechables sobre los residuos reciclables y los orgánicos, lo que puede deberse a la dinámica de turismo que presenta mala separación de residuos.

En la siguiente gráfica se presenta el comparativo para cada corregimiento de la participación de residuos orgánicos entre su cabecera y zona dispersa, mostrando que, a excepción del corregimiento de Santa Elena, los demás corregimientos presentan menor fracción de residuos orgánicos en su zona dispersa frente al valor encontrado en la cabecera corregimental.



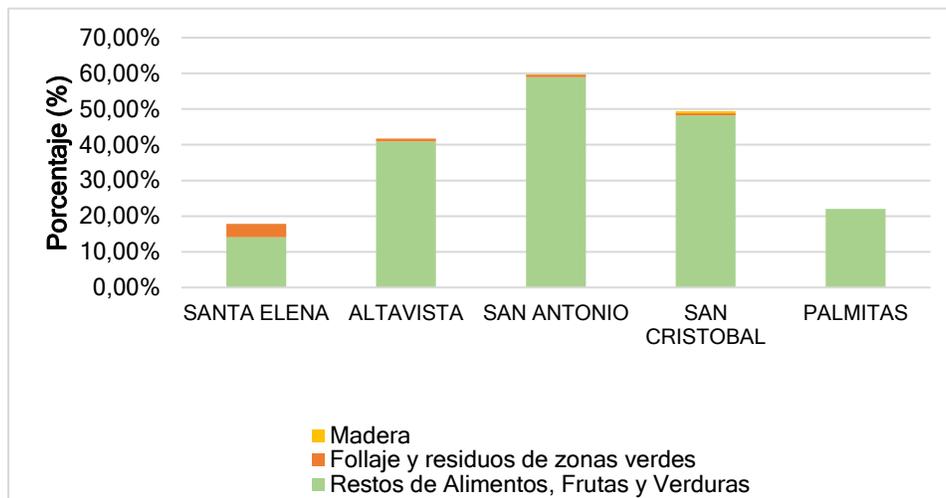
Gráfica 60. Comparativo de la fracción de residuos orgánicos entre centros poblados y zona dispersa de los corregimientos



Fuente: Elaboración propia

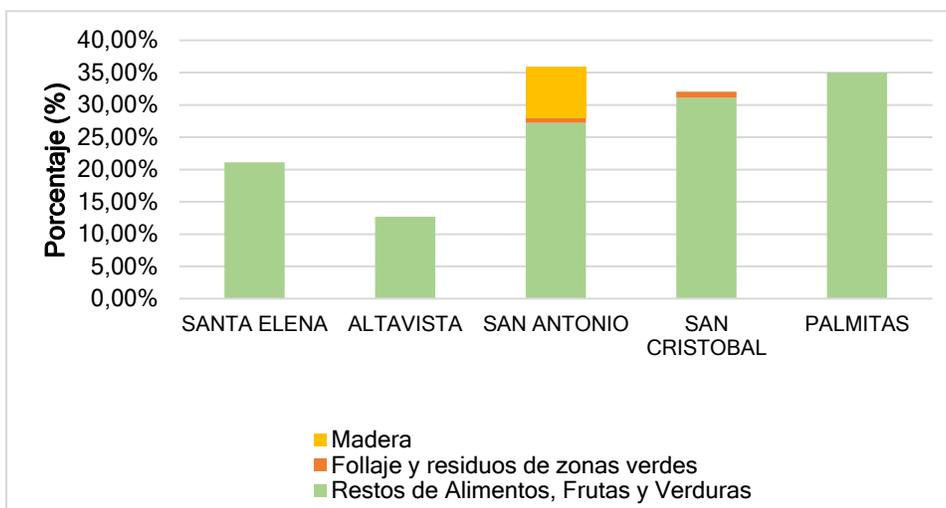
De manera general, en los corregimientos de Medellín, los residuos orgánicos se componen principalmente de restos de alimentos, frutas y verduras (crudos y/o cocidos) y en menos proporción hojarasca, residuos de poda, follaje y en general residuos vegetales y madera no inmunizada.

Gráfica 61. Porcentajes de residuos orgánicos en centros poblados de los corregimientos de Medellín



Fuente: Elaboración propia

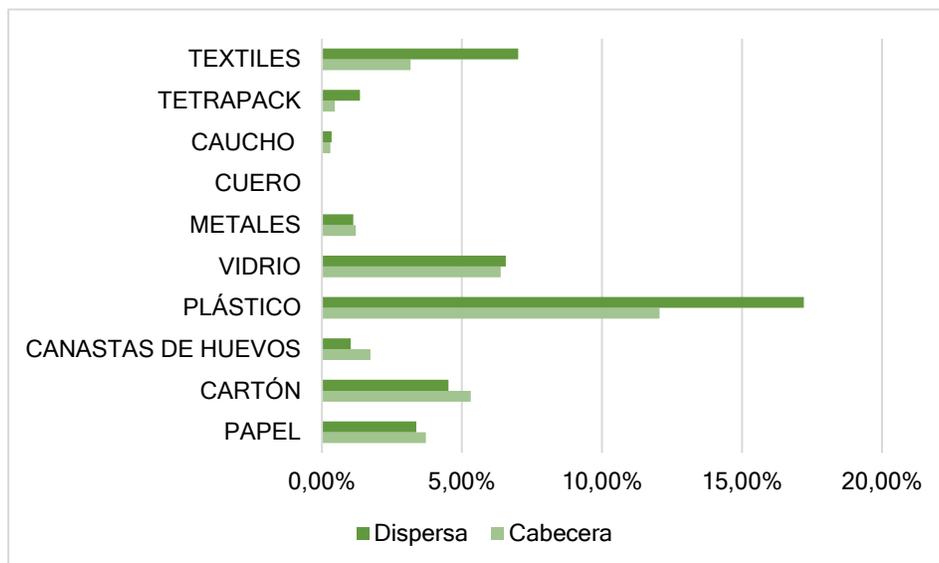
Gráfica 62. Porcentajes de residuos orgánicos en zona dispersa de los corregimientos de Medellín



Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los residuos reciclables, dada la cantidad de subcomponentes tales como papel, cartón, plástico, vidrio y metales entre otros, se presenta a continuación los resultados de caracterización para los corregimientos, haciendo un comparativo entre los resultados encontrados en cabecera y zona dispersa.

Gráfica 63. Comparativo de residuos reciclables generados en corregimientos

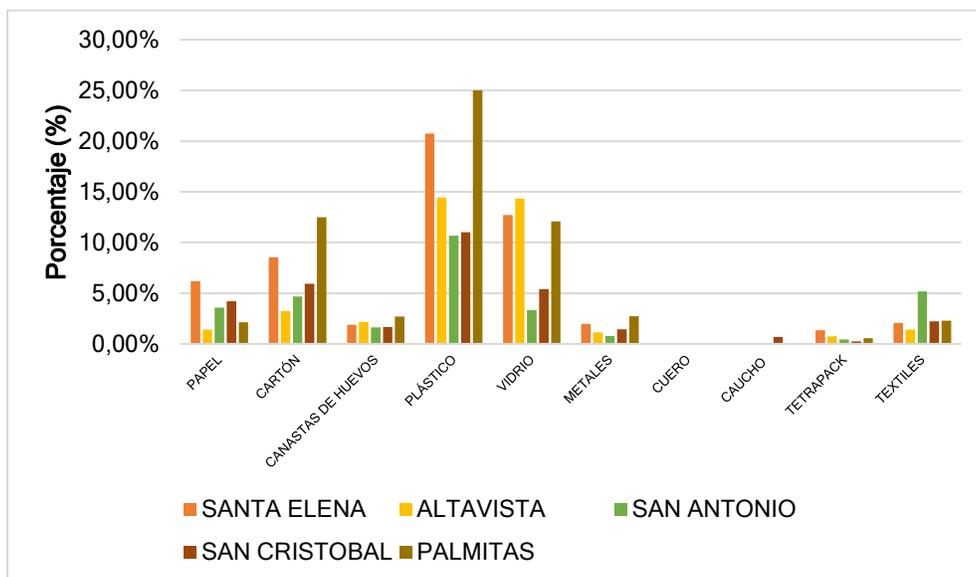


Fuente: Elaboración propia

En las Gráficas 64 y 65 se presenta el detalle por subcategorías para cabecera y zona dispersa, donde se evidencia que a nivel general se presenta una alta generación de plásticos en todos los corregimientos, siendo el material reciclable con mayor peso en los corregimientos, siguiendo en orden de generación el vidrio, cartón, papel y textiles.

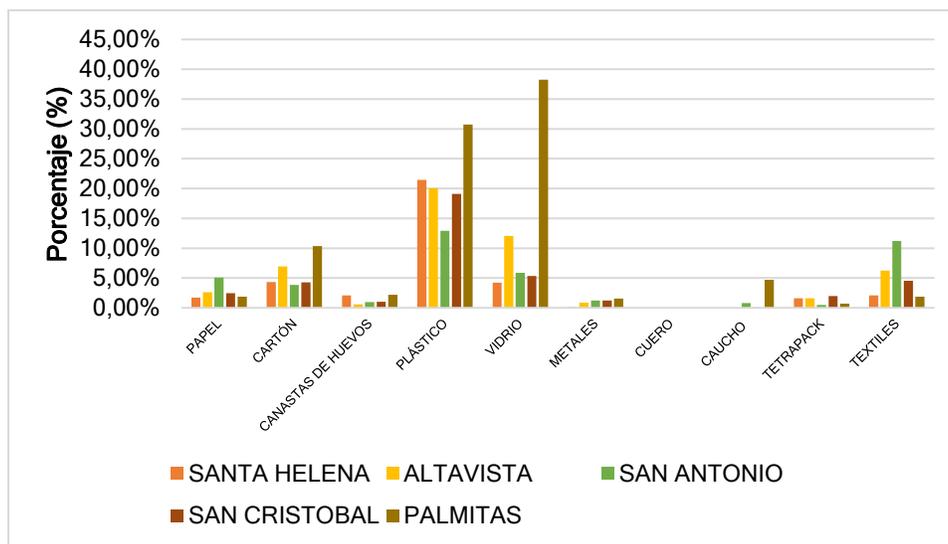
Cabe anotar que estos residuos reciclables se hallaban contaminados con residuos orgánicos, lo que disminuye su potencial de aprovechamiento y los convierte en residuos no aprovechables.

Gráfica 64. Composición de residuos reciclables presentes en los residuos sólidos generados en centros poblados por corregimiento



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 65. Composición de residuos reciclables presentes en los residuos sólidos generados en zona dispersa por corregimiento



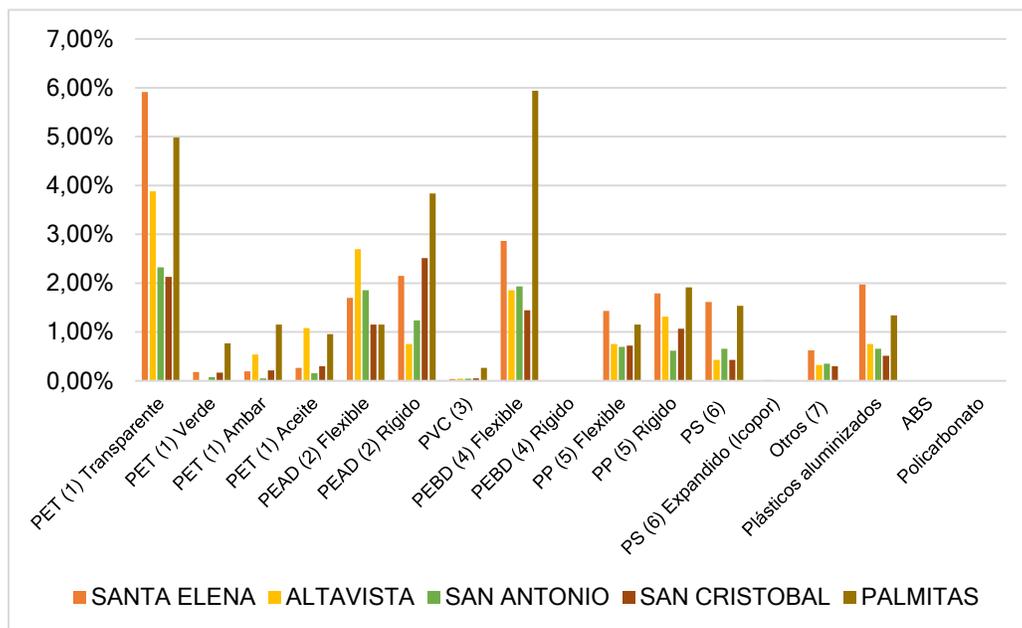
Fuente: Elaboración propia

En general, en cuanto a los residuos reciclables se tienen tendencias muy similares en las cabeceras y zonas dispersas de los corregimientos, además estos valores coinciden con la tendencia urbana, donde el material de mayor generación es el plástico seguido por vidrio, cartón, papel y textiles. Solamente en el corregimiento de San Antonio de Prado se encontró una generación atípica de textiles que supera el promedio.

Los materiales reciclables cobran importancia en los corregimientos con menor contenido de residuos orgánicos como se muestra en la siguiente gráfica, además se evidencia que el porcentaje de plásticos encontrado fue alto en todos los corregimientos tanto en su cabecera como en zona dispersa, siendo el PET el plástico de mayor generación seguido por PEBD flexible.

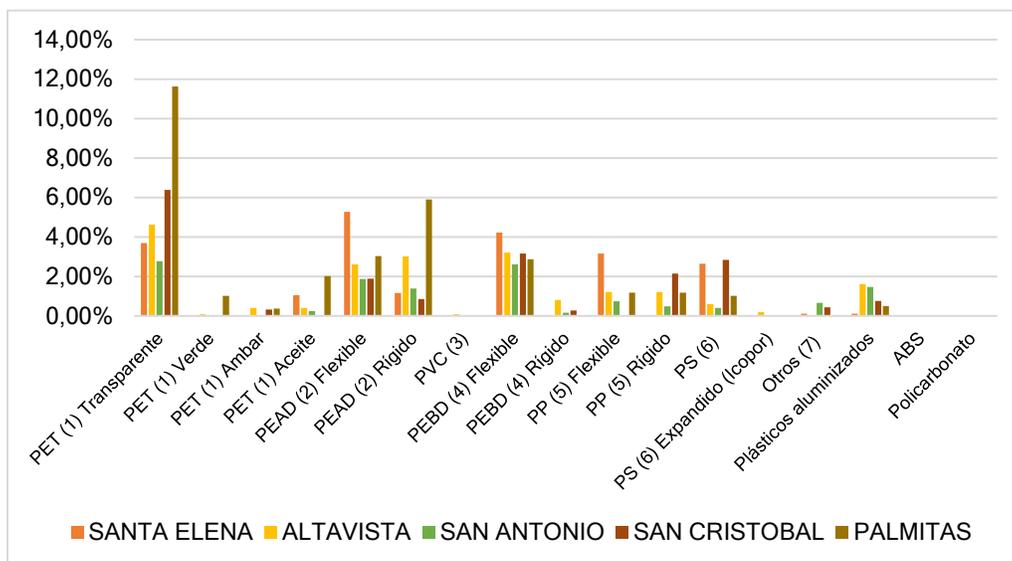
En la Gráfica 66 se reportan los porcentajes de generación encontrados para cada tipo de plástico, donde se evidencian resultados similares a la zona urbana.

Gráfica 66. Participación de los diferentes plásticos presentes en los residuos sólidos generados en centros poblados por corregimiento



Fuente: Elaboración propia

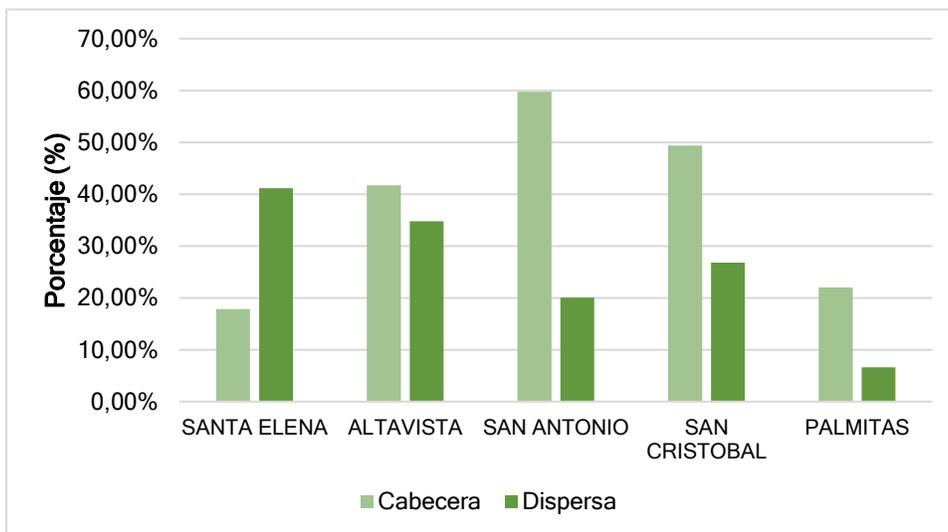
Gráfica 67. Participación de los diferentes plásticos presentes en los residuos sólidos generados en zona dispersa por corregimientos



Fuente: Elaboración propia

En los corregimientos de Medellín, la generación de residuos no aprovechables estuvo en tercer lugar en términos generales, tanto en cabeceras como en zona dispersa; evidenciándose para cada corregimiento una fracción mayor en la cabecera frente a su zona dispersa, excepto en el corregimiento de Santa Elena, en el cual se encuentra una mayor fracción para la zona dispersa.

Gráfica 68. Comparativo de residuos no aprovechables generados en corregimientos

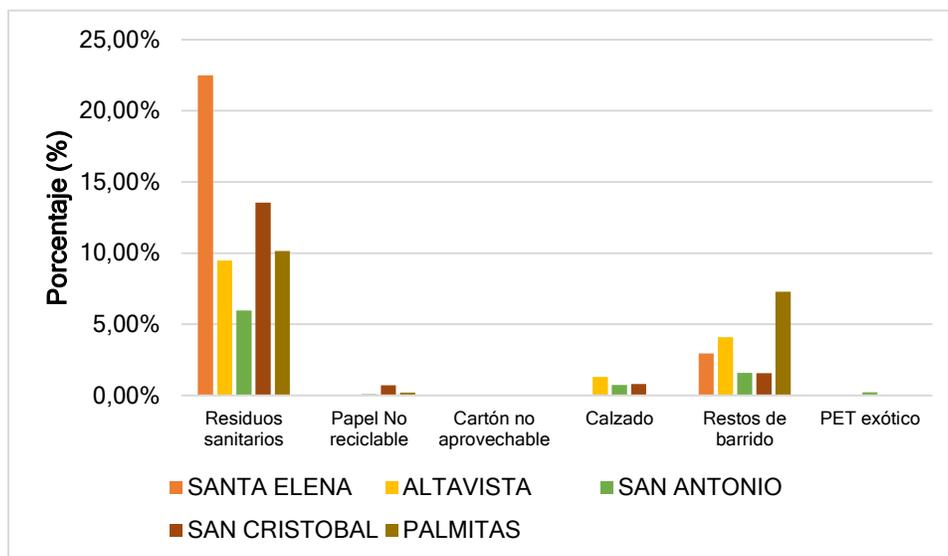


Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los residuos no aprovechables, en todos los corregimientos tanto en los centros poblados como en zona dispersa, la fracción predominante corresponde a residuos sanitarios tales como papel higiénico, toallas higiénicas, pañales y servilletas, siendo el valor más alto seguido por restos de barrido.

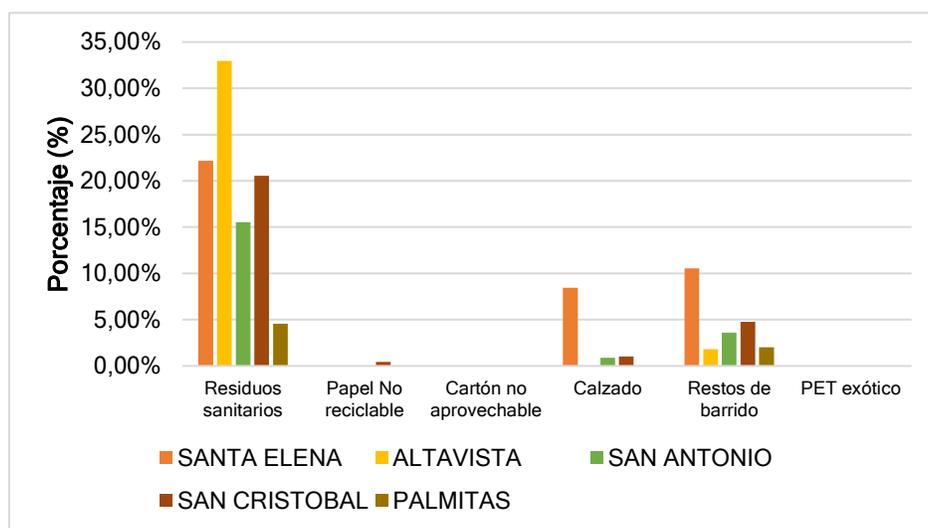


Gráfica 69. Composición de residuos no aprovechables presentes en los residuos sólidos generados en centros poblados por corregimiento



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 70. Composición de residuos no aprovechables presentes en los residuos sólidos generados en zona dispersa por corregimiento



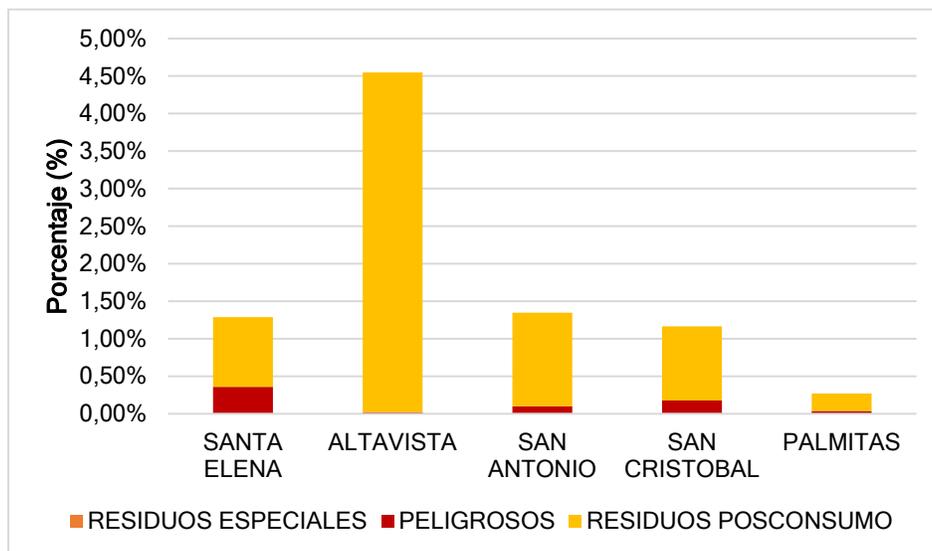
Fuente: Elaboración propia

En la categoría de "otros residuos" tanto en cabecera como en zona dispersa de los corregimientos se encuentran principalmente residuos posconsumo compuestos



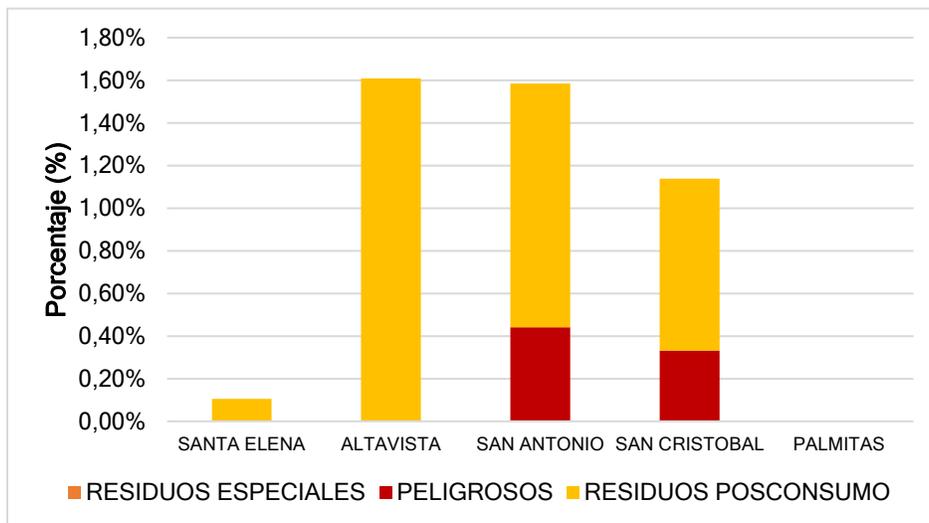
principalmente por RAEE y en menor medida pilas, seguido por los residuos peligrosos compuestos principalmente por residuos biosanitarios (tapabocas, gasas, algodón y residuos contaminados con fluidos corporales). No se encontraron residuos especiales tales como RCD, muebles y enseres.

Gráfica 71. Composición de "otros residuos" presentes en los residuos sólidos generados en centros poblados por corregimiento



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 72. Composición de "otros residuos" presentes en los residuos sólidos generados en zonas dispersas por corregimiento



Fuente: Elaboración propia

11.2.2 Análisis histórico de la composición física porcentual de los residuos en los corregimientos de Medellín

Con el fin de analizar la tendencia de la composición de los residuos que se generan en los corregimientos de Medellín, se presenta la composición física porcentual encontrada en años anteriores, teniendo en cuenta que hasta el momento, en los estudios de caracterización de residuos de Medellín realizados en años anteriores, es la primera vez que se incluye la zona dispersa de los corregimientos, por lo que el análisis histórico de la PPC en corregimientos se hace teniendo en cuenta únicamente el resultado encontrado para las cabeceras corregimentales.

Dado que en los diversos estudios realizados se han modificado las subcategorías de residuos caracterizados, en la siguiente tabla se presentan las composiciones físicas porcentuales según las categorías establecidas en los estudios anteriores para el sector urbano y se hace una reagrupación de los resultados obtenidos en 2023 con el fin de hacer comparables los resultados de caracterización.

Tabla 43. Datos históricos de la composición física porcentual de residuos sólidos generados en la zona rural de Medellín

Componente	2014	2018	2023
Biodegradable y putrescibles	48,9%	31,0%	49,63%
No aprovechables	26,2%	36,0%	14,08%
Plásticos	8,2%	13,1%	12,06%
Textiles	3,7%	5,1%	3,17%
Vidrio	2,7%	4,1%	6,38%
Cartón	2,3%	3,5%	7,05%
Especiales	1,5%	2,2%	0,00%
Metales	1,6%	1,5%	1,21%
Papel	3,8%	1,4%	3,71%
Peligrosos	1,0%	1,1%	0,14%
Madera	ND	ND	0,28%
Otros	ND	ND	2,32%

* Para los resultados 2023, se hace equivalencia con residuos orgánicos

** Para los resultados 2023, se hace equivalencia con residuos no aprovechables

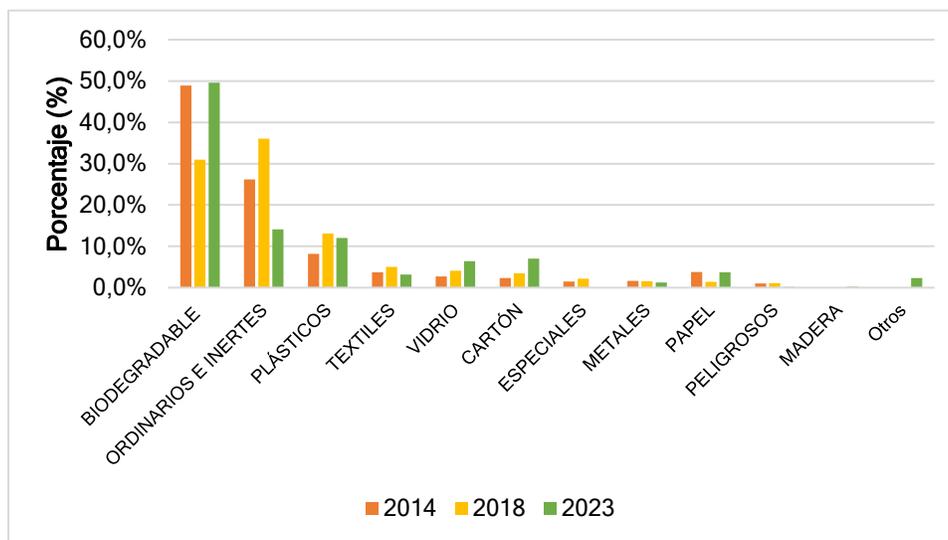
*** Para los resultados 2023, se hace equivalencia con residuos de cartón y canastas de huevo

**** Para los resultados 2023, se hace equivalencia con los residuos especiales generados (RCD y residuos voluminosos)

***** Para los resultados 2023, se evaluaron otros residuos como caucho y residuos posconsumo que no fueron equiparables con las corrientes estudiadas en años anteriores

Fuente: 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

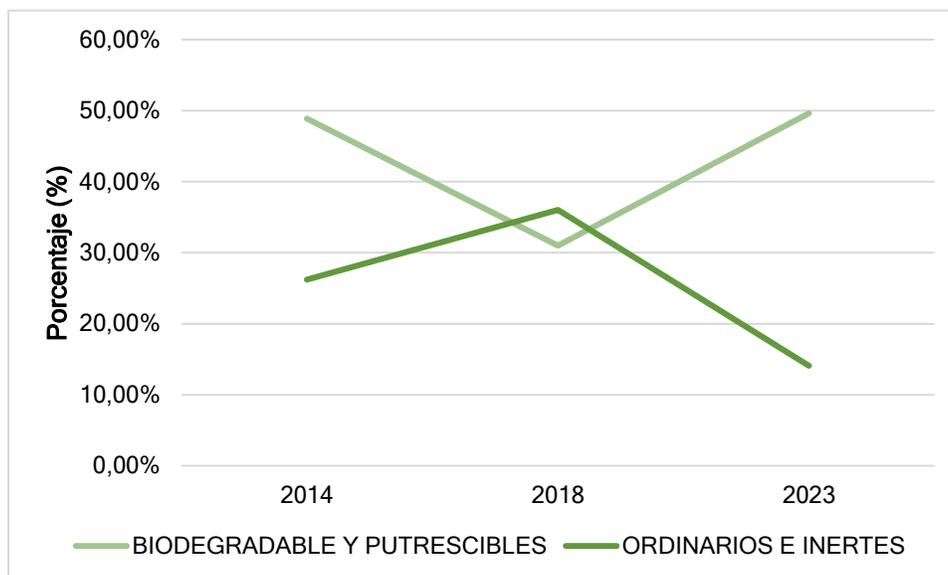
Gráfica 73. Comparativo de los datos históricos de la composición física porcentual de residuos sólidos generados en la zona rural de Medellín



Fuente: 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, 2018.

De acuerdo con estos datos, se evidencia una relación inversamente proporcional entre los residuos orgánicos y los no aprovechables, de forma que a mayor porcentaje de residuos orgánicos, menor cantidad de residuos no aprovechables, lo que refleja que la mala separación de los residuos orgánicos realizada por el sector residencial genera una mixtura de residuos que si bien pueden considerarse inservibles, podrían haber tenido una separación en la fuente que permitiera su aprovechamiento y/o tratamiento.

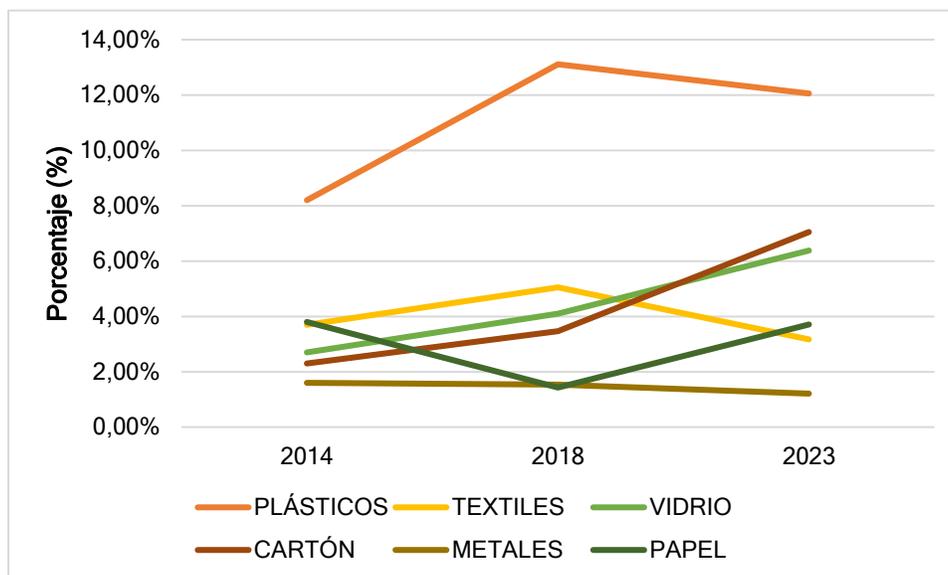
Gráfica 74. Comparativo histórico de la composición porcentual de las fracciones de residuos orgánicos y no aprovechables en el sector rural de Medellín



Fuente: 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, 2018

Desde los estudios anteriores, la composición física porcentual encontrada en los centros poblados de los corregimientos muestran una proporción de residuos orgánicos inferior a la encontrada en zona urbana, situación generada por su aprovechamiento interno principalmente en alimentación de animales, lo cual conlleva a un aumento proporcional de las demás corrientes de residuos caracterizados, encontrándose un aumento en las fracciones presentes en los residuos de otras categorías como plástico, textil, vidrio y cartón, evidenciándose que la fracción de residuos reciclables llega al 29% en 2018 y a 34% en 2023, lo que significa que hay una buena oportunidad de potenciar la cultura del reciclaje en los cinco corregimientos.

Gráfica 75. Comparativo histórico de la composición porcentual de las fracciones de residuos reciclables en el sector rural de Medellín



Fuente: 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, 2018

11.3 Resultados totales de la composición física porcentual de los residuos sólidos del sector residencial del área urbana, rural y dispersa del Distrito de Medellín

De acuerdo con la Base de datos “desagregación predios por comuna y estrato rec_sui_2022” suministrada por la Subsecretaría de Servicios Públicos de Medellín, el Distrito cuenta con un total de 644.620 suscriptores del servicio de aseo, de los cuales 575.601 corresponden a usuarios de la zona urbana y 69.019 a los corregimientos. Por lo tanto, con el fin de conocer la composición física porcentual de los residuos residenciales completa de Medellín se deben involucrar ambos sectores de manera proporcional a la cantidad de usuarios generadores, como se presenta en la siguiente tabla donde se presenta el promedio ponderado de la composición porcentual de los residuos para Medellín.

Lo anterior, teniendo en cuenta que para los cálculos no se tiene en cuenta los resultados de la zona dispersa dado que no se cuenta con cifras de suscriptores del servicio público de aseo, con las cuales se puedan realizar cálculos ponderados.



Tabla 44. Composición física porcentual promedio de los residuos sólidos generados en el sector residencial del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín

Componente	Urbano	Rural cabecera	Rural disperso	Total Medellín (ponderado por usuario)
Residuos reciclables	28,28%	34,32%	42,52%	28,93%
Papel	2,49%	3,71%	3,37%	2,62%
Archivo	1,21%	2,90%	1,08%	1,39%
Kraft	0,53%	0,39%	0,66%	0,51%
Periódico	0,48%	0,38%	0,30%	0,47%
Revista	0,28%	0,04%	1,33%	0,25%
Cartón	4,02%	5,31%	4,52%	4,16%
Corrugado	2,03%	2,27%	2,00%	2,06%
Plegadizo	1,69%	2,60%	1,86%	1,78%
Tubos de cartón	0,30%	0,44%	0,66%	0,31%
Canastas de huevos	0,99%	1,74%	1,03%	1,07%
Canastas de huevos	0,99%	1,74%	1,03%	1,07%
Plástico	10,86%	12,06%	17,21%	10,99%
PET (1) Transparente	2,56%	2,70%	4,71%	2,57%
PET (1) Verde	0,07%	0,12%	0,02%	0,08%
PET (1) Ámbar	0,15%	0,20%	0,20%	0,16%
PET (1) Aceite	0,26%	0,35%	0,23%	0,27%
PEAD (2) Flexible	1,11%	1,65%	2,20%	1,17%
PEAD (2) Rígido	1,63%	1,80%	1,39%	1,65%
PVC (3)	0,10%	0,05%	0,03%	0,10%
PEBD (4) Flexible	1,46%	1,80%	3,04%	1,50%

Componente	Urbano	Rural cabecera	Rural disperso	Total Medellín (ponderado por usuario)
PEBD (4) Rígido	0,02%	0,00%	0,28%	0,02%
PP (5) Flexible	0,63%	0,77%	0,64%	0,64%
PP (5) Rígido	0,93%	0,99%	1,28%	0,94%
PS (6)	0,87%	0,59%	1,64%	0,84%
PS (6) Expandido (Icopor)	0,04%	0,01%	0,03%	0,04%
Otros (7)	0,39%	0,34%	0,43%	0,38%
Plásticos aluminizados	0,62%	0,70%	1,08%	0,62%
ABS	0,01%	0,00%	0,00%	0,01%
Polycarbonato	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Vidrio	5,58%	6,38%	6,56%	5,67%
Blanco	4,81%	4,92%	5,15%	4,82%
Verde	0,16%	0,15%	0,23%	0,16%
Café - Ámbar	0,61%	1,31%	1,18%	0,68%
Plano	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Metales	1,31%	1,21%	1,11%	1,30%
Chatarra	0,77%	0,88%	0,69%	0,78%
Aluminio	0,04%	0,00%	0,15%	0,04%
Hierro gris	0,04%	0,00%	0,00%	0,04%
Latón	0,00%	0,02%	0,00%	0,00%
Cobre (Amarillo)	0,15%	0,00%	0,00%	0,13%
Cobre (Rojo)	0,02%	0,00%	0,00%	0,01%
Karla	0,29%	0,31%	0,28%	0,29%
Cuero	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%

Componente	Urbano	Rural cabecera	Rural disperso	Total Medellín (ponderado por usuario)
Cuero	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Caucho	0,07%	0,30%	0,35%	0,09%
Caucho	0,07%	0,30%	0,35%	0,09%
Tetrapack	0,69%	0,46%	1,36%	0,67%
Tetra pack	0,69%	0,46%	1,36%	0,67%
Textiles	2,27%	3,17%	7,01%	2,36%
Estopas, fibras y excedentes textiles no contaminados	2,27%	3,17%	7,01%	2,36%
Residuos orgánicos aprovechables	57,42%	49,91%	29,93%	56,62%
Materia orgánica	56,82%	49,63%	27,08%	56,05%
Restos de Alimentos, Frutas y Verduras	53,74%	48,79%	26,39%	53,21%
Follaje y residuos de zonas verdes	3,08%	0,83%	0,69%	2,84%
Madera	0,60%	0,28%	2,85%	0,57%
Madera no inmunizada	0,28%	0,04%	2,41%	0,25%
Residuos de carpintería	0,32%	0,24%	0,44%	0,31%
Residuos no aprovechables	13,06%	14,08%	26,26%	13,17%
Residuos sanitarios	9,87%	10,81%	20,44%	9,97%
Papel No reciclable	0,49%	0,35%	0,20%	0,47%
Cartón no aprovechable	0,12%	0,00%	0,00%	0,11%
Calzado	0,83%	0,79%	1,31%	0,83%
Restos de barrido	1,72%	2,04%	4,30%	1,75%
PET exótico	0,04%	0,09%	0,01%	0,04%

Componente	Urbano	Rural cabecera	Rural disperso	Total Medellín (ponderado por usuario)
Otros residuos	1,24%	1,69%	1,29%	1,29%
Residuos especiales	0,29%	0,00%	0,00%	0,26%
RCD	0,22%	0,00%	0,00%	0,20%
Muebles y enseres	0,07%	0,00%	0,00%	0,06%
Peligrosos	0,14%	0,14%	0,30%	0,14%
Madera inmunizada	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Biosanitarios	0,05%	0,08%	0,21%	0,05%
Cortopunzantes (lancetas y cuchillas contaminadas con sangre y fluidos corporales)	0,02%	0,03%	0,00%	0,02%
Cartuchos, tonners y cintas de impresión	0,01%	0,00%	0,00%	0,01%
Otros envases y contenedores de desecho que contienen residuos de sustancias peligrosas	0,06%	0,02%	0,00%	0,06%
Fibra de vidrio	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Residuos posconsumo	0,81%	1,56%	0,99%	0,89%
Llantas usadas	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE)	0,69%	1,16%	0,95%	0,74%
Fármacos o medicamentos vencidos	0,03%	0,24%	0,00%	0,05%
Pilas y/o acumuladores	0,07%	0,12%	0,00%	0,08%
Baterías usadas plomo ácido	0,00%	0,00%	0,00%	0,00%
Bombillas	0,01%	0,03%	0,01%	0,01%

Componente	Urbano	Rural cabecera	Rural disperso	Total Medellín (ponderado por usuario)
Plaguicidas y envases	0,01%	0,00%	0,03%	0,01%
Total	100%	100%	100%	100%

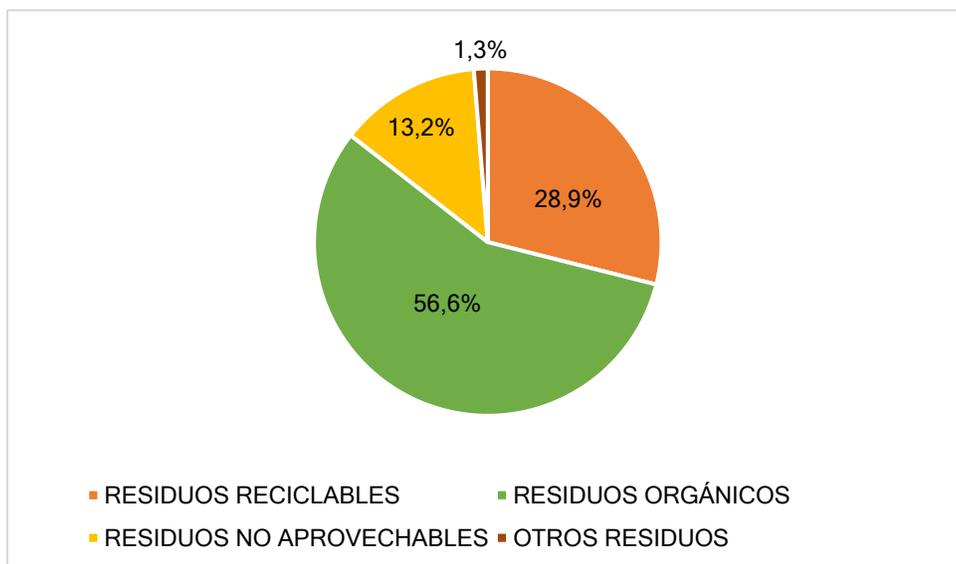
Fuente: Elaboración propia

En la

Gráfica 76 se evidencia la composición porcentual de los residuos sólidos promedio para todo Medellín, la cual se asemeja bastante a la urbana hallada para las comunas de Medellín y esto se debe a que el 89% de los suscriptores residenciales de Medellín se ubican en las 16 comunas con que cuenta la ciudad, entonces al estimarse un promedio ponderado, esa alta proporción influencia el resultado total hallado y es por esto que siguen prevaleciendo los residuos orgánicos con el 56,6%, seguidos por el 28,9% de residuos reciclables, el 13,2% de residuos no aprovechables y el 1,3 % de otros residuos.



Gráfica 76. Composición física porcentual promedio de los residuos sólidos generados en el sector residencial del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín



Fuente: Elaboración propia

Si se tiene en cuenta que entre residuos orgánicos y reciclables se llega a un total de del 85% de los residuos generados, se detectan numerosas oportunidades de aprovechamiento y/o tratamiento de residuos en el Distrito, puesto que los residuos de mayor generación son potencialmente aprovechables tales como los residuos orgánicos y reciclables.

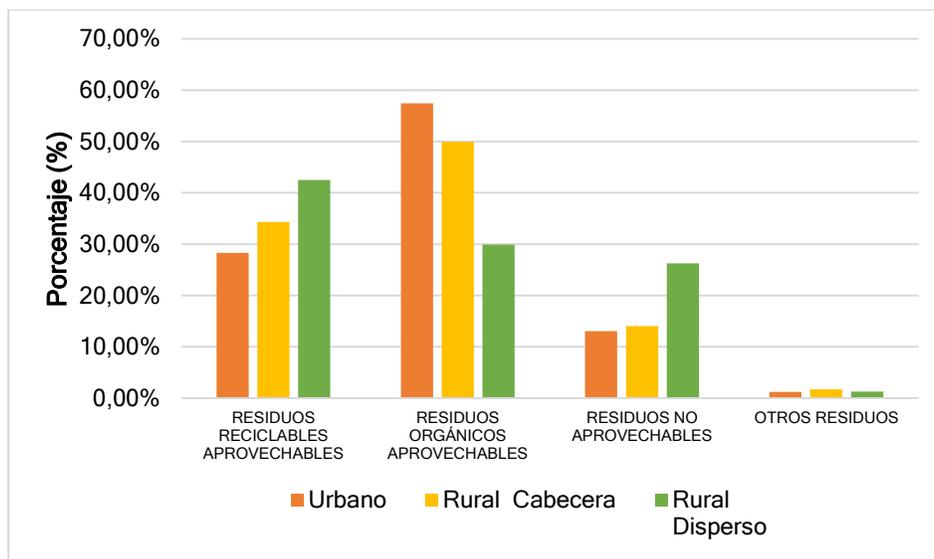
Tabla 45. Consolidado de la composición física porcentual promedio de los residuos sólidos generados en el sector residencial del Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín

Categoría	Urbano	Rural Cabecera	Rural Disperso	Total Medellín
Residuos reciclables aprovechables	28,28%	34,32%	42,52%	28,93%
Residuos orgánicos aprovechables	57,42%	49,91%	29,93%	56,62%
Residuos no aprovechables	13,06%	14,08%	26,26%	13,17%
Otros residuos	1,24%	1,69%	1,29%	1,29%
Total	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia

En la Gráfica 77 se presenta el comparativo de la composición física porcentual de los residuos en el sector residencial de las zonas urbana, cabecera de corregimientos y rural dispersa.

Gráfica 77. Comparativo en la generación de residuos en zona urbana, centros poblados y zona dispersa de Medellín



Fuente: Elaboración propia

12 RESULTADOS DE LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD LIBRE DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS EN EL SECTOR RESIDENCIAL DE MEDELLÍN Y SUS CINCO CORREGIMIENTOS

La densidad es el peso de un material por unidad de volumen. La determinación de la densidad de los residuos es un parámetro de importancia ya que el espacio que ocupan es uno de los parámetros fundamentales en su gestión y por tanto es necesario para la planificación y diseño de la infraestructura para su manejo.

En este caso la densidad hallada corresponde a la densidad libre la cual se asocia con la densidad en el origen donde no ha tenido ningún grado de compactación ya que corresponde a la etapa de generación donde han sido almacenados en pequeñas cantidades en bolsas o canecas.

Este valor depende del tipo de material; por tanto, las diferencias en la composición de los residuos también generan variaciones en la densidad libre. Encontrar niveles más altos de residuos orgánicos, significa mayor humedad, más densidad y menor poder calorífico, por lo que hay menor necesidad de compactación durante la recolección y se dificulta su incineración. Por el contrario, el contenido de papel, plásticos y otros materiales poco densos, reducen la densidad y aumentan el poder calorífico, en cuyo caso la densidad reducida aumenta la necesidad de compactación durante la recolección para lograr cargas más altas y con mayor rendimiento económico, además

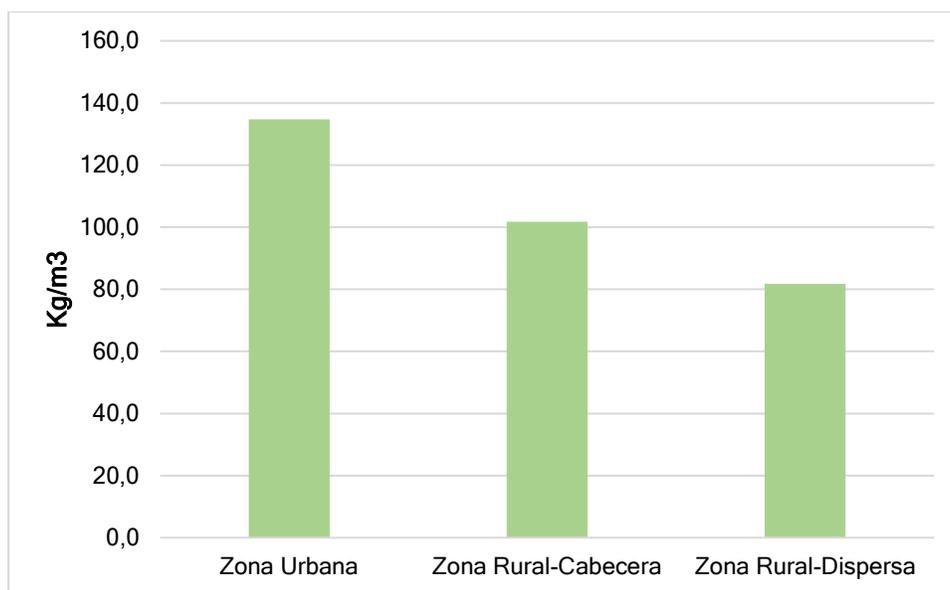
mientras aumenta el contenido de estos materiales, aumentan también los valores caloríficos que hacen que la producción de energía a partir de los residuos, así como el reciclaje, sean más atractivos.

Para el caso de Medellín se encontró que la densidad promedio de los residuos sólidos urbanos es de 137 Kg/m^3 , la cual es mayor que la de los residuos generados en las cabeceras de los corregimientos (104 kg/m^3) y también superior a la densidad de los residuos generados en la zona dispersa de los corregimientos (87 kg/m^3). Esto se corresponde con la composición porcentual encontrada, ya que para el sector urbano la presencia de residuos orgánicos fue del 57%, para la cabecera del sector rural la presencia de residuos orgánicos fue del 50% y en la zona dispersa se encontró una representatividad del 30% para este tipo de residuos, lo cual repercute en dichos resultados ya que los residuos orgánicos son unos de los que mayor densidad tienen; evidenciándose una relación directamente proporcional entre la cantidad de residuos orgánicos encontrados en los residuos y su densidad.

Reforzando el argumento anterior, se encontró que en la zona urbana la fracción de residuos reciclables es menor que en las cabeceras y que en la zona dispersa, lo que evidencia la relación inversamente proporcional con los datos de densidad encontrados respecto de la proporción de materiales reciclables.

En la Gráfica 78 se presenta el comparativo de los resultados de las densidades libres encontradas para la zona urbana, centros poblados y zona dispersa de Medellín.

Gráfica 78. Resultados de la densidad libre de los residuos sólidos del sector residencial en zona urbana, centros poblados y zona dispersa de Medellín

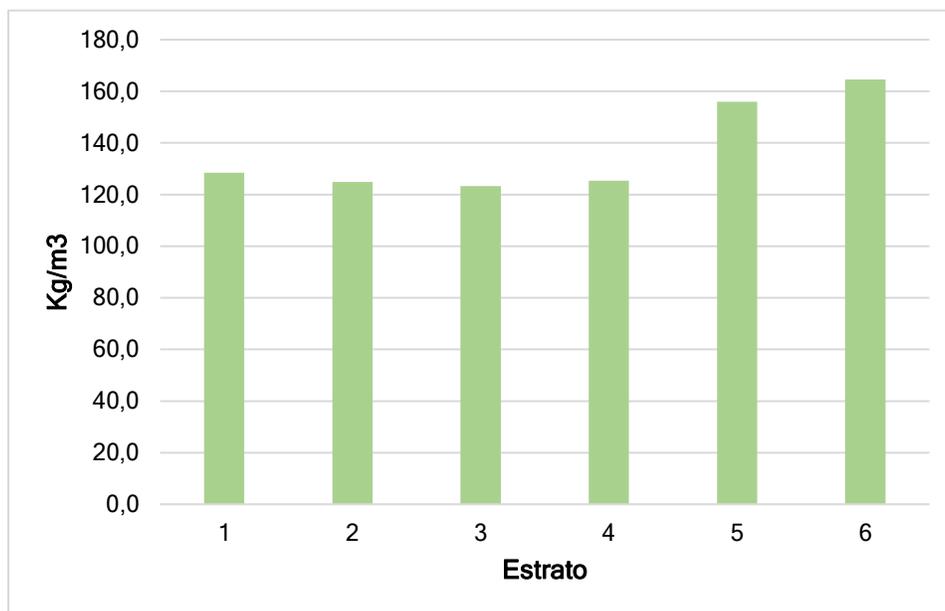


Fuente: Elaboración propia

Para el caso de Medellín los resultados obtenidos presentan un valor promedio en la zona urbana de 137 Kg/m^3 , con valores que van desde 123 Kg/m^3 en el estrato 3 a 165 Kg/m^3 en el estrato 6.

Los valores más altos de densidad se presentaron en los estratos socioeconómicos 5 y 6, con valores de 156 Kg/m^3 y 165 Kg/m^3 respectivamente, mientras que los valores más bajos fueron para los estratos 3 y 2 con 123 Kg/m^3 y 125 Kg/m^3 respectivamente.

Gráfica 79. Resultados de la densidad libre de los residuos sólidos del sector residencial en zona urbana de Medellín por estrato

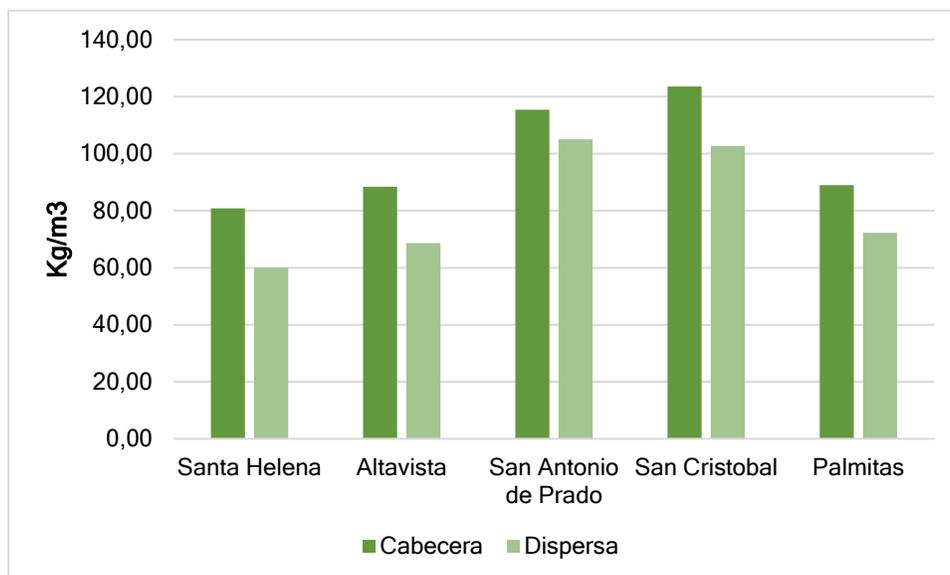


Fuente: Elaboración propia

En los corregimientos se encuentran valores promedio que oscilan entre 102 Kg/m³ y 82 Kg/m³ en cabecera y zona dispersa respectivamente, donde se evidencia una menor densidad en el corregimiento de Santa Elena y valores más altos en los corregimientos de San Cristóbal y San Antonio, coincidiendo estos dos últimos con ser los corregimientos con mayor fracción de residuos orgánicos y una dinámica similar a la urbana.

En general, para todos los corregimientos se presentan densidades mayores en cabecera frente a los resultados encontrados en zona dispersa, lo que se corresponde con su composición porcentual dado que los centros poblados se encuentran mayores cantidades de residuos orgánicos.

Gráfica 80. Resultados de la densidad libre de los residuos sólidos del sector residencial en corregimientos de Medellín



Fuente: Elaboración propia

Si bien, para los valores de densidad suelta en hogares la literatura define rangos a partir de 130 Kg/m³, se considera que los valores hallados para Medellín corresponden a un valor bajo en comparación con los estudios anteriores de ciudad, lo cual pudo deberse a un ligero aumento en la cantidad de residuos reciclables según datos de composición porcentual. Además, es importante tener en cuenta que durante el estudio se presentaron condiciones climáticas secas evitando la ganancia de peso por humedad.

Este resultado, evidencia que los residuos generados en el sector residencial no presentaron ninguna compactación de los residuos durante el estudio de caracterización, por tanto, estos datos únicamente pueden ser empleados para planificar las etapas de manejo de residuos previas a su recolección y transporte.

13 RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA

13.1 Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Los parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y fitotóxicos permiten conocer propiedades de los residuos orgánicos para su uso potencial 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 residuos sólidos orgánicos si no están separados en la fuente, con la finalidad de minimizar los riesgos de contaminación por metales pesados y microorganismos patógenos. Por lo anterior, para el aprovechamiento de la fracción orgánica, se recomienda su separación en la fuente y la implementación de procesos de estabilización de la materia orgánica. A continuación, se presentan los análisis fisicoquímicos y microbiológicos recomendados para su análisis en laboratorio:

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 y Poder Calorífico Superior.

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

Análisis fitotóxicos: Pruebas de germinación y actividad respirométrica.

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

De acuerdo con el Título F del RAS, 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 reconocer los procesos de tratamiento y aprovechamiento adecuados para los residuos según su naturaleza. Por ejemplo, los residuos orgánicos separados en la fuente pueden ser gestionados mediante compostaje o digestión anaerobia, mientras que los residuos aprovechables reciclables pueden reincorporarse a los ciclos productivos empresariales.

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: El 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 CO₂. De ahí su importancia para evaluar las emisiones de CO₂ 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 Fósforo 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 fósforo 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 requerido 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 y 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: $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ \sim \text{NH}_4^+ \sim \text{Na}^+$.

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, $\text{C/N} = 30/1$. 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 óptima (PNUD, FAO, & Gobierno Chile, 2011).

Metales pesados: Son elementos que tienen un peso molecular relativamente alto. Usualmente tienen una densidad superior a 5,0 g/cm³, por ejemplo, plomo (Pb), plata (Ag), mercurio (Hg), cadmio (Cd), cobalto (Co), cobre (Cu), hierro (Fe), molibdeno (Mo), níquel (Ni) y zinc (Zn).

Análisis Microbiológicos: permite definir si el producto final es ambientalmente aceptable, agronómicamente seguro e inocuo. La población de patógenos debe desaparecer por la acción de la temperatura controlada. En general, se realiza un recuento total de meso aerobios, termófilos, mohos, levaduras, entero bacterias y salmonella, para cuantificar el grado de contaminación de una muestra con respecto a otra desde el punto de vista fitosanitario.

Pruebas fitosanitarias en campo (% de germinación): Consiste en sembrar en un semillero, algunas 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.



13.2 Valores de referencia para el análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras

De acuerdo con Título F del RAS, las características fisicoquímicas, microbiológicas y contenidos de metales pesados de los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas o acondicionadores de suelo, se deben comparar con normas como la NORMA TECNICA COLOMBIANA 5167 del 2011, normas ICONTEC o aquellas que las complemente o modifiquen. De acuerdo con esto, los resultados de laboratorio realizado a los residuos generados en la ciudad se comparan con la NTC5167 con el fin de identificar posibilidades y/o dificultades de su uso como abonos y enmiendas orgánicas.

En la Tabla 46 se presentan las convenciones usadas para referirse a la técnica empleada, parámetro analizado y unidad de medida utilizada para la realización de los ensayos de laboratorio de caracterización fisicoquímica de las muestras objeto de estudio.

Tabla 46. Convenciones usadas en los resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos

Parámetros	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
Unidades	g: gramos, meq: miliequivalentes, mS: milisimens, cm: centímetros, cm ³ : centímetro cúbico, ppm: partes por millón, P/V: Peso/Volumen y V/V: Volumen/Volumen.
Técnicas	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.
Otras	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 Official Analytical Chemists, FAO: food and agriculture organization.
Bs	Los cálculos se realizan en base seca.

Fuente: elaboración propia

Es importante recordar que la NTC5167 de 2011 no recomienda el tratamiento de residuos orgánicos que carezcan de separación en la fuente, para prevenir que los productos obtenidos mediante compostaje, digestión anaerobia, o cualquier otro método, resulten contaminados con patógenos o metales pesados, lo que impide su utilización como producto agrícola.



Tabla 47. Límites máximos permisibles para metales pesados según normatividad colombiana

Parámetro	Título F del RAS 2018 Tabla F5.6 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 ³) en base seca	< 0,6	Mínimo 0,6
P ₂ O ₅ total (%)	Reportar si es mayor al 1%	Reportar si es mayor al 1%
K ₂ O total (%)	Reportar si es mayor al 1%	Reportar si es mayor al 1%
Humedad (%)	≤20%	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%

Parámetro	Título F del RAS 2018 Tabla F5.6 Categoría A	NTC 5167
pH	4 < pH < 9	Mayor de 4 y menor de 9
Relación C/N	20:1 - 30:1	Reportar
CRA	>100,0%	Mínimo su propio peso

Fuente: NTC 5167 De 2011 y RAS Título F

Tabla 48. Parámetros fisicoquímicos para productos agrícolas obtenidos a partir de residuos sólidos urbanos separados en la fuente

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/cm3) en base seca	< 0,6	Mínimo 0,6

Parámetro	Tabla F5.6 Categoría A. Título F del RAS 2000 Categoría A	NTC 5167
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	Entre 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: NTC 5167 De 2011 y RAS Título F

Tabla 49. 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)
Huevos de helmintos	< 1 Huevo de helminto viable/4 g de muestra de producto final (en base seca)
Fitopatógenos	Ausentes

Fuente: NTC 5167 De 2011 y RAS Título F

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 50. 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: NTC 5167 De 2011 y RAS Título F

13.3 Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en la zona urbana

A continuación, se reportan los resultados y análisis de los diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos encontrados, según muestreo realizado en cada uno de los estratos socioeconómicos del sector residencial en zona urbana de Medellín. En total se tomaron 58 muestras del sector residencial, distribuidas entre los estratos socioeconómicos de la ciudad, los corregimientos y la ruralidad dispersa, cuyos resultados se presentan en los siguientes capítulos.

13.3.1 Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el estrato 1

A continuación, se reportan los resultados de los diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el *estrato 1*, cuyas muestras se tomaron en las comunas 1 y 2.

Tabla 51. Resultados de Parámetros Fisicoquímicos en Muestras del Estrato 1

Fecha muestra	Humedad	Cenizas	Pérdida por volatilización	CIC	CRA	Densidad real	pH	C.E	N-total	N-Org. total	N-NH3 (NH3)	Fósforo total (P2O5)
26/10/2023	65,5	27,3	72.7	21	270,6	0,16	6,38	0,324	0,191	0,106	0,0165	0,881
26/10/2023	67,2	24,2	75.8	21,9	236,4	0,23	5,68	0,375	0,18	0,117	0,0703	0,426
27/10/2023	66,0	15,4	84.6	17,6	133,3	0,4	5,47	0,359	0,907	0,102	0,0428	0,299

Fuente: Laboratorio GIEM UdeA, 2023

Tabla 52. Resultados de Parámetros Microbiológicos en Muestras del Estrato 1

Fecha muestra	Mesófilos	Termófilos	Mohos	Levaduras u.f.c / g	Entero bacterias	Nemátodos / 25 g	Salmonella / 25 g
26/10/2023	6,9E+06	2,0E+04	0,0E+00	6,5E+04	1,0E+01	Ausente	Ausente
26/10/2023	5,6E+06	2,0E+04	3,2E+03	5,1E+04	7,0E+02	Ausente	Ausente
27/10/2023	4,3E+06	1,2E+02	5,0E+02	2,0E+02	2,0E+01	Ausente	Ausente

Fuente: Laboratorio GIEM UdeA, 2023

En el Título F del RAS (Tabla F.5.6) se establece un valor máximo permitido para la humedad del 20%, razón por lo cual todas las muestras sobrepasan el límite establecido por el reglamento técnico RAS e incumplen dicho parámetro.

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) debe ser superior a 30 meq/100g, de acuerdo con lo definido por el Título F del RAS (Tabla F.5.6), por lo que se puede observar que todas las muestras tomadas incumplen dicho concepto, pues los resultados hallados son inferiores a dicho valor de referencia.

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, resulta coherente que haya una cantidad representativa de éstos en todas las muestras de residuos sólidos, especialmente si hay presencia de residuos orgánicos. En todas las muestras tomadas se encontraron mohos o levaduras, lo que puede deberse a los valores de humedad superiores al 20%.

Todos los demás parámetros fisicoquímicos y microbiológicos están dentro de los valores establecidos por el Título F del RAS y la NTC 5167.

13.3.2 Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el estrato 2

A continuación, se reportan los resultados de los diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el *estrato 2*, cuyas muestras se tomaron en las comunas 1, 2 y 15.

Tabla 53. Resultados de Parámetros Fisicoquímicos en Muestras del Estrato 2

Fecha muestra	Humedad	Cenizas	Pérdida por volatilización	CIC	CRA	Densidad real	pH	C.E	N-total	N-Org. total	N-NH3 (NH3)	Fósforo total (P2O5)
23/10/2023	67,1	93,2	6,8	28,1	274,1	0,16	5,19	0,101	2.309	1,349	0,0438	0,835
23/10/2023	62,3	22,0	78,0	28,3	225	0,18	5,52	0,216	0,947	0,157	0,0288	0,435
23/10/2023	57,4	12,5	87,5	25,7	248,2	0,13	5,11	0,072	1,135	0,065	0,0354	0,244
26/10/2023	64,8	18,3	81,7	40	226,8	0,19	6,83	0,097	0,334	0,102	0,0348	0,227
26/10/2023	72	25,6	74,4	27,7	143,7	0,36	6,17	0,256	0,105	0,047	0,0305	0,147
26/10/2023	73,3	33	67,0	0,87	185,8	0,34	6,6	0,426	0,179	0,118	0,0305	0,293

Fecha muestra	Humedad	Cenizas	Pérdida por volatilización	CIC	CRA	Densidad real	pH	C.E	N-total	N-Org. total	N-NH3 (NH3)	Fósforo total (P2O5)
27/10/2023	70	20,2	79.8	16	216,8	0,14	6,34	0,329	0,744	0,287	0,0218	0,292
27/10/2023	71,1	14,8	85.2	21,2	376,6	0,16	5,7	0,204	1,386	0,346	0,0556	2,619
27/10/2023	60,8	19	81.0	27,1	206,4	0,26	5,54	0,104	0,552	0,188	0,014	0,421
27/10/2023	70,9	13,5	86.5	16,8	222,7	0,19	5,08	0,211	1,955	0,355	0,0493	1,665

Fuente: Laboratorio GIEM UdeA, 2023

Tabla 54. Resultados de Parámetros Microbiológicos en Muestras del Estrato 2

Fecha muestra	Mesófilos	Termófilos	Mohos	Levaduras u.f.c / g	Entero bacterias	Nemátodos / 25 g	Salmonella / 25 g
23/10/2023	6,9E+06	4,1E+04	1,0E+02	8,7E+03	0,0E+00	Ausente	Ausente
23/10/2023	4,8E+07	9,2E+04	8,0E+02	1,0E+02	0,0E+00	Ausente	Ausente
23/10/2023	1,2E+06	1,6E+05	2,0E+02	1,0E+01	0,0E+00	Ausente	Ausente
26/10/2023	6,7E+08	3,2E+05	0,0E+00	1,0E+04	7,9E+02	Ausente	Ausente
26/10/2023	5,1E+07	5,0E+04	0,0E+00	1,3E+04	2,8E+02	Ausente	Ausente
26/10/2023	7,3E+06	3,0E+04	5,0E+02	7,0E+03	6,5E+02	Ausente	Ausente
27/10/2023	3,8E+06	1,1E+02	0,0E+00	5,4E+02	3,0E+01	Ausente	Ausente
27/10/2023	4,7E+06	1,4E+02	0,0E+00	6,8E+02	1,0E+02	Ausente	Ausente
27/10/2023	7,1E+06	1,3E+02	0,0E+00	4,8E+02	3,0E+02	Ausente	Ausente
27/10/2023	8,1E+07	1,1E+02	0,0E+00	3,7E+03	1,0E+01	Ausente	Ausente

Fuente: Laboratorio GIEM UdeA, 2023

En el Título F del RAS (Tabla F.5.6) se establece un valor máximo permitido para la humedad del 20%, razón por lo cual todas las muestras sobrepasan el límite establecido por el reglamento técnico RAS e incumplen dicho parámetro.



El porcentaje de cenizas debe ser inferior al 60% según lo definido por la Tabla F.5.6 del Título F del RAS. Según ese criterio, una de las muestras tomadas el 23 de octubre de 2023 sobrepasa ese porcentaje e incumple dicho parámetro.

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) debe ser superior a 30 meq/100g, de acuerdo con lo definido por el Título F del RAS (Tabla F.5.6), por lo que se puede observar que el 90% de las muestras tomadas incumplen dicho concepto, pues solamente uno de los diez resultados reportados está por encima del valor de referencia establecido por el reglamento técnico RAS.

En cuanto al contenido de nitrógeno total, el 40% de las diez muestras tomadas presentó valores superiores al 1%. Para el fósforo total el 20% de las diez muestras tomadas presentó valores superiores al 1%, lo que implica que se cuenta con un aporte de macronutrientes por parte de dichas muestras específicas. Esto es importante, pues los macronutrientes son fundamentales para los seres vivos y sus funciones vitales, tales como el crecimiento y el desarrollo del potencial genético, además de las consideraciones asociadas a las posibilidades de aprovechamiento de los residuos orgánicos como mejorador de suelos de uso no agrícola.

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, resulta coherente que haya una cantidad representativa de éstos en todas las muestras de residuos sólidos, especialmente si hay presencia de residuos orgánicos. En todas las muestras tomadas se encontraron mohos o levaduras, lo que puede deberse a los valores de humedad superiores al 20%.

Todos los demás parámetros fisicoquímicos y microbiológicos están dentro de los valores establecidos por el Título F del RAS y la NTC 5167.

13.3.3 Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el estrato 3

A continuación, se reportan los resultados de los diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el *estrato 3*, cuyas muestras se tomaron en las comunas 3, 10 y 15.



Tabla 55. Resultados de Parámetros Físicoquímicos en Muestras del Estrato 3

Fecha muestra	Humedad	Cenizas	Pérdida por volatilización	CIC	CRA	Densidad real	pH	C.E	N-total	N-Org. total	N-NH3 (NH3)	Fósforo total (P2O5)
20/10/2023	56,2	9,0	91,0	30,9	256,9	0,14	5,40	0,252	1.494	0,124	0,0444	0,281
20/10/2023	66,8	12,5	87,5	25,5	269,3	0,10	5,67	0,287	2.421	0,951	0,0215	0,120
20/10/2023	46,7	20,8	79,2	22,2	151,8	0,21	5,12	0,403	1.060	0,940	0,0281	0,328
23/10/2023	54,6	10,1	89,9	27,5	388,8	0,08	5,85	0,075	1.258	0,648	0,0349	0,372
23/10/2023	66,6	25,1	74,9	48,5	219,9	0,23	5,74	0,108	0,760	0,352	0,0111	0,398
23/10/2023	72,7	19,1	80,9	20,9	153	0,35	5,3	0,168	0,582	0,099	0,0258	1,318
27/10/2023	77,9	18,8	81,2	28,4	278,2	0,2	5,3	0,217	0,179	0,062	0,1245	0,756
26/10/2023	74,8	22,6	77,4	14,8	138,5	1,38	5,89	0,633	0,154	0,099	0,0677	2,103
27/10/2023	64,6	23,5	76,5	56,9	233	0,26	5,37	0,327	0,313	0,212	0,057	1,998
31/10/2023	60,2	14,5	85,5	60,0	349,7	0,16	6,80	0,13	0,876	0,818	0,0327	0,361
31/10/2023	57,3	24,0	76,0	23,6	231,9	0,22	7,22	0,201	0,978	0,807	0,0211	0,219
31/10/2023	47,1	28,8	71,2	31,9	261,7	0,14	6,58	0,429	3.638	0,838	0,0167	0,501
31/10/2023	45,9	21,8	78,2	19,7	331,5	0,14	6,68	0,106	0,228	0,121	0,0158	0,337

Fuente: Laboratorio GIEM UdeA, 2023

Tabla 56. Resultados de Parámetros Microbiológicos en Muestras del Estrato 3

Fecha muestra	Mesófilos	Termófilos	Mohos	Levaduras u.f.c / g	Entero bacterias	Nemátodos / 25 g	Salmonella / 25 g
20/10/2023	1,3E+06	1,0E+02	0,0E+00	2,9E+03	2,9E+02	Ausente	Ausente
20/10/2023	1,2E+06	0,0E+00	0,0E+00	6,7E+04	2,7E+02	Ausente	Ausente
20/10/2023	8,1E+08	0,0E+00	0,0E+00	2,4E+04	0,0E+00	Ausente	Ausente
23/10/2023	1,0E+07	2,5E+04	1,0E+01	0,0E+00	0,0E+00	Ausente	Ausente
23/10/2023	1,1E+06	1,3E+04	0,0E+00	5,0E+03	1,3E+02	Ausente	Ausente
23/10/2023	1,7E+07	1,4E+04	0,0E+00	5,3E+03	9,0E+01	Ausente	Ausente

Fecha muestra	Mesófilos	Termófilos	Mohos	Levaduras u.f.c / g	Entero bacterias	Nemátodos / 25 g	Salmonella / 25 g
27/10/2023	4,9E+06	1,0E+02	0,0E+00	4,5E+03	9,0E+02	Ausente	Ausente
26/10/2023	7,9E+05	3,0E+04	0,0E+00	2,0E+02	1,0E+01	Ausente	Ausente
27/10/2023	3,9E+06	1,2E+02	0,0E+00	8,0E+02	8,0E+02	Ausente	Ausente
31/10/2023	9,0E+06	1,0E+02	0,0E+00	4,5E+04	0,0E+00	Ausente	Ausente
31/10/2023	8,1E+07	2,2E+01	0,0E+00	2,1E+03	0,0E+00	Ausente	Ausente
31/10/2023	7,5E+06	1,0E+02	0,0E+00	3,0E+03	1,2E+02	Ausente	Ausente
31/10/2023	6,1E+06	1,5E+02	0,0E+00	4,1E+03	7,0E+02	Ausente	Ausente

Fuente: Laboratorio GIEM UdeA, 2023

En el Título F del RAS (Tabla F.5.6) se establece un valor máximo permitido para la humedad del 20%, razón por lo cual todas las muestras sobrepasan el límite establecido por el reglamento técnico RAS e incumplen dicho parámetro.

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) debe ser superior a 30 meq/100g, de acuerdo con lo definido por el Título F del RAS (Tabla F.5.6), por lo que se puede observar que el 61,54% de las muestras tomadas incumplen dicho concepto, pues solamente cinco de los trece resultados reportados está por encima del valor de referencia establecido por el reglamento técnico RAS.

El 92,31% de las muestras cumplen con valores de densidad menores a 0,6 g/cm³ base seca, lo que quiere decir que están acordes a los valores típicos de la bibliografía, incluido el Título F del RAS.

En cuanto al contenido de nitrógeno total, el 38,46% de las trece muestras tomadas presentó valores superiores al 1%. Para el fósforo total el 23,08% de las trece muestras tomadas presentó valores superiores al 1%, lo que implica que se cuenta con un aporte de macronutrientes por parte de dichas muestras específicas. Esto es importante, pues los macronutrientes son fundamentales para los seres vivos y sus funciones vitales, tales como el crecimiento y el desarrollo del potencial genético, además de las consideraciones asociadas a las posibilidades de aprovechamiento de los residuos orgánicos como mejorador de suelos de uso no agrícola.

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, resulta coherente que haya una cantidad representativa de éstos en todas las muestras de residuos sólidos, especialmente si hay presencia de residuos orgánicos. En todas las muestras tomadas se encontraron mohos o levaduras, lo que puede deberse a los valores de humedad superiores al 20%.

Todos los demás parámetros fisicoquímicos y microbiológicos están dentro de los valores establecidos por el Título F del RAS y la NTC 5167.

13.3.4 Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el estrato 4

A continuación, se reportan los resultados de los diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el *estrato 4*, cuyas muestras se tomaron en las comunas 6, 10 y 15.

Tabla 57. Resultados de Parámetros Fisicoquímicos en Muestras del Estrato 4

Fecha muestra	Humedad	Cenizas	Pérdida por volatilización	CIC	CRA	Densidad real	pH	C.E	N-total	N-Org. total	N-NH3 (NH3)	Fósforo total (P2O5)
20/10/2023	71,9	8,8	91,2	132,1	357,2	0,09	6,13	0,083	0,149	0,096	0,0205	0,433
20/10/2023	67,1	9,9	90,1	20,5	293,8	0,11	6,19	0,070	0,632	0,051	0,0191	0,329
23/10/2023	65,7	16,3	83,7	25,9	286	0,13	5,41	0,109	1,674	0,324	0,0317	1,759
23/10/2023	53,5	13,4	86,6	26,7	208,2	0,2	5,45	0,062	2,151	0,331	0,0307	0,205
27/10/2023	72,6	14,6	85,4	18,5	236,7	0,18	5,97	0,274	0,903	0,103	0,0307	1,12
26/10/2023	43	15,9	84,1	36,1	285,7	0,14	6,83	0,04	0,566	0,031	0,0274	0,657
31/10/2023	69,0	29,3	70,7	17,1	180,4	0,22	6,32	0,248	1,793	1,714	0,0231	2,956
31/10/2023	65,6	20,2	79,8	9,84	83,1	0,58	4,91	0,726	0,753	0,708	0,0307	0,327
02/11/2023	50,4	7,70	92,3	42,9	427,7	0,11	6,81	0,089	0,241	0,195	0,0165	0,332
02/11/2023	68,6	12,3	87,7	45,5	314,3	0,12	7,04	0,081	0,362	0,304	0,0208	0,224

Fuente: Laboratorio GIEM UdeA, 2023

Tabla 58. Resultados de Parámetros Microbiológicos en Muestras del Estrato 4

Fecha muestra	Mesófilos	Termófilos	Mohos	Levaduras u.f.c / g	Entero bacterias	Nemátodos / 25 g	Salmonella / 25 g
20/10/2023	0,0E+00	0,0E+00	6,9E+04	1,0E+01	Ausente	Ausente	0,0E+00
20/10/2023	0,0E+00	0,0E+00	5,6E+04	0,0E+00	Ausente	Ausente	0,0E+00
23/10/2023	1,3E+04	7,5E+03	0,0E+00	1,0E+01	Ausente	Ausente	1,3E+04
23/10/2023	1,2E+04	6,0E+03	0,0E+00	1,0E+01	Ausente	Ausente	1,2E+04
27/10/2023	1,0E+02	9,0E+02	0,0E+00	1,9E+02	Ausente	Ausente	1,0E+02
26/10/2023	1,3E+02	0,0E+00	6,0E+02	1,0E+01	Ausente	Ausente	1,3E+02
31/10/2023	1,8E+02	0,0E+00	6,7E+04	6,0E+02	Ausente	Ausente	1,8E+02
31/10/2023	2,0E+01	0,0E+00	3,2E+03	0,0E+00	Ausente	Ausente	2,0E+01
02/11/2023	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	Ausente	Ausente	0,0E+00
02/11/2023	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	Ausente	Ausente	0,0E+00

Fuente: Laboratorio GIEM UdeA, 2023

En el Título F del RAS (Tabla F.5.6) se establece un valor máximo permitido para la humedad del 20%, razón por lo cual todas las muestras sobrepasan el límite establecido por el reglamento técnico RAS e incumplen dicho parámetro.

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) debe ser superior a 30 meq/100g, de acuerdo con lo definido por el Título F del RAS (Tabla F.5.6), por lo que se puede observar que el 60% de las muestras tomadas incumplen dicho concepto, pues solamente cuatro de los diez resultados reportados está por encima del valor de referencia establecido por el reglamento técnico RAS. Además de lo anterior, el 90% de las muestras cumplen con los valores de Capacidad de Retención de Agua (mínimo su propio peso), lo que permite regular el balance hídrico y beneficia la retención de nutrientes en el suelo.

En cuanto al contenido de nitrógeno total, el 30% de las diez muestras tomadas presentó valores superiores al 1%. Para el fósforo total también se halló que el 30% de las diez muestras tomadas presentó valores superiores al 1%, lo que implica que se

cuenta con un aporte de macronutrientes por parte de dichas muestras específicas. Esto es importante, pues los macronutrientes son fundamentales para los seres vivos y sus funciones vitales, tales como el crecimiento y el desarrollo del potencial genético, además de las consideraciones asociadas a las posibilidades de aprovechamiento de los residuos orgánicos como mejorador de suelos de uso no agrícola.

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, resulta coherente que haya una cantidad representativa de éstos en el 80% de las muestras de residuos sólidos, especialmente si hay presencia de residuos orgánicos. De igual manera, en el 80% de las muestras tomadas se encontraron mohos o levaduras, lo que puede deberse a los valores de humedad superiores al 20%.

Todos los demás parámetros fisicoquímicos y microbiológicos están dentro de los valores establecidos por el Título F del RAS y la NTC 5167.

13.3.5 Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el estrato 5

A continuación, se reportan los resultados de los diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el *estrato 5*, cuyas muestras se tomaron en las comunas 11 y 16.

Tabla 59. Resultados de Parámetros Fisicoquímicos en Muestras del Estrato 5

Fecha muestra	Humedad	Cenizas	Pérdida por volatilización	CIC	CRA	Densidad real	pH	C.E	N-total	N-Org. total	N-NH3 (NH3)	Fósforo total (P2O5)
20/10/2023	65,9	20,3	79,7	29,9	207,5	0,15	5,47	0,165	1.005	0,948	0,0358	0,520
20/10/2023	59,6	14,9	85,1	30,5	256,7	0,10	5,48	0,150	0,887	0,794	0,0404	0,622
20/10/2023	64,7	10,5	89,5	22,1	237,5	0,17	5,83	0,113	0,137	0,107	0,0255	0,496

Fuente: Laboratorio GIEM UdeA, 2023



Tabla 60. Resultados de Parámetros Microbiológicos en Muestras del Estrato 5

Fecha muestra	Mesófilos	Termófilos	Mohos	Levaduras u.f.c / g	Entero bacterias	Nemátodos / 25 g	Salmonella / 25 g
20/10/2023	5,0E+05	1,0E+05	0,0E+00	3,7E+03	0,0E+00	Ausente	Ausente
20/10/2023	7,6E+09	1,2E+05	0,0E+00	6,4E+04	8,6E+02	Ausente	Ausente
20/10/2023	6,1E+07	1,0E+03	9,0E+02	7,3E+04	0,0E+00	Ausente	Ausente

Fuente: Laboratorio GIEM UdeA, 2023

En el Título F del RAS (Tabla F.5.6) se establece un valor máximo permitido para la humedad del 20%, razón por lo cual todas las muestras sobrepasan el límite establecido por el reglamento técnico RAS e incumplen dicho parámetro.

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) debe ser superior a 30 meq/100g, de acuerdo con lo definido por el Título F del RAS (Tabla F.5.6), por lo que se puede observar que el 66,67% de las muestras tomadas incumplen dicho concepto, pues solamente uno de los tres resultados reportados está por encima del valor de referencia establecido por el reglamento técnico RAS.

En cuanto al contenido de nitrógeno total solamente una de las tres muestras analizadas alcanzó un valor superior al 1%. Como se puede ver, el aporte de macronutrientes en la mayoría de las muestras es significativamente bajo, por lo que su uso como producto agrícola no es conveniente.

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, resulta coherente que haya una cantidad representativa de éstos en todas las muestras de residuos sólidos, especialmente si hay presencia de residuos orgánicos. En todas las muestras tomadas se encontraron mohos o levaduras, lo que puede deberse a los valores de humedad superiores al 20%.

Todos los demás parámetros fisicoquímicos y microbiológicos están dentro de los valores establecidos por el Título F del RAS y la NTC 5167.

13.3.6 Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el estrato 6

A continuación, se reportan los resultados de los diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el *estrato 6*, cuya muestra se tomó en la comuna 14.

Tabla 61. Resultados de Parámetros Fisicoquímicos en Muestras del Estrato 6

Fecha muestra	Humedad	Cenizas	Pérdida por volatilización	CIC	CRA	Densidad real	pH	C.E	N-total	N-Org. total	N-NH3 (NH3)	Fósforo total (P2O5)
03/11/2023	67,8	9,6	90,4	28,6	184	0,24	5,29	0,106	1.105	0,973	0,0288	0,237

Fuente: Laboratorio GIEM UdeA, 2023

Tabla 62. Resultados de Parámetros Microbiológicos en Muestras del Estrato 6

Fecha muestra	Mesófilos	Termófilos	Mohos	Levaduras u.f.c / g	Enterobacterias	Nemátodos / 25 g	Salmonella / 25 g
7,0E+06	1,5E+06	0,0E+00	1,7E+03	0,0E+00	Ausente	Ausente	7,0E+06

Fuente: Laboratorio GIEM UdeA, 2023

En el Título F del RAS (Tabla F.5.6) se establece un valor máximo permitido para la humedad del 20%, razón por lo cual la muestra tomada sobrepasa el límite establecido por el reglamento técnico RAS e incumplen dicho parámetro.

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) debe ser superior a 30 meq/100g, de acuerdo con lo definido por el Título F del RAS (Tabla F.5.6), por lo que se puede observar que la muestra tomada incumple dicho concepto.

En cuanto al contenido de nitrógeno total, la muestra tomada presentó un valor superior al 1%, lo que implica que se cuenta con un aporte de macronutrientes por parte de dicha muestra específica. Esto es importante, pues los macronutrientes son fundamentales para los seres vivos y sus funciones vitales, tales como el crecimiento y el desarrollo del potencial genético, además de las consideraciones asociadas a las posibilidades de aprovechamiento de los residuos orgánicos como mejorador de suelos de uso no agrícola.



Todos los demás parámetros fisicoquímicos y microbiológicos están dentro de los valores establecidos por el Título F del RAS y la NTC 5167.

13.4 Resultados de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en los corregimientos

A continuación, se reportan los resultados de los diferentes parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para los corregimientos, cuyas muestras se tomaron en San Sebastián de Palmitas, San Cristóbal, Altavista, San Antonio de Prado y Santa Elena.

Tabla 63. Resultados de Parámetros Fisicoquímicos de Muestras Tomadas en los Corregimientos

Fecha muestra	Humedad	Cenizas	Pérdida por volatilización	CIC	CRA	Densidad real	pH	C.E	N-total	N-Org. total	N-NH3 (NH3)	Fósforo total (P2O5)
08/11/2023	43,7	22,2	77,8	13,2	373,1	0,12	6,07	0,105	0,836	0,836	0,0605	2,195
08/11/2023	63,6	10,5	89,5	34,6	408,9	0,11	6,29	0,069	0,690	0,552	0,0435	0,355
08/11/2023	60,8	33,6	66,4	17,9	241	0,18	5,94	0,246	0,265	0,265	0,0300	0,129
08/11/2023	63,0	9,8	90,2	27,1	404,4	0,12	5,76	0,125	0,800	0,430	0,0160	0,528
10/11/2023	49,6	28,0	72,0	28,7	269,9	0,15	5,93	0,114	1,536	1,374	0,0366	0,234
10/11/2023	67,4	19,4	80,6	27,5	217,2	0,15	6,22	0,184	0,204	0,062	0,0220	0,897
10/11/2023	63,8	15,8	84,2	19,5	154,9	0,22	5,51	0,167	0,291	0,181	0,0267	0,142
10/11/2023	62,3	16,9	83,1	17,6	147,9	0,25	5,81	0,289	0,713	0,566	0,1200	0,433
16/11/2023	40,5	13,7	86,3	8,27	517,9	0,083	7,23	0,196	0,192	0,105	N,D	0,543
16/11/2023	77,2	10,6	89,4	15,2	337,1	0,11	5,41	0,035	0,232	0,128	0,0185	0,382
16/11/2023	71,4	14,6	85,4	16,1	248	0,18	5,58	0,162	0,232	0,128	0,0246	1,675
16/11/2023	59,4	18,3	81,7	7,69	389,1	0,11	6,23	0,072	0,211	0,113	0,0264	3,817
16/11/2023	67,1	7,9	92,1	5,92	477,6	0,088	6,28	0,054	0,392	0,056	0,0151	0,238
16/11/2023	68,7	13,5	86,5	11,7	324	0,15	5,91	0,091	0,145	0,031	0,0170	1,226
16/11/2023	69,8	14,5	85,5	21,6	273,3	0,17	6,17	0,226	0,100	0,040	0,0208	0,455
16/11/2023	68,8	20,2	79,8	26,2	290,0	0,13	5,77	0,066	0,127	0,039	0,0208	0,257

Fecha muestra	Humedad	Cenizas	Pérdida por volatilización	CIC	CRA	Densidad real	pH	C.E	N-total	N-Org. total	N-NH3 (NH3)	Fósforo total (P2O5)
16/11/2023	68,9	15,4	84,6	24,5	375,9	0,11	6,63	0,083	0,112	0,080	0,0134	1,660
16/11/2023	70,9	24,4	75,6	32,4	234	0,19	6,80	0,138	0,329	0,151	0,0148	3,165

Fuente: Laboratorio GIEM UdeA, 2023

Tabla 64. Resultados de Parámetros Microbiológicos de Muestras Tomadas en los Corregimientos

Fecha muestra	Mesófilos	Termófilos	Mohos	Levaduras u.f.c / g	Entero bacterias	Nemátodos / 25 g	Salmonella / 25 g
08/11/2023	7,4E+08	1,0E+06	0,0E+00	9,0E+03	3,0E+02	Ausente	Ausente
08/11/2023	6,3E+07	1,0E+02	0,0E+00	9,5E+03	1,2E+02	Ausente	Ausente
08/11/2023	8,1E+07	5,3E+06	0,0E+00	1,2E+03	1,3E+02	Ausente	Ausente
08/11/2023	2,7E+06	3,0E+04	0,0E+00	1,0E+02	1,0E+02	Ausente	Ausente
10/11/2023	4,8E+07	1,0E+04	0,0E+00	4,4E+03	2,1E+01	Ausente	Ausente
10/11/2023	5,3E+07	1,0E+02	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	Ausente	Ausente
10/11/2023	2,3E+05	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	Ausente	Ausente
10/11/2023	6,0E+08	1,3E+05	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	Ausente	Ausente
16/11/2023	8,2E+08	1,0E+03	0,0E+00	4,0E+03	3,0E+02	Ausente	Ausente
16/11/2023	5,4E+08	2,0E+03	0,0E+00	5,0E+03	2,0E+02	Ausente	Ausente
16/11/2023	5,6E+07	2,2E+03	0,0E+00	8,1E+03	0,0E+00	Ausente	Ausente
16/11/2023	5,9E+07	5,9E+07	0,0E+00	0,0E+00	2,0E+01	Ausente	Ausente
16/11/2023	8,0E+07	1,0E+03	0,0E+00	7,0E+03	0,0E+00	Ausente	Ausente
16/11/2023	7,0E+07	1,0E+02	0,0E+00	5,0E+03	1,0E+01	Ausente	Ausente
16/11/2023	8,4E+07	1,0E+03	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	Ausente	Ausente
16/11/2023	1,9E+09	2,0E+03	0,0E+00	5,3E+04	1,0E+01	Ausente	Ausente



Fecha muestra	Mesófilos	Termófilos	Mohos	Levaduras u.f.c / g	Entero bacterias	Nemátodos / 25 g	Salmonella / 25 g
16/11/2023	7,3E+08	4,0E+02	0,0E+00	4,0E+04	1,8E+02	Ausente	Ausente
16/11/2023	6,9E+08	3,0E+03	0,0E+00	3,4E+03	1,0E+02	Ausente	Ausente

Fuente: Laboratorio GIEM UdeA, 2023

En el Título F del RAS (Tabla F.5.6) se establece un valor máximo permitido para la humedad del 20%, razón por lo cual todas las muestras sobrepasan el límite establecido por el reglamento técnico RAS e incumplen dicho parámetro.

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) debe ser superior a 30 meq/100g, de acuerdo con lo definido por el Título F del RAS (Tabla F.5.6), por lo que se puede observar que el 89% de las muestras tomadas incumplen dicho concepto, pues solamente dos de los dieciocho resultados reportados está por encima del valor de referencia establecido por el reglamento técnico RAS.

En cuanto al contenido de nitrógeno total solamente una de las dieciocho muestras analizadas obtuvo un valor superior al 1%. Respecto del contenido de fósforo total, solamente el 28% las dieciocho muestras analizadas alcanzaron un valor superior al 1%. Como se puede ver, el aporte de macronutrientes en la mayoría de las muestras es significativamente bajo, por lo que su uso como producto agrícola no es conveniente.

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, resulta coherente que haya una cantidad representativa de éstos en todas las muestras de residuos sólidos, especialmente si hay presencia de residuos orgánicos. En el 72% de las muestras tomadas se encontraron levaduras, lo que puede deberse a los valores de humedad superiores al 20%.

Todos los demás parámetros fisicoquímicos y microbiológicos están dentro de los valores establecidos por el Título F del RAS y la NTC 5167.



13.5 Análisis general de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del sector residencial

El 98% de las muestras analizadas cumplen con los parámetros de referencia para el contenido de ceniza, con porcentajes inferiores al 60%, lo que resulta favorable, toda vez que las cenizas constituyen un material no volátil asociado a materia orgánica e inorgánica no combustible (Chávez, 2016), que no representa aportes significativos para procesos de valorización energética.

El 98% de las muestras cumplen con valores de densidad menores a $0,6 \text{ g/cm}^3$ base seca, lo que quiere decir que están acordes a los valores típicos de la bibliografía, incluido el Título F del RAS. Adicionalmente, el 98% de las muestras cumplen con los valores de Capacidad de Retención de Agua (mínimo su propio peso), lo que permite regular el balance hídrico y beneficia la retención de nutrientes en el suelo.

Todas las muestras del sector residencial presentaron valores de pH entre 4 y 9, lo cual es importante si se considera como una variable importante agrónomicamente dado que en buena medida la absorción de nutrientes está altamente influenciada por el pH (Título F RAS, 2018).

Respecto de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), el 86,36% de las muestras del sector residencial presenta valores inferiores a 30 meq/100g , por lo cual incumplen lo establecido en la tabla F.5.6 del Título F del RAS. Es importante señalar que 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^+ 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, 1995).

Con respecto a los resultados de los parámetros microbiológicos, no se encontró presencia de nemátodos, ni tampoco de Salmonella en las muestras analizadas. También se encontró que todos los resultados reportados para Entero bacterias estaban por debajo de 1.000 ufc/g muestra. Esta situación resulta favorable si se considera que La Salmonella, en el ámbito mundial, está asociada frecuentemente a 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, Durango, & Mattar, 2002).

Solamente el 26% de las muestras del sector residencial cumple con los requisitos mínimos para contenido de nitrógeno total y apenas el 22% de dichas muestras tiene el contenido de fósforo total. Por esta razón, el aporte de macronutrientes en la mayoría de las muestras es significativamente bajo, por lo que su uso como producto agrícola no es conveniente. Lo anterior, pues los macronutrientes son fundamentales para los seres vivos y sus funciones vitales, tales como el crecimiento y el desarrollo del potencial genético.

Otro argumento por el cual no se recomienda el uso de las muestras como materia prima para la producción de abonos orgánicos, es el porcentaje de humedad de éstas, ya que todas las muestras presentaron datos que sobrepasan el valor de humedad del 20% recomendado por el Título F del RAS, lo que puede ser originado por la presencia de materia orgánica procedente de la preparación de alimentos. Esta característica está asociada a la proliferación de microorganismos, como mohos y levaduras, las cuales fueron halladas en el 87% de las muestras analizadas.

En general, no se recomienda la utilización de los residuos sólidos sin procesos previos de separación en la fuente, para su utilización como materia prima agrícola para obtener abonos o fertilizantes orgánico-minerales, en cumplimiento de lo establecido por el Decreto 596 de 2016, la Norma NTC 5167 y el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (TÍTULO F Sistemas de Aseo Urbano). A pesar de lo anterior, si se pueden contemplar otros usos de la Categoría B definida por el RAS, tales como:

- Estabilización de taludes de proyectos de la red vial nacional, secundaria y/o terciaria.
- Rehabilitación y recuperación de suelos degradados de uso no agrícola, áreas destinadas al ornato y la recreación, jardines, parques y zonas verdes.
- 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.
- En la fabricación de encendedores y material aglomerado o comprimido (pellets) para procesos de tratamiento térmico de residuos como combustible alternativo

(Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico: TÍTULO F Sistemas de Aseo Urbano, 2018).

Se insiste que los usos que pueden tener este tipo de residuos deben ser después de aplicar procesos o tratamientos de estabilización de la materia orgánica, proceso de sanitización y otros procesos físicos como el triturado para disminuir el tamaño de partícula.

13.6 Resultados de poder calorífico para las muestras del sector Residencial

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/Nm³), también se usan Kcal/Kg. Otra definición puede ser, es el calor obtenido en la combustión completa de 1 Kg (1 m³) de combustible al oxidarse de forma completa. Es decir, cuando el carbono del combustible pasa a Dióxido de Carbono, 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 (CO₂) y agua (H₂O).

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, como se muestra en la siguiente ecuación:

Ecuación 1. Cálculo del poder calorífico inferior

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

Donde:

- PCS: Poder Calorífico Superior (Kcal/Kg de combustible).
- PCI: Poder Calorífico Inferior (Kcal/Kg de combustible).
- 597: Es el calor de condensación del agua a 0 °C (kcal/kg de agua).
- G: 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 kilogramos 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 kilogramo de combustible.

Según lo anterior, se obtiene la siguiente ecuación:

Ecuación 2. Poder calorífico inferior reemplazando G

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

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 (Sukru & Ayanoglu, 212).

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 3. 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.
- O/8: cantidad centesimal de hidrógeno en peso que se encuentra combinado con el oxígeno del mismo combustible dando " agua de combinación".
- (H - O/8): cantidad centesimal de "hidrógeno disponible", en peso realmente disponible para que se oxide con el oxígeno del aire, dando "agua 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. Los autores (Ali Khan & Abu Ghararah, New Approach of Estimating Energy Content of Municipal Solid Waste, 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, New Approach of Estimating Energy Content of Municipal Solid Waste, 1991) se presenta a continuación:

Ecuación 4. 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 5. Ecuación de Ali Khan y Abu Gararah para el cálculo del Poder Calorífico Inferior

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

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 6. Ecuación de (KUNITOSHI S. G., 1998) para el cálculo del Poder Calorífico Superior en base Seca

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

Dónde:

- 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 7. Ecuación de (KUNITOSHI S. G., 1998) para el cálculo del Poder Calorífico Superior en base Húmeda

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

Dónde:

- PCS (bh): Poder calorífico superior en base húmeda.
- MO: Materia orgánica.
- % de humedad promedio de los seis estratos

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

Ecuación 8. Ecuación de (KUNITOSHI S. G., 1998) para el cálculo del Poder Calorífico Inferior

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

Dónde:

- PCS (bh): Poder calorífico superior en base húmeda.
- PCI: Poder Calorífico Inferior

El análisis del poder calorífico ha demostrado que algunos residuos sólidos urbanos tienen un poder calorífico interesante para usarlos como combustibles en diversas actividades, sobre todo industriales, mediante procesos de incineración como pirólisis y 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 siguiente tabla.

Tabla 65. Rangos para la aplicación de procesos de incineración

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: CEPIS

El método práctico se rige bajo el método estándar americano ASTM D2015 y utiliza 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.

En la siguiente tabla, se presentan los resultados promedio del poder calorífico y el porcentaje de humedad de las diferentes muestras reportados por el laboratorio GIEM, para los diferentes estratos socioeconómicos del sector residencial de Medellín.

Tabla 66. Resultados promedio de poder calorífico por método práctico y porcentaje de Humedad.

Estrato	Poder Calorífico Superior (Kcal/kg) Bomba Calorimétrica (ASTM 2015)	% Humedad
Estrato 1	4.296	66,23
Estrato 2	3.969	66,97
Estrato 3	4.335	60,88
Estrato 4	4.259	62,74
Estrato 5	4.715	63,40
Estrato 6	4.624	67,80
Corregimientos cabecera	4.272	68,0
Corregimiento disperso	3.972	58,4
Promedio	4.305	64,3

Fuente: GIEM, 2023



Tabla 67. Componentes porcentuales tenidos en cuenta para el cálculo de poder calorífico por métodos analíticos

Componente	Orgánicos aprovechables (%)	Papel (%)	Textiles (%)	No aprovechables (%)	Plásticos (%)	Caucho (%)	Cuero (%)	Cartón (%)
Medellín sin corregimientos	57,42	2,49	2,27	13,06	10,86	0,07	0,00	4,02
Medellín incluyendo corregimientos	56,62	2,62	2,36	13,17	10,99	0,09	0,00	4,16

Fuente: Elaboración propia

Los resultados del poder calorífico usando los dos métodos analíticos anteriormente explicados se calcularon usando los porcentajes reportados en la Tabla 67 y los resultados se pueden ver en la Tabla 68 y la

Tabla 69.

Tabla 68. Resultados del poder calorífico por subsector mediante método analítico de (KUNITOSHI S. G., 1998)

Componente	PCSbs: Poder Calorífico Superior en Base Seca
Medellín sin corregimientos	3.994
Medellín incluyendo corregimientos	3.988

Fuente: Elaboración propia

Tabla 69. Resultados de poder calorífico promedio para el sector residencial por métodos analíticos

Metodología	(KUNITOSHI S. G., 1998)			(Ali Khan & Abu Ghararah, New Approach of Estimating Energy Content of Municipal Solid Waste, 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 sin corregimientos	3.994	1.498	1.123	2.007	1.344
Medellín incluyendo corregimientos	3.988	1.411	1.024	2.023	1.348

Fuente: Elaboración propia

Al realizar la comparación con los resultados del estudio anterior, para el sector residencial de Medellín incluyendo sus corregimientos, en el año 2018 se obtuvo un resultado de Poder Calorífico Superior (PCS) de 4.668 Kcal/Kg por el método práctico, hallándose para ese mismo año una humedad de 50,2%. Por su parte, el presente estudio reportó un valor de PCS de 4.305 Kcal/kg para una humedad promedio de 64,3%.

Es importante mencionar que ambos valores corresponden a un poder calorífico que no tiene en cuenta el calor de condensación del agua procedente de la humedad de los residuos muestreados. Lo anterior quiere decir que el Poder Calorífico Inferior (PCI) calculado a partir de dichos valores será inferior para el año 2023, toda vez que la



humedad de los residuos muestreados en 2023 fue superior a la del 2018 (64,3% > 50,2%).

De otro lado, el análisis comparativo del poder calorífico inferior propuesto por (KUNITOSHI S. G., 1998), muestra que para el año 2018 se obtuvo un resultado de 1.308 Kcal/Kg para la ciudad de Medellín sin incluir los corregimientos, mientras que en el año 2023 se encontró un resultado de 1.123 Kcal/Kg, correspondientes a valores muy cercanos, lo cual valida la utilización de métodos prácticos y teóricos para la determinación del poder calorífico.

De acuerdo con los resultados reportados por el método práctico entregados por el Laboratorio GIEM, el poder calorífico superior promedio para el sector residencial de Medellín estimado por ese método fue de 4.305 Kcal/Kg, valor cercano al calculado por el método analítico de (KUNITOSHI S. G., 1998) que fue de 3.988 Kcal/Kg. Ambos valores son cercanos al valor teórico del poder calorífico de 4.000 Kcal/Kg reportado por (KUNITOSHI S. , 1998), por lo cual los valores están resultando coherentes con la bibliografía, respecto de los valores teóricos obtenibles para residuos sólidos urbanos.

Con respecto al Poder Calorífico Inferior calculado para Medellín incluyendo los valores obtenidos para los corregimientos y mediante la utilización de los dos (2) métodos analíticos de (KUNITOSHI S. G., 1998) y (Ali Khan & Abu Ghararah, New Approach of Estimating Energy Content of Municipal Solid Waste, 1991), se obtuvieron valores de 1.024 Kcal/Kg y 1.348 Kcal/Kg, respectivamente. Puede observarse que ambos valores están muy cercanos y que según los rangos de aplicaciones de proceso Incineración, ambos valores se encuentran en el rango entre 1.000 Kcal/Kg y 1.500 Kcal/Kg, por lo que se pueden implementar procesos de incineración siempre y cuando se realice un pretratamiento para bajar los niveles de humedad.

Además de lo anterior, la decisión del tratamiento térmico de los residuos se debe acompañar de estudios de prefactibilidad económica y ambiental. También se deben cumplir los siguientes requerimientos para que los métodos de aprovechamiento de los residuos se desarrollen de forma óptima:

- Los residuos sólidos deben estar debidamente separados por tipo de material, de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) o en su defecto sujetándose a lo establecido en el programa de prestación por la persona prestadora de la actividad de aprovechamiento.

- No deben estar contaminados con residuos peligrosos, metales pesados, ni bifenilos policlorados (Decreto 596 de 2916, Artículo 2.3.2.2.8.82).



14 ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS, APROVECHADOS Y QUE VAN AL SISTEMA DE DISPOSICIÓN FINAL

14.1 Determinación de la cantidad de residuos sólidos generados por el sector residencial

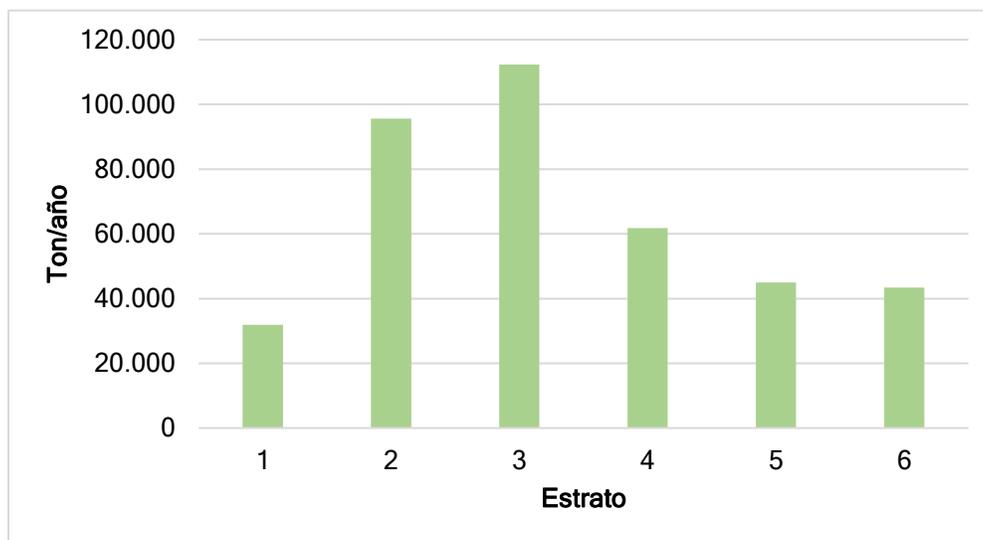
Los datos de PPC son útiles para estimar la generación de residuos del sector residencial. En este caso, a partir de la cantidad de habitantes proyectados para Medellín y de acuerdo con la proporción de usuarios del servicio de aseo para cada estrato socioeconómico, se estima para el año 2023, la cantidad de residuos sólidos generados por el sector residencial por estrato socioeconómico, comuna y corregimiento del distrito, con el fin de facilitar el diseño de proyectos para el manejo integral de los residuos sólidos en Medellín.

Tabla 70. Cantidad de residuos generados por estrato socioeconómico en zona urbana de Medellín

Estrato	PPC (Kg/hab*día)	Habitantes 2023	Residuos generados	
			Ton/día	Ton/año
1	0,41	217.170	89	32.499
2	0,45	594.082	267	97.578
3	0,44	713.560	314	114.598
4	0,48	359.631	173	63.007
5	0,49	256.805	126	45.930
6	0,75	161.814	121	44.297
Total		2.303.062	1.090	397.909

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 81. Cantidad de residuos generados por estrato socioeconómico en zona urbana de Medellín



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con lo anterior, se estima para el año 2023 una generación total de residuos de 397.909 toneladas en la zona urbana, distribuidos por estrato socioeconómico como se muestra en la Gráfica 81.

Aunque el estrato 3 cuenta con una menor PPC (0,44 Kg/habitante*día), tiene una mayor cantidad de habitantes que los demás estratos socioeconómicos, lo que lo convierte en el estrato que genera mayor cantidad de residuos sólidos en la ciudad, seguido de los estratos 2 y 4. El estrato 6, aunque tiene el mayor valor de PPC (0,75 Kg/habitante*día), cuenta con menor cantidad de habitantes que otros estratos socioeconómicos, por lo que su generación total es una de las más bajas del municipio.

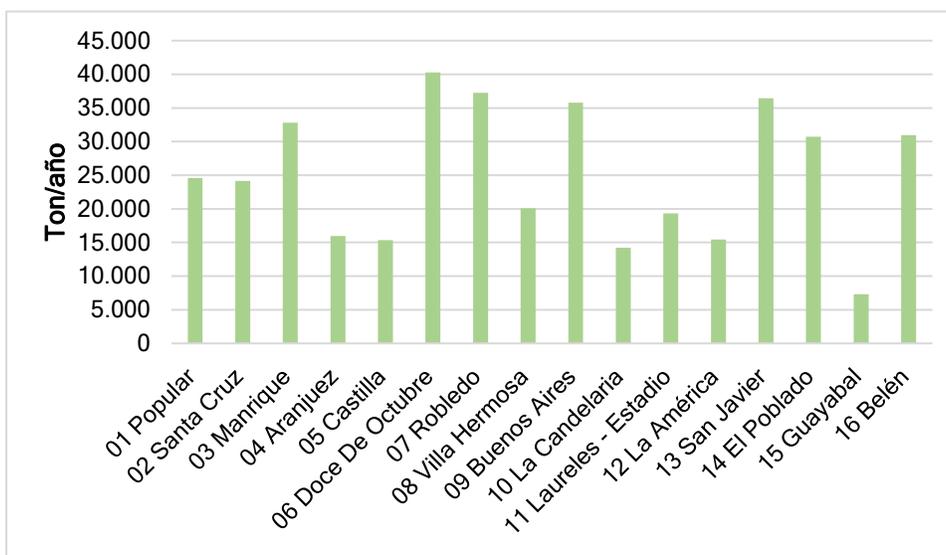
A nivel urbano, las comunas 6 (Doce de Octubre), 7 (Robledo) y 13 (San Javier) son las que tienen mayor generación de residuos sólidos, mientras que las comunas 15 (Guayabal) y 10 (La Candelaria) son las que cuentan con menor generación de residuos, debido principalmente al número de habitantes por comuna.

Tabla 71. Cantidad de residuos generados por comuna en zona urbana de Medellín

Comuna	PPC	Habitantes 2023	Ton/día	Ton/año
C1 Popular	0,45	149.586	67	24.570
C2 Santa Cruz	0,54	122.573	66	24.159
C3 Manrique	0,50	179.793	90	32.812
C4 Aranjuez	0,30	145.837	44	15.969
C5 Castilla	0,33	127.289	42	15.332
C6 Doce de Octubre	0,60	183.889	110	40.272
C7 Robledo	0,49	208.305	102	37.255
C8 Villa Hermosa	0,32	171.776	55	20.063
C9 Buenos Aires	0,56	175.014	98	35.773
C10 Candelaria	0,49	79.404	39	14.201
C11 Laureles - Estadio	0,52	101.796	53	19.321
C12 La América	0,48	88.207	42	15.454
C13 San Javier	0,57	175.122	100	36.434
C14 El Poblado	0,75	112.257	84	30.730
C15 Guayabal	0,31	64.713	20	7.322
C16 Belén	0,39	217.501	85	30.961
Total		2.303.062	1030	400.628

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 82. Cantidad de residuos residenciales generados por comuna de Medellín



Fuente: Elaboración propia

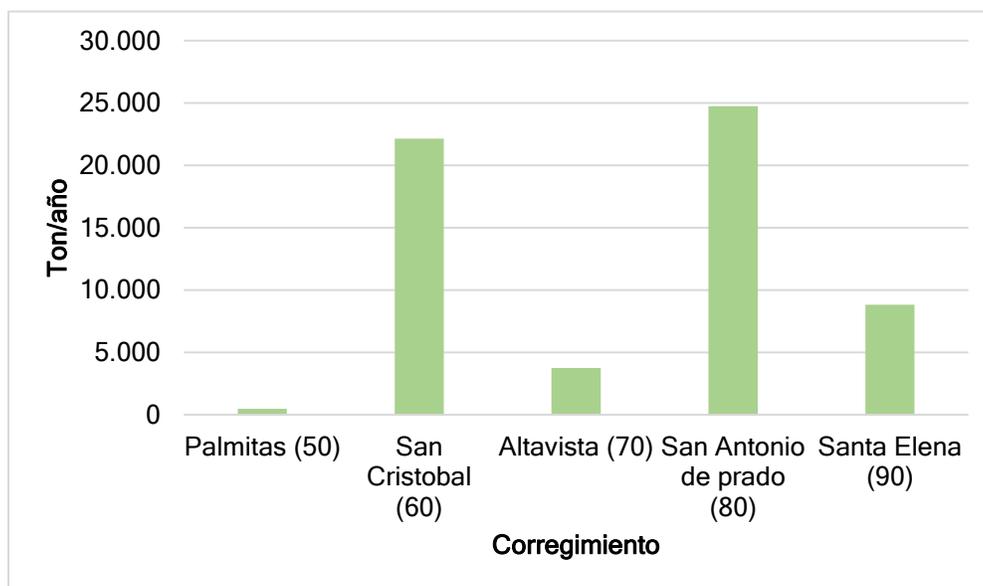
Para la determinación de la cantidad de residuos generada en los corregimientos solo se tienen en cuenta sus centros poblados dado que para la zona dispersa no se tienen cifras de usuarios del servicio público de aseo.

Tabla 72. Cantidad de residuos generados por corregimiento de Medellín

Corregimiento	PPC (Kg/hab*día)	Habitantes 2023	Residuos generados	
			Ton/día	Ton/año
Palmitas (50)	0,20	6.485	1,30	473
San Cristóbal (60)	0,40	151.677	60,67	22.145
Altavista (70)	0,23	44.665	10,27	3.750
San Antonio de prado (80)	0,58	116.838	67,77	24.735
Santa Elena (90)	0,78	31.002	24,18	8.826
Total		350.667	164,19	59.929

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 83. Cantidad de residuos residenciales generados por corregimiento de Medellín



Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la Tabla 72, se estima para el año 2023 una generación total de residuos de 59.929 toneladas en los corregimientos de Medellín, donde los corregimientos de San Antonio de Prado y San Cristóbal son los mayores generados de residuos dada la cantidad de habitantes en los mismos, seguidos por Santa Elena y Altavista. El corregimiento de Palmitas cuenta con una baja generación de residuos dada la poca cantidad de habitantes y su bajo valor de PPC.

De este análisis se evidencia que la generación de residuos del sector residencial de Medellín corresponde a un total de 1.254 Toneladas/día, que equivalen a 457.837 Toneladas/año, donde el mayor aporte lo realiza la zona urbana con un 87% de la generación total mientras que los corregimientos aportan el 13% de la generación total, como se muestra en la

Tabla 73.

Tabla 73. Cantidad total de residuos generados por zona de Medellín

Zona	Residuos generados	
	Ton/día	Ton/año
Zona urbana	1.090	397.909
Corregimientos	164	59.929
Total	1.254	457.837

Fuente: Elaboración propia

14.2 Proyección de la generación de residuos sólidos

A continuación, se presenta la proyección de la generación de residuos sólidos de Medellín hasta el año 2030, empleando las proyecciones poblacionales del DANE y las PPC proyectadas mediante el método de regresión lineal.

Tabla 74. Proyección de la generación de residuos en zona urbana de Medellín

Año	PPC proyectada (Kg/hab*día)	Población proyectada (Habitantes)	Total generación proyectada (Ton/día)
2024	0,47	2.332.634	1.096,3
2025	0,47	2.360.747	1.109,6
2026	0,48	2.386.109	1.145,3
2027	0,48	2.408.358	1.156,0
2028	0,49	2.427.611	1.189,5
2029	0,50	2.443.598	1.221,8
2030	0,50	2.456.244	1.228,1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 75. Proyección de la generación de residuos en corregimientos de Medellín

Año	PPC proyectada (Kg/hab*día)	Población proyectada (Habitantes)	Total generación proyectada (Ton/día)
2024	0,45	367.809	165,5
2025	0,45	384.717	173,1
2026	0,46	401.803	184,8
2027	0,46	419.127	192,8
2028	0,47	436.514	205,2
2029	0,47	454.042	213,4
2030	0,48	471.646	226,4

Fuente: Elaboración propia

14.3 Cantidad de residuos potencialmente aprovechables

La cantidad de residuos potencialmente aprovechables de Medellín se determina a partir de la composición porcentual encontrada para la zona urbana y sus corregimientos, considerando la totalidad del material reciclable y la totalidad de residuos orgánicos como materiales susceptibles de aprovechamiento y/o tratamiento, tal como se muestra en las siguientes tablas, en las cuales se presenta el cálculo de las toneladas anuales generadas en las zonas urbana y rural de Medellín.

Tabla 76. Cantidad total de residuos aprovechables generados en zona urbana de Medellín

Estrato	PPC Kg/hab*día	Población	Residuos generados	Residuos reciclables aprovechables		Residuos orgánicos aprovechables	
			Ton/año	%	Ton/año	%	Ton/año
1	0,41	217.170	32.499	26,03%	8.459	55,37%	17.995
2	0,45	594.082	97.578	29,51%	28.792	55,45%	54.112
3	0,44	713.560	114.598	27,16%	31.130	56,68%	64.959
4	0,48	359.631	63.007	27,75%	17.485	59,80%	37.677
5	0,49	256.805	45.930	28,70%	13.183	61,10%	28.065
6	0,75	161.814	44.297	32,24%	14.281	59,49%	26.353
Total		2.303.062	397.909		113.331		229.161

Fuente: Elaboración propia



Tabla 77. Cantidad total de residuos aprovechables generados en zona rural de Medellín

Estrato	PPC (Kg/hab*día)	Población	Residuos generados	Residuos reciclables aprovechables		Residuos orgánicos aprovechables	
			Ton/año	%	Ton/año	%	Ton/año
Palmitas (50)	0,20	6.485	473	60,01%	284	22,05%	104
San Cristóbal (60)	0,40	151.677	22.145	32,80%	7.263	49,39%	10.937
Altavista (70)	0,23	44.665	3.750	38,85%	1.457	41,72%	1.564
San Antonio de prado (80)	0,58	116.838	24.735	30,27%	7.488	59,78%	14.785
Santa Elena (90)	0,78	31.002	8.826	55,43%	4.892	17,83%	1.573
Total		350.667	59.929		21.385		28.964

Fuente: Elaboración propia

De este modo, se tiene que el potencial de aprovechamiento de residuos orgánicos para el distrito es del 56% y de residuos reciclables es del 29%, sumando en conjunto un 85% de potencial de aprovechamiento total, que para el año 2023 representa unas

cantidades de material aprovechable anual total de 134.717 toneladas de residuos reciclables y 258.125 toneladas de residuos orgánicos.

Tabla 78. Cantidad total de residuos aprovechables generados en Medellín

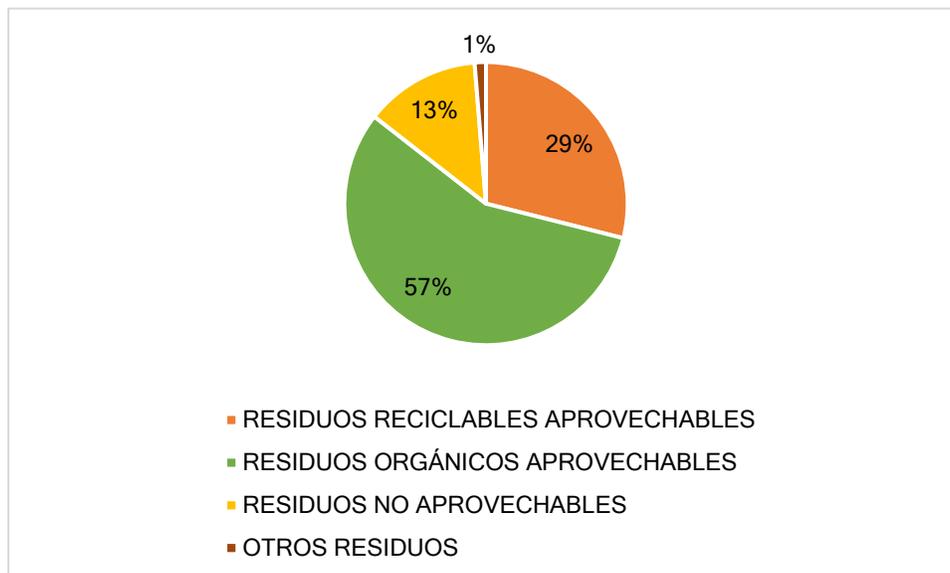
Zona	Total generado	Residuos reciclables aprovechables	Residuos orgánicos aprovechables
	Ton/año	Ton/año	Ton/año
Zona urbana	397.909	113.331	229.161
Corregimientos	59.929	21.385	28.964
Total	457.837	134.716	258.125
	100%	29,4%	56,4%

Fuente: Elaboración propia

Este valor corresponde al valor de aprovechamiento máximo que se lograría con una eficiencia en el 100% de la separación en la fuente, ya que al mezclar los residuos aprovechables con otros como orgánicos y no aprovechables se puede perder su potencialidad de aprovechamiento, además de introducir costos asociados a su limpieza, lavado o dificultar su separación posterior.



Gráfica 84. Potencial de aprovechamiento en el Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín



Fuente: Elaboración propia

14.4 Cantidad de residuos que se incorporan al servicio público de aseo

Es importante tener en cuenta que las cantidades de residuos generados fueron calculadas a partir de las proyecciones poblacionales del DANE. No obstante, en el cálculo de la cantidad de residuos incorporadas a las actividades de aprovechamiento y disposición final como parte del servicio público de aseo, es importante tener en cuenta que la cobertura en la prestación del servicio de aseo para el año 2022 es del 98,83% para el sector urbano y del 91,41% para los corregimientos.

Según lo anterior, se estima que unas 444.725 toneladas anuales de residuos se incorporan al servicio público de aseo, de los cuales 389.951 corresponden a la zona urbana y 54.775 a los corregimientos.



Tabla 79. Cantidad de residuos que se incorporan al servicio público de aseo en zona urbana de Medellín

Estrato	Total generado (Toneladas/año)	Total servicio de aseo (Toneladas/año)
1	32.499	31.850
2	97.578	95.626
3	114.598	112.306
4	63.007	61.747
5	45.930	45.011
6	44.297	43.411
Total	397.909	389.951

Fuente: Elaboración propia

Tabla 80. Cantidad de residuos que se incorporan al servicio público de aseo en corregimientos de Medellín

Corregimiento	Total generado (Toneladas/año)	Total servicio de aseo (Toneladas/año)
Palmitas (50)	473	433
San Cristóbal (60)	22.145	20.240
Altavista (70)	3.750	3.427
San Antonio de Prado (80)	24.735	22.607
Santa Elena (90)	8.826	8.067
Total	59.929	54.775

Fuente: Elaboración propia



14.5 Cantidad de residuos que se incorporan efectivamente al aprovechamiento, determinada mediante aforos

En la Tabla 81 se reporta el porcentaje en peso de las muestras que fueron separadas en la fuente por parte de las viviendas participantes del estudio de caracterización; este material se clasificó y se pesó aparte del material no aprovechable con el fin de conocer el porcentaje de separación en la fuente que hay en la ciudad.

Tabla 81. Peso de las muestras entregadas con separación en la fuente en el sector residencial de la zona urbana de Medellín

Estrato	Residuos no aprovechables	Residuos reciclables	Residuos orgánicos
1	94,7%	4,6%	0,7%
2	90,5%	8,5%	1,0%
3	91,1%	8,0%	0,8%
4	97,9%	2,1%	0,0%
5	98,2%	1,8%	0,0%
6	74,6%	15,9%	9,5%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 82. Porcentaje en peso de las muestras entregadas con separación en la fuente en el sector residencial de los corregimientos de Medellín

Corregimiento	Residuos no aprovechables	Residuos reciclables	Residuos orgánicos
Palmitas (50)	77,3%	17,5%	5,2%
San Cristóbal (60)	81,2%	18,7%	0,2%
Altavista (70)	81,0%	14,7%	4,2%
San Antonio de prado (80)	94,6%	5,4%	0,0%
Santa Elena (90)	77,8%	17,3%	4,9%

Fuente: Elaboración propia

Al extrapolar el porcentaje de separación encontrado durante la caracterización de los residuos en cada uno de los estratos y teniendo en cuenta la cantidad generada en cada uno de estos, acorde a los valores de PPC encontrados, se tiene que se estarían incorporando al aprovechamiento 27.585 toneladas anuales de residuos reciclables separados en la fuente provenientes del sector urbano y 7.486 toneladas anuales provenientes de los corregimientos, que corresponde a un total de 35.071 toneladas anuales que se estarían separando en la fuente e incorporando al aprovechamiento, lo que equivale al 7,8% del total generado. Es importante recalcar que esta estimación se realiza con las proporciones de las viviendas participantes del estudio que entregaron los residuos separados para su caracterización.

Tabla 83. Estimación del peso total de los residuos separados en fuente en el sector residencial de la zona urbana de Medellín

Estrato	Total servicio de aseo (Toneladas/año)	Reciclaje separado en fuente (Toneladas/año)
1	31.850	1.466,9
2	95.626	8.131,8
3	112.306	8.997,5
4	61.747	1.272,1
5	45.011	805,8
6	43.411	6.910,6
Total	389.951	27.585

Fuente: Elaboración propia

Tabla 84. Estimación del peso total de los residuos separados en fuente en el sector residencial de corregimientos de Medellín

Corregimiento	Total servicio de aseo (Toneladas/año)	Reciclaje separado en fuente (Toneladas/año)
Palmitas (50)	433	75,8
San Cristóbal (60)	20.240	3.778,9
Altavista (70)	3.427	505,3
San Antonio de Prado (80)	22.607	1.223,7
Santa Elena (90)	8.067	1.398,4
Total	54.775	6.982

Fuente: Elaboración propia

Tabla 85. Peso total de los residuos separados en fuente en el sector residencial Medellín, según estudio

Categoría	Zona Urbana (Ton/año)	Corregimientos (Ton/año)	Total	
			Ton/año	%
Total reciclaje separado en fuente	27.585	6.982	34.567	7,8%
Total generado en el servicio de aseo	389.951	54.775	444.725	100%

Fuente: Elaboración propia

El valor de 7,8% estimado a partir de las muestras separadas en fuente por los participantes del estudio, resulta inferior al valor de aprovechamiento reportado en el SUI, que para el año 2022 fue de 56.937 toneladas anuales, equivalentes al 12,8% de la generación residencial. Estas estimaciones solo se realizaron para el año 2022, pues para el año 2023 la cifra estaba incompleta según los reportes aplazados de algunos prestadores del servicio de aprovechamiento.

Tabla 86. Peso total de los residuos aprovechados

Categoría	Zona Urbana (Ton/año)	Corregimientos (Ton/año)	Total	
			Ton/año	%
Total reciclaje reportado en el SUI (2022)	56.938		56.938	12,8%
Total generado en el servicio de aseo	389.951	54.775	444.725	100,0%

Fuente: Sistema Único de Información (SUI), 2022

De acuerdo con lo anterior, es evidente que la cantidad de residuos aprovechados según reporte realizado por los prestadores del servicio de aseo en el SUI es superior a la cantidad estimada de residuos separados en fuente por los suscriptores residenciales participantes del estudio. Por tanto, es posible que los participantes del estudio no hayan entregado las muestras completas de material reciclable

En contraste con lo anterior, al analizar la encuesta realiza en las viviendas participantes del estudio (Anexo 1) se encuentra que en promedio el 89,04% de las viviendas

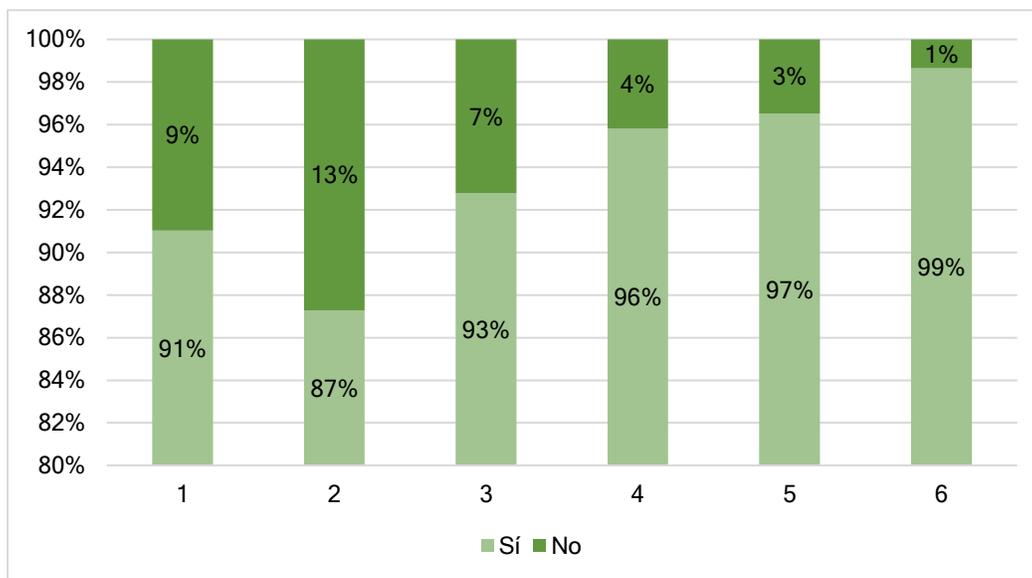


encuestadas en zona urbana de Medellín dice realizar separación en la fuente y el 93,48% de los suscriptores de los corregimientos dice realizar separación en la fuente de los residuos que genera.

Esta diferencia entre las respuestas dadas en las encuestas y el porcentaje de material separado en la fuente por los participantes del estudio puede deberse a la confusión que presentan los habitantes de la ciudad en la forma adecuada de hacer la separación en la fuente y su correcta entrega a empresas prestadoras del servicio de aseo en la actividad de aprovechamiento.

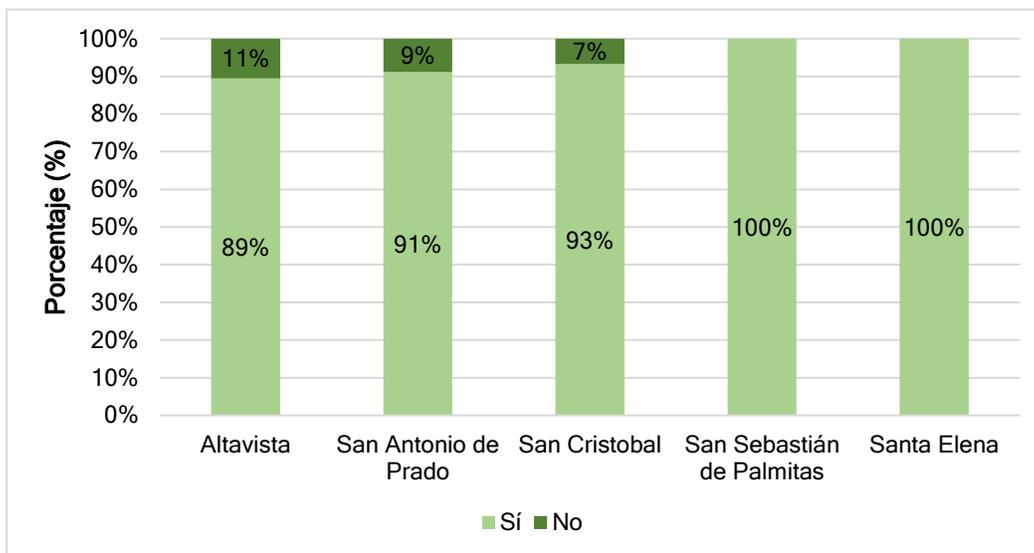
A nivel urbano los estratos socioeconómicos 4, 5 y 6 son los que realizan separación de residuos en la fuente en mayor proporción, según las encuestas realizadas por el estudio de caracterización. A nivel corregimental, la mayor proporción de respuestas asociadas a separación en la fuente fue hallada para Santa Elena (100%), posiblemente por la adquisición de hábitos de separación en la fuente originados por la implementación de estrategias pedagógicas y educativas dirigidas a la comunidad de los corregimientos.

Gráfica 85. Encuesta sobre la realización de separación en la fuente en zona urbana



Fuente: Elaboración propia

Gráfica 86. Encuesta sobre la realización de separación en la fuente en zona rural



Fuente: Elaboración propia

Respecto de los suscriptores del servicio de aseo muestreados que manifiestan que no hacen separación en la fuente, en zona urbana se encontraron las siguientes justificaciones para dichas respuestas, según las encuestas aplicadas: a) No tiene claridad sobre los tipos de residuos reciclables (34,2%), b) No tiene espacio suficiente en la vivienda (30,4%), c) No tiene interés en realizar esta separación (24,0%) y d) No sabe a quién entregar los residuos separados (11,4%).

Los suscriptores de los corregimientos que manifiesta que no hace separación en la fuente, argumentaron que no ejecutan la separación de los materiales por las siguientes causas: a) No tienen claridad sobre los tipos de materiales reciclables (34,78%), b) No saben a quién entregar los residuos separados (26,09%), c) No cuenta con espacio suficiente en la vivienda (26,09%) y d) No tiene interés en realizar esta separación (13,04%).

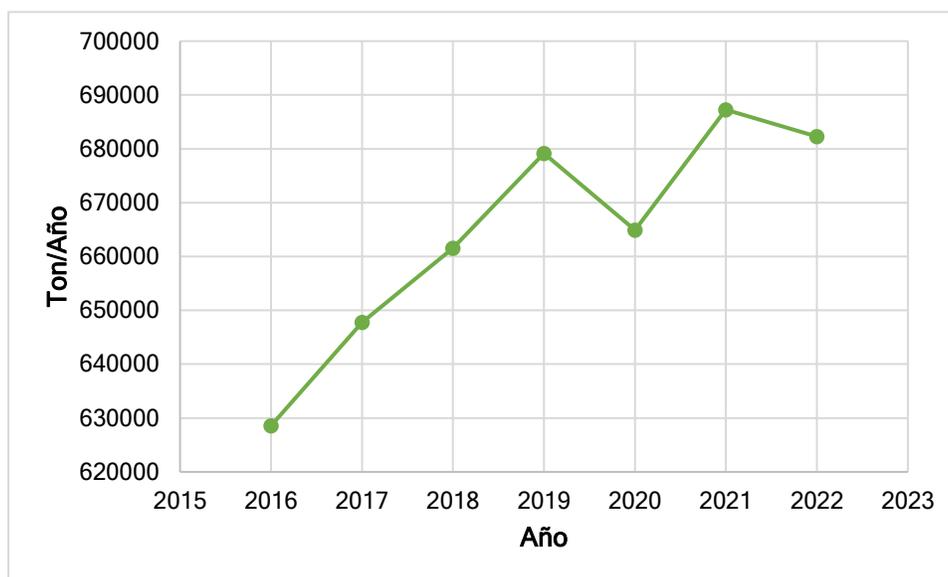
14.6 Cantidad de residuos que van al sistema de disposición final

En cuanto a las cantidades de residuos dispuestas en el relleno sanitario La Pradera, para el año 2020 se tuvo una disposición final atípica influida por las medidas tomadas para el control de la pandemia Covid19 y los cambios de conductas y hábitos de consumo que se tuvieron producto de ello.

Para el año 2021 hubo un crecimiento en las cifras reportadas de disposición final con relación al año 2020, generado por el levantamiento de las medidas adoptadas para evitar la propagación del Covid-19, evidenciando el retorno a los niveles previos a la pandemia, ya que en cierta medida se retomaron las actividades habituales anteriores a la pandemia.

Como se puede apreciar en la Gráfica 87, las toneladas dispuestas en La Pradera presentan una tendencia decreciente para el año 2022 con relación al año 2021, lo cual representa una disminución de 0,7%, pasando de 687.263 toneladas anuales a 682.278 toneladas anuales (EMVARIAS SA ESP, 2022).

Gráfica 87. Cantidades de residuos sólidos llevados a disposición final



Fuente: EMVARIAS SA ESP, 2022

Exceptuando esta situación atípica, para Medellín la tendencia general en la disposición de residuos en relleno sanitario es de crecimiento, lo que supone entonces que si bien el aumento de residuos en el relleno sanitario se debe en parte al aumento del valor de la PPC fundamentada en el poder adquisitivo y las dinámicas de consumo de la población por persona, también influye en éste, el aumento de población de la ciudad, el aumento en la migración, aumento de población flotante (turismo), el desarrollo industrial, el incremento en el número de empresas, la generación de residuos de limpieza urbana y el desarrollo económico, entre otras.

De acuerdo con la PPC encontrada en el presente estudio, se estima que la cantidad de residuos que llegan al servicio público de aseo procedentes del sector residencial es de 444.725 toneladas anuales de residuos (sumando urbana y rural), de los cuales se están aprovechando 56.938 toneladas por año (12,8%) y 387.788 toneladas anuales se estarían enviando al relleno sanitario La Pradera para su disposición final.

Tabla 87. Cantidad de residuos que van a disposición final

Residuos totales en servicio de aseo (Toneladas/año)	Reporte SUI de residuos reciclados (Toneladas/año)	Residuos dispuestos provenientes del sector residencial (Toneladas/año)
444.725	56.938	387.788

Fuente: Elaboración propia

Comparando esta cifra de residuos generados en el sector residencial, cuyo destino es el relleno sanitario, con las cifras reportadas por Emvarias S.A E.S.P de 682.278 toneladas anuales dispuestas por Medellín, se evidencia que el aporte del sector residencial a la cifra total llevada al relleno sanitario es del 57%, mientras que el resto de los residuos corresponde a generadores no residenciales, además de residuos de barrido y limpieza.

Tabla 88. Participación del sector residencial en la cantidad total de residuos dispuestos en relleno sanitario

Disposición Final	Barrido	Residencial	No residencial
682.278	27.632	387.788	266.858
100%	4%	57%	39%

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, con el fin de evaluar los cambios más recientes en la disposición final, en la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos en la caracterización de residuos sólidos que ingresaron al Relleno Sanitario La Pradera. Estas caracterizaciones se desarrollaron en el Vaso Altaír (actualmente en operación)

mediante el método de cuarteo, las cuales se analizan teniendo en cuenta la alta participación de Medellín en cuanto a la cantidad de residuos recibidos en éste.

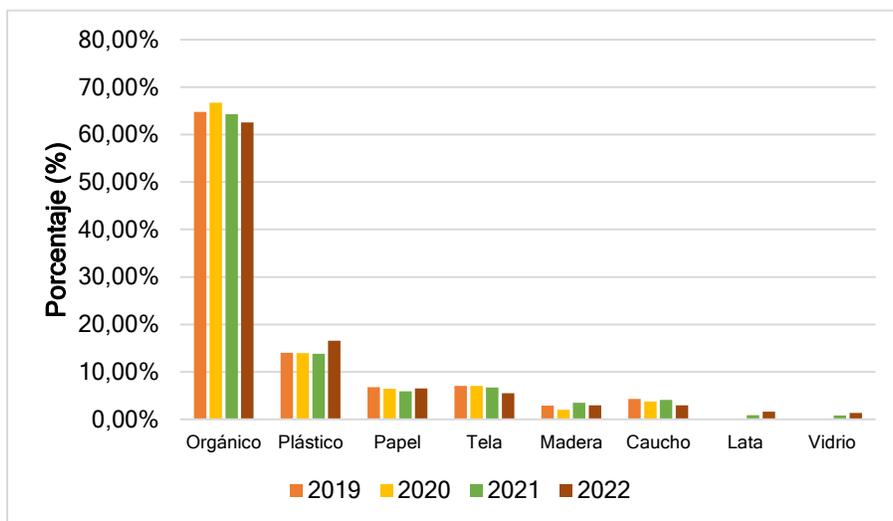
Según estos datos, la composición de residuos del relleno sanitario La Pradera presentan predominancia de material orgánico, seguido de plástico y tela. Dicha composición no presenta mayores variaciones a través de los años. Esto indica que aún se presenta un amplio margen de mejora en la prevención de la generación, la separación en la fuente y el aprovechamiento de residuos sólidos dispuestos en La Pradera.

Tabla 89. Datos históricos de la composición física porcentual de residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario La Pradera

Material	2019	2020	2021	2022	Promedio
Orgánico	64,79%	66,74%	64,30%	62,54%	64,59%
Plástico	14,01%	13,97%	13,80%	16,55%	14,58%
Papel	6,81%	6,42%	5,89%	6,52%	6,41%
Tela	7,05%	7,04%	6,73%	5,53%	6,59%
Madera	2,90%	2,04%	3,49%	2,97%	2,85%
Caucho	4,32%	3,79%	4,10%	2,96%	3,79%
Lata	0,02%	0,01%	0,86%	1,60%	0,63%
Vidrio	0,10%	0,00%	0,83%	1,33%	0,56%
Total	100%	100%	100%	100%	100 %

Fuente: Emvarias SA ESP, 2022

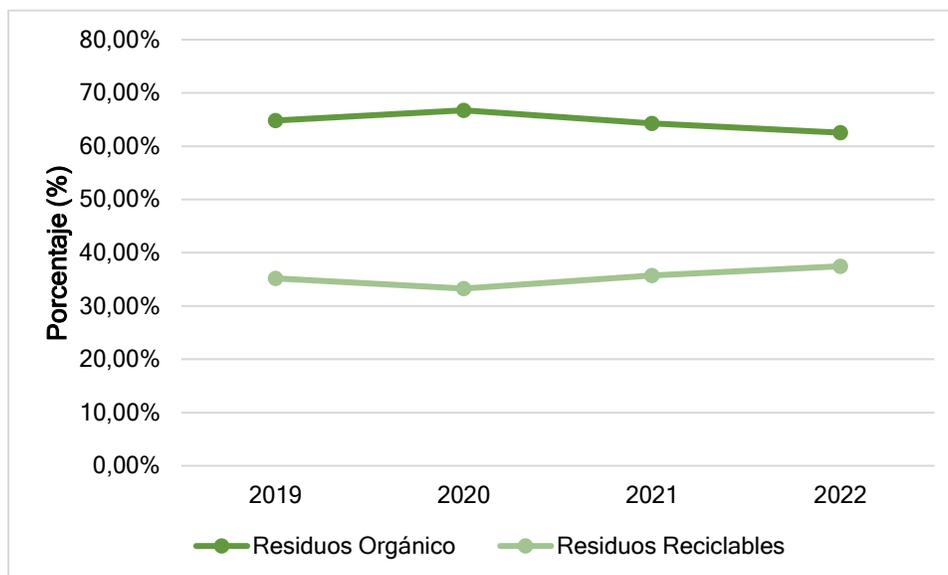
Gráfica 88. Comparativo de los datos históricos de la composición física porcentual de residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario La Pradera



Fuente: EMVARIAS SA ESP, 2022

Al hacer el análisis por tipo de residuo se evidencia que la fracción de residuos reciclables presenta una leve tendencia al aumento, especialmente llama la atención que residuos como plástico, papel, metal y vidrio hayan presentado un incremento porcentual en la composición que llega el relleno sanitario en el último año, lo que evidencia que aún deben desarrollarse esfuerzos enfocados en la prevención de la generación, la separación en la fuente y el aprovechamiento.

Gráfica 89. Comparativo histórico de las fracciones porcentuales de residuos sólidos aprovechables dispuestos en el relleno sanitario La Pradera



Fuente: EMVARIAS SA ESP, 2022

En términos generales, no se observan cambios importantes en la fracción porcentual de residuos para el año 2020 pese a que los cambios de hábitos generados con la pandemia implicaron cambios en el uso de elementos de cuidado e higiene.

14.7 Proyección de la disposición final en el relleno sanitario La Pradera

A continuación, se presenta la proyección de los datos de disposición final para los residuos sólidos generados en Medellín. La información de base utilizada fue extraída del Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios (SUI) y de información reportada por EMVARIAS SA ESP, a la cual se le aplicaron los métodos geométrico y exponencial recomendados por el RAS.

En las siguientes ecuaciones se representan los modelos matemáticos empleados, que para este caso fueron el método geométrico y el exponencial. Para el cálculo de la tasa de crecimiento en dichas ecuaciones, se utilizaron datos reales de disposición final entre los años 2010 y 2023, donde dichas tasas se representan como "r" y "Pf" en dichas fórmulas matemáticas.

Ecuación 9. Proyecciones método geométrico

$$P_f = P_{UC} * (1 + r)^{t_f - t_{uc}}$$

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{\frac{1}{(t_{uc} - t_{ci})}} - 1$$

Ecuación 10. Proyecciones método exponencial

$$k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

$$P_f = P_{cp} \times e^{k \times (T_f - T_{cp})}$$

En el PGIRS de Medellín se contaba con proyecciones geométricas y exponenciales para la disposición final, pero dichas estimaciones partían de la información de la disposición final medida en báscula entre los años 2010 y 2018.

Las proyecciones del presente informe constituyen una actualización de aquellas realizadas en el PGIRS de Medellín, toda vez que éstas incorporan información de la báscula del relleno desde 2010 hasta el año 2023, lo que introduce datos de disposición final durante el periodo pandemia y pos pandemia, razón por la cual esta nueva proyección representa un escenario más conservador respecto de las cantidades llevadas al relleno sanitario La Pradera para su disposición final y esto tiene sustento en argumentos como el que esgrime EMVARIAS SA ESP en su informe de sostenibilidad del año 2022, donde menciona una disminución de los residuos dispuestos del 0,7% entre los años 2021 y 2022, además de lo cual se refleja la reducción de la disposición final en el año 2020 debido a “las medidas adoptadas para evitar la propagación del COVID-19”.

Tabla 90. Proyecciones de residuos dispuestos en La Pradera

Año	Método geométrico ton/año	Método exponencial ton/año	Promedio ton/año
2010	502.121	502.121	502.121
2011	555.013	555.013	555.013
2012	610.488	610.488	610.488
2013	575.137	575.137	575.137
2014	606.162	606.162	606.162
2015	602.170	602.170	602.170
2016	627.731	627.731	627.731
2017	650.366	650.366	650.366
2018	664.411	664.411	664.411
2019	667.559	667.559	667.559
2020	665.841	665.841	665.841
2021	687.263	687.263	687.263
2022	682.406	682.406	682.406
2023	683.269	683.269	683.269
2024	700.265	699.653	699.959
2025	717.684	716.430	717.057
2026	735.537	733.609	734.573
2027	753.833	751.200	752.517
2028	772.585	769.213	770.899
2029	791.803	787.658	789.730
2030	811.500	806.545	809.022
2031	831.686	825.885	828.785
2032	852.374	845.688	849.031
2033	873.577	865.967	869.772

Fuente: Elaboración propia

15 CONCLUSIONES

Los valores del indicador de producción per cápita (PPC) del sector residencial presentan tendencia de incremento entre los años 2006 y 2011. A partir de ese periodo, el indicador de PPC presenta variabilidad con aumentos y disminuciones, pasando de 0,54 Kg/habitante*día en el año 2018 hasta 0,50 Kg/habitante*día en el año 2023. Este comportamiento se corresponde con las cifras de disposición final reportadas por EMVARIAS SA ESP, donde para el año 2023 se refleja una disminución en la cantidad de residuos que llegan al relleno sanitario La Pradera.

Estas tendencias de reducción de la PPC y del valor de disposición final pueden estar influenciadas por situaciones como la pandemia por Covid-19 que generó importantes cambios de hábitos en la población, los cuales pueden estarse viendo reflejados en la generación de residuos. Además de lo anterior, también es importante tener en cuenta el efecto de las campañas que a nivel mundial y local se han generados frente a la importancia de la disminución de los residuos y el aumento en la cantidad de materiales aprovechados que son reportados en el portal SUI de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

El valor de PPC hallado para el 2023 presenta una disminución respecto de los valores estimados para los años 2011 y 2018, además de lo cual muestra un valor inferior a los rangos de PPC establecidos en el RAS para un nivel de complejidad alto acorde al tamaño de la población de Medellín; sin embargo, es importante exponer que la mayoría de suscriptores residenciales del servicio público de aseo en su mayoría pertenecen a los estratos 2 y 3, lo que se relaciona con valores promedio de PPC menores, según lo definido en la Guía RAS 001 (Definición del nivel de complejidad) y Título F del RAS.

En general puede decirse que la PPC encontrada para los estratos socioeconómicos más bajos es inferior a la de los estratos altos y esta diferencia puede ser explicada por el hecho de que los hábitos de consumo están determinados en gran medida por el poder adquisitivo de los generadores de residuos sólidos y sus hábitos de consumo.

Haciendo un análisis histórico de la PPC en el sector residencial de Medellín, se encuentra que de 2006 a 2023, los estratos socioeconómicos 1 y 2 han presentado una tendencia al aumento en la PPC con el paso del tiempo, mientras que el estrato 3 ha presentado una tendencia sostenida de su valor en el tiempo; caso contrario sucede en los estratos 4, 5 y 6, los cuales en los últimos años han venido mostrando una tendencia a la baja.



En la composición porcentual ponderada del sector residencial de Medellín, se tiene preponderancia de la generación de residuos orgánicos (56,62%), seguidos por los residuos reciclables (28,93%), los residuos no aprovechables (13,17%) y la categoría otros (1,29%) que acoge residuos especiales, peligrosos y posconsumo; lo que pone en evidencia que el 85,55% de los residuos generados por el sector residencial puede ser objeto de aprovechamiento y/o tratamiento en lugar de llevarse a disposición final.

Aunque los residuos orgánicos constituyen la categoría de los más generados por el sector residencial de Medellín, actualmente no se cuenta con alternativas de tratamiento en el marco del servicio público de aseo, por lo que a pesar de se potencial de tratamiento, están siendo dispuestos en el relleno sanitario La Pradera, lo que genera impactos negativos por contaminación del suelo, el agua y el aire.

Para todos los estratos socioeconómicos la mayor fracción generada corresponde a residuos orgánicos, presentando aumentos a medida que sube el estrato socioeconómico y esto se debe a la presencia de zonas verdes en los estratos altos, generando residuos de hojarasca, follaje y corte de césped de áreas residenciales privadas. Para los residuos reciclables también se observó una tendencia creciente a mayor estrato socioeconómico; no obstante, en el caso de los residuos no aprovechables se presentó una disminución de estos para los estratos socioeconómicos más altos de la ciudad.

Los residuos sólidos reciclables en la composición porcentual ponderada representan el 28,93%, de los cuales el plástico presenta mayor generación en la ciudad con 10,99% y cuyos mayores exponentes son materiales como PET transparente (2,57%), PEAD rígido (1,65%), PEBD flexible (1,50%) y PEAD flexible (1,17%), todos con posibilidad de comercialización y aprovechamiento en la ciudad. Luego de los plásticos en la composición física porcentual se encuentran materiales como vidrio (5,67%), cartón (4,16%), papel (2,62%) y textiles (2,36%), los cuales, por su mezcla con residuos orgánicos y no aprovechables, pierden su potencialidad de aprovechamiento y se llevan a disposición final en lugar de reincorporarse a los procesos productivos.

El potencial de aprovechamiento de residuos orgánicos para el distrito es del 56,62% y de residuos reciclables es del 28,93% del total generado, sumando en conjunto un 85,55% de potencial de aprovechamiento total, teniendo en cuenta que este valor teórico corresponde al aprovechamiento máximo que se lograría con una eficiencia en el 100% de la separación en la fuente. Con estos porcentajes puede estimarse que en la actualidad se llevan a disposición final 40.171 toneladas anuales de materiales reciclables y 189.403 toneladas anuales de residuos orgánicos susceptibles de aprovechamiento y/o tratamiento.



Al comparar el porcentaje de separación encontrado durante la caracterización de los residuos y teniendo en cuenta la cantidad generada por estrato socioeconómico, se estima una incorporación al aprovechamiento de 14.777 toneladas anuales de residuos reciclables provenientes del sector urbano y 4.310 toneladas anuales procedentes de los corregimientos, correspondientes a un total de 19.088 toneladas por año desviadas hacia el aprovechamiento, equivalentes al 5,7% del total generado. Esta cifra difiere de los valores de aprovechamiento reportados en el SUI, que para el año 2022 fueron de 56.937 toneladas anuales, que equivalen al 12,8% de la generación residencial de residuos sólidos. Esta diferencia puede deberse a que los participantes del estudio no entregaron la totalidad de materiales reciclables para su estudio o a posibles confusiones de los habitantes de Medellín respecto de la forma adecuada de hacer la separación en la fuente.

Aunque en una baja cantidad, se halló que el 1,29% de los residuos residenciales se constituye por materiales especiales, peligrosos o posconsumo, por lo que se requiere un manejo diferenciado y la implementación de estrategias para su correcta gestión.

Todas las muestras del sector residencial presentaron valores de pH entre 4 y 9, lo cual es importante considerar teniendo en cuenta que los residuos que presentan un pH alejado a 7, limitan el crecimiento de los microorganismos, lo que eventualmente puede afectar la descomposición de los residuos y limitar sus posibilidades de tratamiento. Las bacterias, por ejemplo, son microorganismos que crecen en ambientes donde se presente un pH entre 6 y 7,5, mientras que los hongos pueden tolerar rangos de pH entre 5 y 8 para su desarrollo.

La humedad promedio se encontró en el 63%, lo cual se considera un valor normal dado que según la teoría este valor puede oscilar entre el 35 y 65%, llegando a extremos máximos en muestras con altos contenidos de materia orgánica. Dado que algunos métodos de tratamiento de residuos orgánicos funcionan de forma óptima en rangos de humedad del 45 al 55%, el valor promedio del sector residencial resulta elevado, lo cual se asocia a la proliferación de microorganismos como mohos y levaduras, las cuales fueron halladas en el 87% de las muestras analizadas.

El poder calorífico inferior estimado para Medellín mediante métodos analíticos reporta valores en el rango entre 1.000 Kcal/Kg y 1.500 Kcal/Kg, por lo que se pueden implementar procesos de incineración siempre y cuando se realice un pretratamiento para bajar los niveles de humedad, lo cual implicaría mayores costos de operación. Por esta razón, es imprescindible la separación en la fuente, con la finalidad de remover la fracción orgánica que eleva los valores de humedad y previene la presencia de sustancias peligrosas que dificultan los procesos de tratamiento térmico de los residuos.



Es posible considerar una combinación de tecnologías para el aprovechamiento y/o tratamiento de las diferentes corrientes de residuos generados, para lo cual es necesario complementar los resultados del presente estudio con las respectivas evaluaciones financieras, sociales y ambientales que definan las mejores alternativas a implementar, además de fortalecer los procesos existentes de aprovechamiento y de separación en la fuente de manera que se facilite la gestión de cada corriente de residuos de manera independiente.

Comparando la cifra de residuos generados en el sector residencial, con las cifras anuales de disposición final reportadas por EMVARIAS SA ESP, se evidencia que el 57% de los residuos dispuestos proceden del sector residencial de Medellín, mientras que el resto corresponde a generadores no residenciales y actividades de barrido y limpieza urbana.

La composición de los residuos en el Relleno Sanitario La Pradera presenta predominancia en material orgánico, seguido de plástico y tela. Dicha composición no presenta mayores variaciones a través de los años. Esto indica que aún se presenta un amplio margen de mejora en el aprovechamiento de residuos sólidos en los municipios que disponen sus residuos en el relleno sanitario La Pradera incluyendo Medellín.



16 RECOMENDACIONES

Dado el potencial de aprovechamiento y/o tratamiento de residuos generados por el sector residencial de Medellín, se recomienda fortalecer los procesos existentes de separación en la fuente de manera que se facilite la gestión de cada corriente de residuos de manera independiente.

Es importante la implementación de estrategias de consumo responsable para prevenir la generación de residuos sólidos. También se debe promover la separación en la fuente de los residuos para lograr su adecuada gestión, por lo que resulta indispensable el fortalecimiento de las estrategias que fomenten y afiancen conceptos como separación en la fuente y clasificación de residuos, mediante el uso de campañas educativas, según los lineamientos y estrategias establecidas en el PGIRS de Medellín.

Dados los avances que se tienen en implementación de estrategias y normativa frente a la implementación de reciclaje a nivel nacional, se recomienda propender por el fortalecimiento de los programas establecidos en el PGIRS de Medellín.

El tratamiento de los residuos orgánicos debe ser prioritario en las estrategias de ciudad, por las altas cantidades generadas y por las dificultades que acarrea su gestión en el ámbito de la disposición final en cuanto al uso de espacio, generación de lixiviados y dificultades para su transporte; para lo cual es importante tener cuenta que la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos debe ser separada en la fuente, pues en caso contrario la normatividad colombiana restringe la aplicación en el suelo de los productos del tratamiento de residuos orgánicos y prohíbe su aplicación en usos agrícolas.

Frente a las diferentes alternativas para el aprovechamiento y/o tratamiento de los residuos sólidos, tales como compostaje, digestión anaerobia o valorización energética, se recomienda complementar los resultados del estudio de caracterización con las respectivas evaluaciones sociales, financieras y ambientales que definan las mejores alternativas a implementar.

En la búsqueda de alternativas para la gestión de los diferentes tipos de residuos, se recomienda establecer proyectos piloto sectoriales, priorizando zonas o sectores de alta generación determinadas en el presente estudio.

Así mismo, se recomienda propender por proyectos tendientes a la prevención de la generación de residuos y fortalecer los programas posconsumo y la difusión de estos a la comunidad.



Con el fin de conocer resultados frente a las posibles alternativas a implementar con la implementación de procesos de separación en la fuente, se recomienda que, en adelante, los análisis de laboratorio se realicen de manera diferenciada para las diferentes fracciones de los residuos sólidos urbanos y se incluya el análisis de metales pesados para complementar los resultados sobre la peligrosidad de los residuos objeto de estudio.



17 BIBLIOGRAFÍA

Alcaldía de Medellín. (2023). *Proyecciones de población 2018 - 2030*. Distrito Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación de Medellín.

Ali Khan, M., & Abu Ghararah, Z. (1991). New Approach of Estimating Energy Content of Municipal Solid Waste. *Journal of Environmental Engineering*.

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))

CEPAL. (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios*. Santiago de Chile: Publicación de las Naciones Unidas.

Chávez, C. (2016). CUANTIFICACIÓN DEL PORCENTAJE DE HUMEDAD Y CENIZAS CONTENIDOS EN LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS DE LA PARROQUIA DE LIMONCOCHA.

Departamento Nacional de Planeación; Consejo Nacional de Política Económica y Social. (2016). *Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Bogotá.

Doménech, X. (1995). *Química del Suelo. El Impacto de los Contaminantes*. Madrid: Miraguano S.A ediciones.

Emvarias SA ESP. (19 de 07 de 2023). *Horarios y frecuencias de recolección de residuos no aprovechables*. Obtenido de <https://emvarias.maps.arcgis.com/apps/Styler/index.html?appid=773d0aa132ca430ea02af1f6285345a1>

KUNITOSHI, S. (1998). *Método Sencillo de Análisis de los Residuos Sólidos*. . Lima: CEPIS-OPS.



KUNITOSHI, S. G. (1998). *Método Sencillo de Análisis de los Residuos Sólidos*. Lima: CEPIS - OPS.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015). *Decreto 1077*. Bogotá.

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2018). *RAS Título F - Sistemas de Aseo Urbano*. Bogotá D.C.

Parra, M., Durango, J., & Mattar, S. (2002). Microbiología, patogénesis, epidemiología, clínica y diagnóstico de las infecciones producidas por Salmonella. *Revista MVZ Córdoba*, 187-200.

PNUD, FAO, & Gobierno Chile. (2011). *Manual de biogás*. Santiago de Chile.

Sukru, A., & Ayanoglu, A. (212). Determination of higher heating values of biomass fuels. *Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research*, 749-758.

Universidad de Medellín. (2011). *Estudio de producción y caracterización de residuos sólidos generados en el sector residencial y por estrato socioeconómico de la ciudad de medellín y sus cinco corregimientos*. Medellín.