



***Actividad 3: Análisis de alternativas del sistema de tratamiento de
residuos sólidos orgánicos y selección de la más viable (Recolección,
transporte y tratamiento)
Plan de Trabajo***

**“ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE UN
SISTEMA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS
ORGÁNICOS EN EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO”**

Contrato No. No. 20240973



Marzo 2026



Contenido

1.	RESUMEN EJECUTIVO.....	12
1.1.	Objetivos del estudio	12
1.2.	Alcance y escenarios evaluados	12
1.3.	Resultados principales y recomendaciones	13
2.	LISTA DE ABREVIATURAS.....	14
3.	INTRODUCCIÓN	16
3.1.	Objetivos del estudio y alcance.....	16
3.2.	Contexto del municipio de Sogamoso.....	16
3.2.1.	Diagnóstico de la gestión actual.....	16
3.2.2.	Impactos ambientales y oportunidades perdidas	17
3.2.3.	Estrategias y propuestas oficiales	18
3.2.4.	Dificultades y retos actuales.....	19
3.3.	Normativa aplicable	20
3.3.1.	De orden Nacional.....	20
3.3.2.	De orden local	22
4.	DIAGNÓSTICO ACTUAL.....	23
4.1.	Caracterización del servicio actual	23
4.2.	Volúmenes y características de los residuos.....	24
4.3.	Análisis institucional y del operador actual.....	25
4.4.	Infraestructura existente.....	27
4.5.	Actores clave	27
4.5.1.	Proveedor Principal del Servicio.....	27
4.5.2.	Generadores de Residuos.....	28
4.5.3.	Sector de Reciclaje y Aprovechamiento	28
5.	PROYECCIÓN DE LA GENERACIÓN (2025–2052)	29
5.1.	Planteamiento inicial.....	29
5.2.	Población inicial.....	29
5.3.	Proyección poblacional	33
5.3.1.	Metodología de Proyección	34
5.3.2.	Selección del método de ajuste más representativo	37
5.3.3.	Consideración de población flotante	39
5.4.	Proyección de generación de RSO.....	41



5.4.1.	Cobertura del servicio y población efectiva	41
5.4.2.	Generación de RSM y producción per cápita (periodo 2025-2052).....	44
6.	ESCENARIOS DE GESTIÓN ANALIZADOS.....	48
6.1.	Identificación de usuarios residenciales, comerciales, institucionales e industriales potenciales a considerar	48
6.1.1.	Usuarios residenciales.....	48
6.1.2.	Generadores comerciales e institucionales	50
6.1.2.2.	Usuarios institucionales	53
6.1.3.	Generadores industriales y su relevancia en el sistema	54
6.2.	Recolección y transporte. Diseño preliminar de rutas.....	54
6.3.	Escenario 0: Modelo actual de recolección mixta.....	58
6.3.1.	Planificación del servicio de recolección y transporte de RSM.....	61
6.4.	Escenario 1: Recolección Selectiva Limitada (grandes productores)	65
6.4.1.	Proyección de generación de residuos.....	65
6.4.2.	Planificación del servicio de recolección y transporte	67
6.4.3.	Tratamiento de los orgánicos separados	71
6.4.4.	Destino del residuo mezclado remanente	72
6.4.5.	Beneficios y alcance operativo	73
6.4.6.	Limitaciones e impactos asociados	74
6.5.	Escenario 2: Implementación Progresiva Escalonada	75
6.5.1.	Proyección de generación de residuos.....	76
6.5.2.	Planificación del servicio de recolección y transporte	78
6.5.3.	Tratamiento de los Orgánicos Separados	83
6.5.4.	Destino del residuo mezclado remanente	84
6.5.5.	Beneficios y alcance operativo	85
6.5.6.	Limitaciones e impactos asociados	86
6.6.	Escenario 3: Recolección Selectiva Generalizada en la Fuente.....	89
6.6.1.	Proyección de generación de residuos.....	89
6.6.2.	Planificación del servicio de recolección y transporte	92
6.6.3.	Tratamiento de los orgánicos separados	96
6.6.4.	Destino del residuo mezclado remanente	98
6.6.5.	Beneficios y alcance operativo	100
6.6.6.	Limitaciones e impactos asociados	101
7.	TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN	104
7.1.	Tecnologías de tratamiento	105



7.1.1.	Tratamiento mecánico	105
7.1.2.	Tratamiento biológico	107
7.1.3.	Biometanización (Digestión Anaerobia)	108
7.2.	Tecnologías de eliminación	110
7.2.1.	Gasificación	110
7.2.2.	Incineración con recuperación de energía (WtE)	112
7.2.3.	Depósito cenizas procesos térmicos	113
7.2.4.	Producción de CSR.....	114
8.	Productos resultantes de los diferentes tratamientos	116
8.1.	Estudio de mercado para bioestabilizado categoría B	116
8.1.1.	Introducción y posicionamiento de uso	116
8.1.2.	Contexto local y rango de dosis/volúmenes	116
8.1.3.	Requisitos del producto y calidad/inocuidad	117
8.1.4.	Marco regulatorio operativo	117
8.1.5.	Mercado y perfiles de comprador	117
8.1.6.	Precios de referencia y forma de contratación	117
8.1.7.	Oferta técnica y presentaciones.....	118
8.1.8.	Estrategia comercial	118
8.1.9.	Riesgos y mitigaciones.....	119
8.2.	Estudio de Mercado Consolidado: Compost producido a partir de residuos orgánicos separados en la fuente (Sogamoso, Boyacá)	119
8.2.1.	Base agrícola y demanda en Boyacá	119
8.2.2.	Tasas de uso y dosificación (estimaciones)	119
8.2.3.	Relación con fertilización mineral (ejemplo de cálculo)	120
8.2.4.	Calidad y regulación (ICA/NTC 5167)	120
8.2.5.	Referencias de precio y posicionamiento comercial.....	120
8.2.6.	Portafolio y usos recomendados.....	120
8.2.7.	Canales, adopción y demostración.....	121
8.2.8.	Dimensionamiento, riesgos y pasos inmediatos	121
8.3.	Estudio de Mercado: Combustibles sólidos recuperados producidos a partir de residuos sólidos urbanos (Sogamoso, Boyacá)	122
8.3.1.	Contexto y definiciones operativas	122
8.3.2.	Tipologías y criterios técnicos	122
8.3.3.	Obtención desde RSM y rendimientos	124
8.3.4.	Sustitución térmica en Boyacá y dimensionamiento	124



8.3.5.	Costos de referencia y paridad energética.....	125
8.3.6.	Actores y capacidades en Colombia	126
8.4.	Estudio de mercado: Generación de energía eléctrica a partir de digestión anaerobia (DA)	126
8.4.1.	Contexto y alcance	126
8.4.2.	Mercado y estructura eléctrica (ventas, contratos y precios)	127
8.4.3.	Enfoque local: Sogamoso y Boyacá	127
8.4.4.	Costos, rendimientos e ingresos (lectura práctica).....	127
8.4.5.	Incentivos y fiscalidad aplicable	127
8.4.6.	Potencial y riesgos específicos	128
8.4.7.	Inventario y lecciones de proyectos de digestión anaerobia.....	128
8.4.8.	Conclusiones y hoja de ruta para Sogamoso.....	128
9.	DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS	129
9.1.	Alternativa A.....	130
9.2.	Alternativa B.....	132
9.3.	Alternativa C.....	134
9.4.	Alternativa D.....	136
9.5.	Alternativa E	138
9.6.	Alternativa F	139
9.7.	Comparación de las alternativas de gestión de residuos sólidos municipales	141
10.	PRESELECCIÓN DE ALTERNATIVAS A ANALIZAR	142
10.1.	Alternativa B: Gasificación.....	142
10.2.	Alternativa C: Incineración (Waste-to-Energy).....	145
10.3.	Tecnologías preseleccionadas.	146
11.	MARCO GENERAL DE DISEÑO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS	147
11.1.	Planta de tratamiento mecánico (TM).	148
11.1.1.	Obra civil e infraestructuras generales	149
11.1.2.	Maquinaria de proceso	151
11.1.3.	Maquinaria de explotación	154
11.2.	Planta de tratamiento biológico.....	157
11.2.1.	Obra civil e infraestructuras generales	158
11.2.2.	Maquinaria de proceso	159
11.2.3.	Maquinaria de explotación	160
11.3.	Planta de digestión anaerobia.....	162
11.3.1.	Obra civil e infraestructuras generales	163



11.3.2.	Maquinaria de proceso	164
11.3.3.	Maquinaria de explotación	165
11.4.	Planta de producción de CSR.....	166
11.4.1.	Obra civil e infraestructuras generales	166
11.4.2.	Maquinaria de proceso	167
11.4.3.	Maquinaria de explotación	169
12.	METODOLOGÍA DE SELECCIÓN DE MEJOR ALTERNATIVA.....	169
12.1.	Definición de criterios de selección.....	170
12.1.1.	Criterios Económicos.....	170
12.1.2.	Criterios Ambientales	171
12.1.3.	Criterios Territoriales.....	171
12.2.	Análisis Económico	171
12.2.1.	Metodología para el análisis económico.....	172
12.2.2.	Fundamentación de caudales y capacidades de diseño	186
12.2.3.	Resultados análisis económico.....	198
12.3.	Análisis Ambiental	203
12.3.1.	Introducción al ACV	203
12.3.2.	Marco normativo y metodológico.....	204
12.3.3.	Fases del ACV según ISO.....	205
12.3.4.	Metodologías y herramientas de evaluación	207
12.3.5.	Diseño del estudio y construcción de escenarios	214
12.3.6.	Resultados y discusión.....	219
12.3.7.	Huella de carbono del sistema recolección–tratamiento	239
12.4.	Análisis Territorial.....	244
12.4.1.	Metodología	245
12.4.2.	Análisis multicriterio.....	255
12.4.3.	Metodología de la encuesta	259
13.	ANÁLISIS TARIFARIO	274
13.1.	Metodología tarifaria según Resolución CRA 720/2015	274
13.2.	Costos eficientes y estructura tarifaria	274
13.3.	Impactos	276
14.	ANÁLISIS JURÍDICO E INSTITUCIONAL	279
14.1.	Antecedentes.....	279
14.2.	Análisis Institucional	280
14.3.	Observancia Normativa: Servicios Públicos domiciliarios y ambiental	281



14.4.	ASPECTOS A CALIFICAR EN LA ADOPCIÓN DE DECISIONES	288
14.4.1.	Adicionalidad para la eficiencia	288
14.4.2.	Reglamentación sectorial en el contexto del servicio público domiciliario de aseo	289
14.4.3.	Modificación de mutuo acuerdo.	290
14.4.4.	Análisis ambiental	292
15.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	293
15.1.	Alternativa de tratamiento recomendada	293
15.2.	Resultados principales y recomendaciones	294
15.3.	Justificación del proyecto	295
15.4.	Hoja de ruta para siguiente fase (factibilidad, estructuración)	296
16.	REFERENCIAS	298
17.	ANEXOS	298
17.1.	Anexo 1 Base de datos 2025	299
17.2.	Anexo 2 Encuestas realizadas	343

ÍNDICE DE TABLAS:

Tabla 1. Suscriptores servicio de aseo de la Ciudad de Sogamoso.	30
Tabla 2. Personas por hogar según DANE	30
Tabla 3. Estimación población 2024 a partir del número de suscriptores.	31
Tabla 4. Estimaciones Periodo 2020-2035 postCOVID (DANE).	31
Tabla 5. Estimaciones de población periodo 1995-2019 y actualización periodo 2020-2035 postCOVID (DANE).....	35
Tabla 6. Estimación de la población para el municipio de Sogamoso para el periodo 2036-2052.	37
Tabla 7. Población final y población flotante para el periodo proyectado (2025-2052)	40
Tabla 8. Datos correspondientes al residuo depositado en los rellenos sanitarios Terrazas del Porvenir y Pírgua, procedentes del municipio de Sogamoso para el periodo 2019-2024 (COSERVICIOS. S.A.E.S.P.).....	41
Tabla 9. Estimación de la población disgregada por clase geográfica para el periodo 2036-2052.	42
Tabla 10. Población disgregada total incluyendo población flotante.	43
Tabla 11. Población disgregada y total atendida en el municipio de Sogamoso.	44
Tabla 12. Generación de RSM y de Producción Per Cápita para el municipio de Sogamoso en el periodo 2019-2024.....	45
Tabla 13. Proyección de generación de residuos sólidos y de Producción Per Cápita para el área urbana del municipio de Sogamoso en un horizonte de 12 años. PGIRS 2016-2027.	46
Tabla 14. Proyección de generación de residuos sólidos y de Producción Per Cápita para el municipio de Sogamoso.	47
Tabla 15. Suscriptores servicio de aseo de la Ciudad de Sogamoso (2025).....	48



Tabla 16. Composición de residuos y fracciones por estrato.	49
Tabla 17. Rutas actuales.....	55
Tabla 18. Características flota vehículos compactadores.	55
Tabla 19: Resumen de las rutas actuales del servicio.	57
Tabla 20: Cantidad de establecimientos.	57
Tabla 21: Establecimientos potenciales	58
Tabla 22. Rutas del Escenario 0.....	61
Tabla 23: Medios materiales necesarios para prestar el servicio de recolección y transporte del Escenario 0.	62
Tabla 24: Medios humanos necesarios para prestar el servicio de recolección y transporte del Escenario 0.	62
Tabla 25: Planificación del servicio de recolección y transporte de residuos del escenario 0. ..	64
Tabla 26. Proyección de generación de residuos para el escenario 1. Recolección selectiva limitada Grandes Productores (GP).	66
Tabla 27: Medios materiales necesarios para prestar el servicio de recolección y transporte del Escenario 1.	68
Tabla 28. Rutas del Escenario 1.....	68
Tabla 29: Medios humanos necesarios para prestar el servicio de recolección y transporte del Escenario 1.	69
Tabla 30: Planificación del servicio de recolección y transporte de residuos del escenario 1. ..	70
Tabla 31. Escenarios pesimista, realista y optimista correspondiente a la fase 2 del escenario 2.	77
Tabla 32: Medios materiales necesarios para prestar el servicio de recolección y transporte del Escenario 2.	79
Tabla 33. Rutas del Escenario 2.....	80
Tabla 34: Medios humanos necesarios para prestar el servicio de recolección y transporte del Escenario 2.	81
Tabla 35: Planificación del servicio de recolección y transporte de residuos del escenario 2. ..	82
Tabla 36. Proyección de residuos anuales (total generados, orgánicos separados y residuos mezclados) según escenarios de participación pesimista, realista y optimista (2025–2052)	90
Tabla 37. Cantidad de residuo orgánico aprovechable estimado.....	91
Tabla 38. Comparativa del residuo orgánico aprovechable con la recolección proyectada según los diferentes sub-escenarios analizados (pesimista, realista y optimista).	92
Tabla 39: Medios materiales necesarios para prestar el servicio de recolección y transporte del Escenario 3.	93
Tabla 40. Rutas del Escenario 3.....	93
Tabla 41: Medios humanos necesarios para prestar el servicio de recolección y transporte del Escenario 3.	94
Tabla 42: Planificación del servicio de recolección y transporte de residuos del escenario 3. ..	95
Tabla 43. Generación de residuo mezclado por subescenario y porcentaje de reducción comparado con Escenario 0.	98
Tabla 44. Tipos de RDF, rangos de PCI y aplicaciones en cementeras.	123
Tabla 45. Demanda estimada de CDR por 1 Millón de toneladas de clínker	124
Tabla 46. Comparativa RDF vs Carbón (UPME 2025 – \$234.762,20 COP/TONon)	125
Tabla 47. Productores/operadores de CDR en Colombia.	126
Tabla 48. Procesos considerados para las diferentes alternativas.	129
Tabla 49: Relación entre escenarios y alternativas.....	130



Tabla 50. Alternativas seleccionadas	146
Tabla 51: Herramientas de decisión utilizadas y aplicación a criterios de selección.	170
Tabla 52. Asignación de personal por línea de tratamiento.	175
Tabla 53. Rendimientos y caudales (capacidades nominales de diseño).	190
Tabla 54. Desglose de costes de inversión de planta de tratamiento mecánico (TM).	192
Tabla 55. Desglose de costes de inversión de planta de tratamiento biológico (TB).	193
Tabla 56. Desglose de costes de inversión de planta de digestión anaerobia (DA).....	194
Tabla 57. Desglose de costes de inversión de planta de producción de CSR (CSR).	195
Tabla 58. Relación de costes de los procesos que integran las alternativas consideradas.	199
Tabla 59. Relación de ingresos de los procesos que integran las alternativas consideradas. ..	200
Tabla 60. Relación de costes de recolección y transporte por escenario considerado.	201
Tabla 61. Canon de cada escenario-alternativa analizados.	201
Tabla 62. Factores de caracterización del Potencial de Calentamiento Global (GWP) a 100 años según IPCC 2007, IPCC AR6 (2021) e INGEI Colombia (1990–2021).	213
Tabla 63. Cuantificación de los impactos ambientales por proceso unitario, por cada tonelada de residuo tratada	221
Tabla 64. Composición de Alternativas con procesos de tratamiento. Elaboración propia.	230
Tabla 65. Definición de alternativas de tratamiento consideradas en el estudio. Elaboración propia.	230
Tabla 66. Cuantificación de los impactos ambientales por alternativa, por cada tonelada de residuo tratada	231
Tabla 67. Emisiones de la recolección por escenario.....	242
Tabla 68. Emisiones calculadas de los escenarios, alternativas y combinaciones escenario– alternativa expresadas en valores absolutos anuales y específicos por tonelada.....	243
Tabla 69 Matriz de comparación de criterios territoriales	248
Tabla 70 Cálculo de la Relación de Consistencia.....	249
Tabla 71 Matriz de evaluación de criterios territoriales	249
Tabla 72 Resumen de Valoración de Criterios territoriales	255
Tabla 73. Matriz de Importancias Relativa.....	256
Tabla 74 Cálculo de pesos de Alternativas.....	258
Tabla 75. Estimación del impacto por aumento del costo de tratamiento y en la tarifa al usuario, CON venta de subproductos.	278
Tabla 76. Estimación del impacto por aumento del costo de tratamiento y en la tarifa al usuario, SIN venta de subproductos.	278

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 1. Comparativa gráfica datos históricos (en negrita) con proyecciones método aritmético, geométrico y promedio.	38
Imagen 2. Tasa de crecimiento para el periodo 1995-2035	39
Imagen 3. Promedio global de generación de residuos por fracciones.	50
Imagen 4. Generación de residuo por fracciones (Restaurantes).....	51
Imagen 5. Generación de residuo por fracciones (FRUVERS o supermercados).	51
Imagen 6. Generación de residuo por fracciones (Centros comerciales).	52
Imagen 7. Generación de residuos por fracción orgánica e inorgánica (usuarios institucionales).	53



Imagen 8. Acumulación proyectada de RSM a disposición final en el relleno sanitario (2027–2052).	60
Imagen 9. Proyección de la cantidad de residuos orgánicos separados en la fuente para el Escenario 2, bajo tres supuestos de tasa de adopción: Pesimista, Realista y Optimista.	78
Imagen 10. Esquema del proceso de biometanización.....	109
Imagen 11. Proceso de gasificación.	111
Imagen 12. Planta de tratamiento mecánico-biológico.....	131
Imagen 13. Planta de tratamiento mecánico, gasificación y gestión de cenizas por parte de gestor autorizado	133
Imagen 14. Planta de tratamiento mecánico, incineración con recuperación de energía y gestión de cenizas por parte de gestor autorizado	135
Imagen 15. Planta de tratamiento mecánico-biológico y planta de producción de CSR.	136
Imagen 16. Planta de tratamiento mecánico-biológico y digestión anaerobia (biometanización).	139
Imagen 17. Interior planta tratamiento mecánico (TM).....	148
Imagen 18. Interior foso descarga residuos.....	150
Imagen 19. Bascula y caseta de control.	150
Imagen 20. Tromel de cribado.	151
Imagen 21. Interior cabina de triaje.....	152
Imagen 22. Interior de una planta de tratamiento mecánico (cintas transportadoras).....	152
Imagen 23. Prensa embaladora.	153
Imagen 24. Sistema de aspiración y filtración.....	153
Imagen 25. Manipulador telescópico.....	154
Imagen 26. Cargadora sobre ruedas.	155
Imagen 27. Carretilla elevadora.	155
Imagen 28. Miniexcavadora con martillo.....	156
Imagen 29. Camión ligero de caja abierta.....	156
Imagen 30. Taller móvil (interior).	157
Imagen 31. Interior planta de compostaje (pilas alargadas de residuo orgánico en tratamiento y puente grúa automatizado)	157
Imagen 32. Planta de tratamiento de lixiviados.	160
Imagen 33. Vehículo auxiliar	161
Imagen 34. Volteadora de compost.....	162
Imagen 35. Planta de digestión anaerobia.....	162
Imagen 36. Digestores y tanques de almacenamiento.....	164
Imagen 37. Antorcha de biogás.....	165
Imagen 38. Triturador.	167
Imagen 39. Equipo de separación de gran tamaño con tolvas inclinadas, conductos de aspiración y plataformas de acceso.....	168
Imagen 40. Prensa embaladora.	168
Imagen 41. Propuesta metodológica para selección de mejor alternativa.	170
Imagen 42. Diagrama de flujo correspondiente al Tratamiento mecánico (TM).....	187
Imagen 43. Diagrama de flujo correspondiente al Tratamiento biológico (TB).....	188
Imagen 44. Diagrama de flujo correspondiente a la producción de CSR.....	189
Imagen 45. Diagrama de flujo correspondiente a la Digestión Anaerobia (DA).	190
Imagen 46. Costos, Ingresos y Canon de las alternativas analizadas.....	202
Imagen 47. Jerarquía de alternativas resultante del análisis económico basado en el canon.	202



Imagen 48 Esquema del proceso AHP a criterios territoriales.....	245
Imagen 49 Ponderación de criterios territoriales, método AHP.....	247
Imagen 50 Ponderación de subcriterios bajo criterios territoriales	253
Imagen 51 Resultados del cálculo – Jerarquización	259
Imagen 52. Curva de tarifa techo para el costo de DF, según modelos de Resolución 720 de 2015, actualizada a costos 2025	276

ÍNDICE DE ECUACIÓN

Ecuación 1. Población efectiva atendida.....	42
Ecuación 2: Fórmula abreviada de cálculo del canon.	172
Ecuación 3. Desarrollo de ecuación de canon en procesos de tratamiento de cada alternativa.	172
Ecuación 4. Fórmula de cálculo de costes de cada proceso de tratamiento.	173
Ecuación 5. Fórmula de cálculo de costes de inversión de cada proceso de tratamiento.	173
Ecuación 6. Fórmula de cálculo de costes de explotación de cada proceso de tratamiento.	174
Ecuación 7. Fórmula de cálculo de costes de personal de cada proceso de tratamiento.	175
Ecuación 8. Fórmula de cálculo de costes de mantenimiento y conservación de maquinaria de cada proceso de tratamiento.....	177
Ecuación 9. Fórmula de cálculo de costes de gestión de cada proceso de tratamiento.	178
Ecuación 10. Fórmula de cálculo de costes financieros de cada proceso de tratamiento.	179
Ecuación 11. Fórmula de cálculo de costes de estructura de cada proceso de tratamiento.	180
Ecuación 12. Fórmula de cálculo de los costes de cada proceso.....	181
Ecuación 13. Fórmula de cálculo de ingresos de cada alternativa.	182
Ecuación 14. Fórmula de cálculo de ingresos por procesos de tratamiento	182
Ecuación 15. Fórmula de cálculo de ingresos por venta de material recuperable.....	182
Ecuación 16. Fórmula de cálculo de ingresos por venta de subproductos.....	183
Ecuación 17. Fórmula de cálculo de ingresos por venta de energía producida en cada proceso.	183
Ecuación 18. Fórmula de cálculo de los ingresos de cada alternativa.	184
Ecuación 19. Fórmula desarrollada de cálculo del canon de cada alternativa.	184
Ecuación 20. Fórmula de cálculo de costes de recolección y transporte de cada escenario....	185
Ecuación 21. Fórmula de cálculo de costes de ejecución material para cada escenario.....	185
Ecuación 23. Potencial de generación de energía eléctrica a partir de digestión anaerobia ...	196



1. RESUMEN EJECUTIVO

1.1. Objetivos del estudio

Este apartado (Actividad 3) desarrolla, en fase de prefactibilidad, el análisis comparativo de alternativas para la recolección, transporte y tratamiento de la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales de Sogamoso. El objetivo es identificar la solución técnicamente viable y económicamente racional que reduzca la disposición final en relleno, sea compatible con la normativa vigente y con el contexto territorial, y maximice la valorización de materiales y energía. El indicador económico principal de decisión es el canon por tonelada (costes de inversión y operación menos ingresos por valorización).

1.2. Alcance y escenarios evaluados

El estudio abarca **múltiples esquemas de recolección** (con énfasis en separación en la fuente y arranque por grandes generadores y zonas piloto), la logística de transporte y la evaluación técnico-económica, ambiental, social y regulatoria de seis alternativas tecnológicas: tratamiento mecánico y compostaje municipal (TM+TB), digestión anaerobia (DA), producción de combustibles sólidos recuperados (CSR) y tratamientos térmicos (incineración y gasificación).

La comparación integra:

- **Análisis económico-financiero** para el cálculo del canon (CAPEX/OPEX e ingresos por materiales y energía),
- **Análisis de Ciclo de Vida (ACV)** con huella de carbono
- **Valuación territorial y social** mediante AHP, y
- **Verificación regulatoria.**

La lectura conjunta de estos bloques permite jerarquizar las alternativas con criterios consistentes y comparables.

El estudio completo, en sus dimensiones técnica, económica, ambiental y regulatoria, se desarrolla en fase de prefactibilidad, y se apoya en estimaciones elaboradas a partir de la información disponible, los parámetros técnicos de referencia y la normativa vigente aplicable. Su finalidad es ofrecer una visión integrada, comparativa y realista de las distintas opciones de gestión, constituyendo una herramienta de planificación y apoyo a la toma de decisiones.

El dimensionamiento de las instalaciones y los balances de masa y energía se han definido bajo un criterio conservador y de seguridad, evitando subdimensionamientos que pudieran comprometer la operatividad del sistema o la fiabilidad de los resultados. Las capacidades nominales de diseño se han fijado con un margen técnico suficiente para absorber variaciones en la generación de residuos, estacionalidades y posibles cambios en los hábitos de separación en la fuente. Este planteamiento metodológico asegura la comparabilidad entre alternativas tecnológicas, al aplicar un mismo punto de partida, porcentajes de rendimiento uniformes y una base de cálculo coherente.



En la práctica operativa, es previsible que los caudales efectivamente tratados en planta difieran de los proyectados, debido a variaciones estacionales, a la mejora progresiva en la separación en la fuente o a ajustes derivados de la operación real. Estas diferencias implican, habitualmente, menores consumos y costes variables. Sin embargo, el modelo mantiene las capacidades nominales y los rendimientos de referencia como parámetros fijos de diseño, definidos conforme a criterios de ingeniería y buenas prácticas del sector. Esta decisión responde a un enfoque metodológico riguroso y prudente, que busca garantizar la consistencia técnica, económica y ambiental del análisis, evitando subdimensionamientos y asegurando la fiabilidad y trazabilidad de los resultados en un marco de prefactibilidad.

En síntesis, el estudio ofrece una estimación sólida, coherente y verificable del comportamiento técnico, económico y ambiental de las alternativas evaluadas. Su valor radica en servir como instrumento de planificación estratégica y apoyo a la gestión pública, orientado a optimizar la toma de decisiones en materia de inversión, sostenibilidad y transición hacia un modelo de economía circular bajo principios de responsabilidad técnica y financiera.

1.3. Resultados principales y recomendaciones

Las tecnologías térmicas (incineración y gasificación) se descartan en esta fase por su alto costo relativo y baja adecuación al contexto local actual. Las opciones de DA y CSR son técnicamente viables, pero su sostenibilidad económica depende de mayores escalas y de mercados de salida más consolidados; no se excluyen, sino que se plantean como evoluciones futuras del sistema cuando se cumplan dichas condiciones.

En contraste, la Alternativa A (Planta de tratamiento mecánico-biológico orientada a compostaje municipal (TM+TB) presenta el mejor desempeño global:

- Viabilidad técnica probada y bajo riesgo operativo.
- Canon inferior frente a opciones más complejas, por costos de inversión y operación contenidos y ingresos trazables por materiales y energía.
- Mejor perfil ambiental (reducción de disposición y aprovechamiento de orgánicos).
- Compatibilidad normativa y social, alineada con economía circular y con mayor aceptación ciudadana.
- Potencial de mercado para el compost en agricultura y restauración de suelos en Boyacá.

Recomendación. *Implementar la Alternativa A como solución base, acompañada de un despliegue progresivo de recolección selectiva de orgánicos (priorizando grandes generadores y zonas piloto), y preparar la estructura operativa de la empresa prestadora del servicio para la nueva etapa. En paralelo, definir hitos de ampliación que permitan incorporar CSR y/o DA cuando la escala efectiva y los acuerdos de compra de energía/materiales aseguren su viabilidad.*



2. LISTA DE ABREVIATURAS

En el presente documento se emplean diversas abreviaturas y siglas de uso común en el área técnica. Con el fin de facilitar la lectura, a continuación, se presenta una lista con su respectivo significado.

ACV: Análisis del Ciclo de Vida

AHP: Proceso Analítico Jerárquico

CA: Criterios Ambientales

CDF: Costo de Disposición Final

CDI: Centro de Desarrollo Infantil

CDR: Combustibles Líquidos Derivados de Residuos

CE: Criterios Económicos

CREG: Comisión de Regulación de Energía y Gas

CSR: Combustible Sólido Recuperado

CT: Criterios Territoriales

DA: Digestión Anaerobia

DANE: Departamento Administrativo Nacional de Estadística

EBSA: Empresa de Energía de Boyacá

ECV: Encuesta Nacional de Calidad de Vida

GEI: Gases de Efecto Invernadero

GC: Gestión de cenizas de proceso térmico

GF: Gasificación

GP: Grandes Productores

IRE: Incineración con recuperación de energía

ICV: Inventario del Ciclo de Vida

LCIA: Evaluación de Impacto del Ciclo de Vida

MOR: Materia Orgánica Recuperada

MRS: Materiales Recuperados de los Residuos

NFU: Neumáticos Fuera de Uso

PCI: Poder Calorífico Inferior

PGIRS: Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos

PPA: Power Purchase Agreement



PPC: Producción Per Cápita

RAS: Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico

RSM: Residuos Sólidos Municipales

RS: Relleno Sanitario

SPA: Servicio Público de Aseo

SSPD: Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios

TB: Tratamiento Biológico

TM: Tratamiento Mecánico

TMB: Tratamiento Mecánico Biológico

TSR: Tasa de Sustitución Térmica

UF: Unidad Funcional

UPME: Unidad de Planeación Minero-Energética

WtE: Incineración con Recuperación de Energía



3. INTRODUCCIÓN

3.1. Objetivos del estudio y alcance

En el marco del proyecto “Estudios y Diseños para la Construcción de un Sistema de Tratamiento de Residuos Sólidos Orgánicos en el Municipio de Sogamoso”, la Actividad 3 contempla el análisis de alternativas y selección de la técnicamente más viable, del sistema de tratamiento de gestión para la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales, abarcando las etapas de recolección, transporte y tratamiento, incluyendo el análisis del potencial de valorización energética de cada una de las alternativas. Este análisis se desarrolla en fase de prefactibilidad, a partir la información obtenida en las Actividades 1 y 2 del proyecto (identificación de sitio óptimo seleccionado, caracterización de los residuos sólidos y diagnóstico del servicio público domiciliario de aseo SPA).

3.2. Contexto del municipio de Sogamoso

3.2.1. Diagnóstico de la gestión actual

Según el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) del municipio de Sogamoso¹, a diciembre de 2023, la generación anual de residuos sólidos municipales (en adelante RSM) en el área urbana fue de 25.144,53 toneladas, esto equivale a una producción per cápita de residuos (PPT) de 0,683 kg/hab-día (según proyección poblacional DANE) un valor típico para ciudades intermedias del país.

La cobertura de recolección de RSM en el área urbana se sitúa en el 100%, según el informe de auditoría externa realizado por ASESORES AUDICAR E.U., a la empresa responsable de la prestación del servicio público de aseo, COSERVICIOS S.A. E.S.P., en 2024, con un sistema de recolección organizado en 3 macro rutas, que, a su vez, agrupan un total de 21 micro rutas. De estas, 18 micro rutas cuentan con una frecuencia de recolección de dos veces por semana, mientras que las 3 micro rutas restantes tienen una frecuencia de siete días a la semana.

Este sistema de recolección no ha eliminado la existencia de 33 “puntos críticos” de arrojo clandestino de basuras en zonas específicas según el Informe de Vigilancia o Inspección Especial de Superservicios 2022 (radicado SSPD No. 20225292297332 del 8 de junio de 2022).

En el entorno rural del municipio, no se dispone de información completa y precisa sobre la generación de RSM. Con respecto a la producción per cápita, según documento de diagnóstico realizado en el año 2022 por COSERVICIOS S.A. E.S.P., denominado “Alternativas de gestión de residuos sólidos en zonas rurales priorizadas”, en donde se establecieron los datos de generación de residuos para 4 sectores rurales del municipio se interpola en 0.279 kg/hab-día.

¹ Revisión, ajuste y actualización. Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Domiciliarios-PGIRS 2016-2027. Fundación Ecommunity. Diciembre del 2024.



La cobertura del servicio de recolección y transporte de RSM es del 38% con una frecuencia de recolección de dos veces por semana en la micro ruta Morca - Zona Rural (Informe Final de Auditoría Externa de Gestión y Resultados de diciembre de 2023, elaborado por la firma ASESORES AUDICAR E.U.)². El hecho de que no haya cobertura en un 62% del área rural conlleva a que el residuo generado sea dispuesto de forma incorrecta o incinerado.

Con carácter general, el PGIRS identifica como problemática central la baja tasa de aprovechamiento de residuos y la alta disposición final, con estimaciones históricas que no superan el 23% de recuperación del material, lo que se traduce en que el 77% de los residuos terminan dispuestos en el relleno sanitario, reflejando un modelo centrado en la disposición final y a una implementación deficiente de estrategias de aprovechamiento y tratamiento de los residuos sólidos generados en el municipio.

En el caso de los residuos orgánicos biodegradables provenientes de actividades domésticas o comerciales, de la plaza del mercado y de la ejecución de la actividad de corte de césped y poda de árboles, con un peso significativo del total del residuo generado, entre un 20-40% según hábitos de disposición y ruta, se hace necesario establecer una alternativa de tratamiento para reducir la disposición en relleno sanitario y el aprovechamiento de su potencial de valorización.

En términos de otras fracciones, se identifican también proporciones importantes de materiales reciclables como plásticos, papel/cartón, vidrio y metales, aunque cada uno por separado representa porcentajes menores (por ejemplo, el papel y cartón en conjunto aportan en torno al 4–5% del total). Sin embargo, el potencial de estas fracciones aprovechables se ha desaprovechado en gran medida debido a la falta de infraestructura para el aprovechamiento y a la ausencia de un sistema de separación en la fuente efectivo.

Esta situación conlleva una falta de consolidación de cifras globales confiables sobre cuánto se aprovecha realmente, ya que gran parte de la recuperación la realizan recicladores informales sin un registro unificado.

3.2.2. Impactos ambientales y oportunidades perdidas

La gestión predominantemente orientada a la disposición final podría acarrear importantes impactos ambientales³, especialmente cuando existe un manejo inadecuado de la fracción orgánica. La disposición de residuos orgánicos junto con los residuos comunes en el relleno sanitario provoca la generación de lixiviados y gases de efecto invernadero en volúmenes significativos. Según reportes de operación, solo en 2020 el relleno produjo aproximadamente 14.863,75 m³ de lixiviados percolados⁴ a partir de los residuos depositados. Estos lixiviados, de alta carga contaminante, suponen un riesgo para el suelo y las aguas si no se tratan

² <https://coserviciosesp.com/transparencia-2/>

³ El impacto ambiental, se aborda en el presente estudio, para efectos o en el marco de la aplicación de la metodología de ACV, por lo cual, no se pretende sustituir el EIA para el licenciamiento ambiental que da realizar el titular o interesado, en tanto, no está en el marco y desarrollos del presente contrato.

⁴ Informe de gestión 2022. COSERVICIOS S.A. E.S.P.



adecuadamente. Adicionalmente, la descomposición anaerobia de la materia orgánica en el relleno genera biogás con un alto contenido de metano (CH_4 ~40–50%) y dióxido de carbono (CO_2 ~35–45%), entre otros gases trazas. El metano es un gas de efecto invernadero potente, y su liberación al ambiente contribuye al calentamiento global. Como lo reconoce el PGIRS, “los residuos orgánicos potencian el aumento de lixiviados y gases” de relleno, agravando la huella ambiental del actual sistema de gestión.

Cada tonelada de residuos orgánicos que se dispone en el relleno representa una oportunidad perdida de valorización. Por ejemplo, en lugar de generar metano no controlado, esa biomasa podría convertirse en compost para mejorar suelos o en biogás aprovechable energéticamente mediante digestión anaerobia. La ausencia de estas estrategias hasta la fecha implica costos ambientales: no solo las emisiones de GEI y la carga contaminante de lixiviados, sino también la pérdida de materia orgánica que podría cerrar el ciclo de nutrientes bajo un enfoque de economía circular.

Aunque en el PGIRS se menciona la definición de metas estratégicas alineadas con la economía circular y el desarrollo sostenible, no existe una meta formal de “cero residuos”, es decir, no se ha establecido un compromiso concreto de eliminación progresiva de la disposición final; más bien las metas se han limitado a mejoras graduales en aprovechamiento, por lo que, en la práctica, predomina un modelo lineal donde la mayor parte de los residuos termina en el relleno, con los impactos ambientales mencionados a los que hay que sumar la afectación por olores y vectores, y el agotamiento acelerado de la vida útil del relleno.

3.2.3. Estrategias y propuestas oficiales

Consciente de estos desafíos, el PGIRS del municipio plantea en el capítulo de “Programas y proyectos para la implementación del PGIRS⁵”, y dentro del “Programa de aprovechamiento” un estudio de factibilidad sobre aprovechamiento de residuos con el fin de determinar la viabilidad de los proyectos y su sostenibilidad en el tiempo, considerando, según la cantidad y composición de los RSM, alternativas de reciclaje, compostaje y aprovechamiento energético.

Adicionalmente, de manera específica para el entorno rural se define un “Programa de gestión de residuos sólidos en el área rural”, en el que se incluye la capacitación comunitaria, con apoyo del SENA, en la gestión integral de RSM, incluyendo la separación en la fuente, el compostaje in situ y el aprovechamiento de residuos reciclables.

Sin embargo, estos proyectos se encuentran en etapa de propuesta y no han sido implementados a escala municipal.

Otro eje estratégico del PGIRS es la inclusión de los recicladores de oficio dentro del esquema formal, incluyendo en su desarrollo un “Programa de inclusión de recicladores” que tiene por objeto incorporar de manera permanente y progresiva las acciones afirmativas a favor de la

⁵ Revisión, ajuste y actualización. Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Domiciliarios-PGIRS 2016-2027. Alcaldía de Sogamoso, Boyacá. Oficina de Gestión del Riesgo y Medio Ambiente. Diciembre del 2020.



población recicladora existente en el municipio de acuerdo con el censo de recicladores de conformidad con lo establecido en el artículo 88 del Decreto 2981 de 2013 (compilado en el Decreto 1077 de 2015) según al diagnóstico realizado por COSERVICIOS S.A. E.S.P., a corte de diciembre de 2024, hay 346 recuperadores de oficio registrados.

A la par, se prevé el establecimiento de rutas selectivas para la recolección y aprovechamiento de RSMs reciclables en la zona urbana, dentro del Programa de aprovechamiento, con la finalidad de reducir la generación de conflictos entre la población recicladora por competencia de zonas y rutas de aprovechamiento y aumentar las cantidades de residuos aprovechables.

En cuanto a infraestructura, el PGIRS identificó como problema la ausencia de formalización de bodegas, centros de acopio y estaciones de clasificación y aprovechamiento de residuos a lo que hay que sumar el incumplimiento de los requisitos legales establecidos para el desarrollo de dicha actividad. La estrategia oficial propone formalizar y tecnificar estos centros, para facilitar que los materiales reciclables recolectados selectivamente puedan segregarse eficientemente (papel, diferentes plásticos, metales, vidrio, etc.) aumentando su valor comercial y facilitando su envío a reciclaje industrial.

Adicionalmente, el PGIRS considera diseñar programas efectivos de sensibilización sobre hábitos de consumo sostenible, aumentar la adopción de prácticas de separación en la fuente de residuos sólidos domiciliarios por medio de campañas de educación y sensibilización sobre la separación adecuada de residuos en los hogares, tanto en el área urbana como en las zonas rurales.

3.2.4. Dificultades y retos actuales

A pesar de contar con un plan integral actualizado, el municipio de Sogamoso enfrenta importantes dificultades para materializar la gestión integral de residuos. Un primer obstáculo es la falta de infraestructura adecuada para el tratamiento, de los residuos orgánicos. Igualmente, la capacidad instalada para reciclaje es precaria: los centros de acopio existentes son pocos y de naturaleza informal, sin tecnología para procesar grandes volúmenes. En la actualización del PGIRS de diciembre de 2024 se reconoce la “ausencia de formalización de bodegas y estaciones de clasificación” como una de las causas raíz del bajo aprovechamiento. Por tanto, uno de los retos críticos es desarrollar la infraestructura física (plantas, bodegas, vehículos especializados) necesaria para que el aprovechamiento deje de ser marginal.

Otro conjunto de dificultades es de índole institucional y operativa. Por un lado, aunque el plan existe, su implementación requiere de voluntad política sostenida, recursos económicos y articulación interinstitucional. Las entidades responsables (Alcaldía, empresa de aseo, autoridad ambiental, etc.) deben coordinar acciones, y en ocasiones se observan limitaciones en esa coordinación. Históricamente, la prestación del servicio público de aseo SPA en Sogamoso se ha enfocado en la recolección, transporte y disposición final, con poca experiencia en esquemas de aprovechamiento y tratamiento. Pasar a un modelo integrado implica reorganizar rutas, capacitar personal, vincular formalmente a recicladores, y eso conlleva resistencias al cambio y necesidad de capacitación tanto interna como de la ciudadanía. El PGIRS diagnóstico evidencia, por ejemplo, débiles campañas de educación y cultura ciudadana frente a la separación en la fuente, lo cual dificulta la puesta en marcha de las rutas selectivas. Asimismo, existen limitaciones financieras: gran parte del presupuesto del



servicio de aseo se va en la operación tradicional (recolección-disposición), y faltan recursos específicos para nuevos proyectos de aprovechamiento. La empresa COSERVICIOS S.A. E.S.P., cuyo capital es mayoritariamente municipal, enfrenta el reto de equilibrar financieramente la prestación del servicio mientras invierte en expandir su portafolio a actividades de valorización que inicialmente podrían no ser rentables. En el PGIRS 2024 se señala que no asignar recursos suficientes ni garantizar su ejecución ha sido un factor que retrasa el cumplimiento de las metas planificadas.

Finalmente, prevalece la inercia de un modelo centrado en la disposición final. Aún hoy, la solución predominante es disponer los residuos en el relleno. Este esquema “cómodo”, mientras el relleno esté disponible, compite con las nuevas iniciativas, pues lograr altos niveles de aprovechamiento requiere más esfuerzo coordinado que continuar con el vertido masivo. No obstante, este modelo ha demostrado ser insostenible: el relleno sanitario **Terrazas del Porvenir** ha llegado a la necesidad de adopción de medidas alternativas y complementarias de la disposición final, al punto que en 2023 fue objeto de una sanción de cierre temporal del servicio ordenado por la autoridad ambiental regional (Corpoboyacá) debido a problemas en el manejo de lixiviados y estabilidad de taludes, entre otros. Este hecho reciente subraya un riesgo latente y a la vez un reto: transitar urgentemente hacia un esquema de gestión más circular antes de enfrentar una crisis mayor por la disposición final. Si no se reduce drásticamente la cantidad dispuesta, cualquier ampliación de relleno será solo un paliativo breve.

3.3. Normativa aplicable

3.3.1. De orden Nacional.

Para comenzar de forma básica de cara a los desarrollos de esta actividad, se tiene la denominada “norma de normas”, la Constitución Política de 1991. Que establece que Colombia se declaró como un Estado Social de Derecho descentralizado, qué estableció el deber de garantizar un ambiente sano dándole cabida a los servicios públicos domiciliarios en seis artículos con finalidad social, debidamente regulados y adicionalmente, le otorgó a los municipios mayores responsabilidades sociales, entre ellas, la que nos ocupa para efectos de este documento; la de garantizar la prestación de los servicios públicos y el saneamiento básico ambiental, lo anterior se encuentra consagrado en los artículos 79, 80, 365 -370 y 287, de nuestra Carta, respectivamente. De esta manera estableció el compromiso de solucionar y satisfacer las necesidades básicas de los colombianos.

Ley 142 de 1994 y sus modificaciones “por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones”, regula lo relacionado con los servicios públicos domiciliarios. Define el servicio de recolección municipal de residuos, principalmente sólidos e incluye como actividades complementarias entre otras, el “tratamiento”.

Decreto Ley 2811 de 1974 “por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente”, en el artículo 39 y ss., refiere al manejo de residuos, basuras, desechos y desperdicios.

Ley 99 de 1993 “por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales



renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones”, establece las competencias de las autoridades ambientales.

Ley 2294 de 2023 “Por la cual se expide el **Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026** “Colombia Potencia Mundial de la Vida”. En el artículo 227 establece el Programa Basura Cero: “

CONPES 3874 - Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos

Decreto 1077 de 2015 “Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio”.

Decreto 1784 de 2017 “Por el cual se modifica y adiciona el Decreto 1077 de 2015 en lo relativo con las actividades complementarias de tratamiento y disposición final de residuos sólidos en el servicio público de aseo”.

Decreto 1076 de 2015 “Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible”, Reglamentario de la Ley 99 de 1993 y compilatorio del Decreto 2041 de 2014, establece dentro las actividades, obras o proyectos que requieren de trámite y obtención o modificación de la licencia ambiental.

Estrategia Colombia de Economía Circular de 2019: Impulsa de la economía circular trae beneficios económicos, ambientales y sociales. Los beneficios económicos de la economía circular son generados a partir de la valorización de los recursos en repetidos ciclos, lo que redundará en la reducción de costos de producción.

Decreto 1381 de 2024 "Por el cual se modifica el Capítulo 5, 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 y se dictan otras disposiciones" relacionado con el aprovechamiento y los recicladores de oficio.

Resolución 330 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 números 1096 de 2000, 0424 de 2001, 0668 de 2003, 1459 de 2005, 1447 de 2005 y 2320 de 2009”, la cual fue modificada por la Resolución 799 de 2021.

Resolución 0938 de 2019 “Por la cual se reglamenta el Decreto 1784 del 2 de noviembre de 2017 en lo relativo a las actividades complementarias de tratamiento y disposición final de residuos sólidos en el servicio público de aseo”.

Resolución 0661 de 2019 “Por la cual se establecen los requisitos de presentación y viabilización de proyectos del sector de agua potable y saneamiento básico que soliciten apoyo financiero de la Nación, así como de aquellos que han sido priorizados en el marco de los Planes Departamentales de Agua y de los programas que implemente el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, a través del Viceministerio de Agua y Saneamiento Básico.

Decreto 670 de 2025 “Por el cual se adiciona el Capítulo 8 del Título 2, de la Parte 3, del Libro 2, del Decreto 1077 de 2015, se reglamenta el artículo 227 de la Ley 2294 de 2023 referente al Programa Basura Cero, y por el cual se efectúan adiciones a los artículos 2.2.2.3.2.3 y 2.2.2.3.7.1 del Capítulo 3, Título 2, Parte 2, Libro 2 del Decreto 1076 de 2015 y se dictan otras disposiciones”.



Resolución 754 de 2014 de Minvivienda “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”.

Resolución CRA 720 de 2015 “Por la cual se establece el régimen de regulación tarifaria al que deben someterse las personas prestadoras del servicio público de aseo que atiendan en municipios de más de 5.000 suscriptores en áreas urbanas, la metodología que deben utilizar para el cálculo de las tarifas del servicio público de aseo y se dictan otras disposiciones”.

Decreto 1381 de 2024 “Por el cual se modifica el Capítulo 5, del Título 2, de la Parte 3, del Libro 2 del Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio⁶.

3.3.2. De orden local

El **Acuerdo 029 de 2016** adopta la revisión general del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) del municipio de Sogamoso (Boyacá). El POT, definido por la Ley 388 de 1997 como instrumento básico de planificación, establece los objetivos, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas que orientan el desarrollo físico del territorio y la utilización del suelo. Su propósito central es asegurar una planificación y uso eficiente y racional del suelo, armonizados con la Estructura Ecológica Principal (EEP) y guiados por criterios de eficacia que fortalezcan la competitividad e impulsen el desarrollo social y económico de la población.

En materia de residuos, el **Decreto Municipal 640 del 31 de diciembre de 2024** adopta la revisión y actualización del PGIRS de Sogamoso, alineándolo con la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos (CONPES 3874 de 2016)⁷, con la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible⁸ y con el Programa Basura Cero del nivel nacional, que impulsa la transición desde el enterramiento hacia la valorización, el cierre de botaderos a cielo abierto y la economía circular⁹. Este marco se complementa con instrumentos de seguimiento y control ambiental que, cuando corresponde, derivan en actuaciones sancionatorias¹⁰, y con las políticas climáticas que orientan un desarrollo bajo en carbono y la resiliencia climática del

⁶ Decreto <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77216> - 1077 del 26 de mayo de 2015 y se dictan otras disposiciones" que en el párrafo primero Artículo 2.3.2.5.1.1 <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=77216> - 2.3.2.5.1.1. Párrafo 1. Tratándose de una acción afirmativa, la exclusividad de la actividad de aprovechamiento para las organizaciones de recicladores de oficio se establecerá por el término de 15 años a partir de la entrada en vigencia del presente decreto.

⁷ Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos, CONPES 3874, 21 de noviembre de 2016.

⁸ Agenda 2030 y Objetivos de Desarrollo Sostenible. Tomado de: https://mentorday.es/wikitips/agenda-2030-objetivos-desarrollo-sostenible/?gad_source=1&gad_cam...

⁹ Programa Basura Cero (articulación nacional). Artículo 227. Programa Basura Cero: creación, objetivos, articulación interinstitucional, inclusión de recicladores, lineamientos regulatorios y de inversión; transición hacia parques tecnológicos y ambientales de valorización; cierre de botaderos y celdas transitorias; impulso a la economía circular.

¹⁰ Actuaciones sancionatorias ambientales: “Por medio de la cual se decide un proceso sancionatorio ambiental y se toman otras determinaciones.



sector vivienda, ciudad y territorio¹¹¹². Asimismo, resultan pertinentes los estándares y actos administrativos sectoriales que regulan aspectos técnicos y de gestión (por ejemplo, lineamientos y resoluciones aplicables a la gestión de residuos y a insumos/condiciones de aprovechamiento¹³⁾¹⁴¹⁵.

4. DIAGNÓSTICO ACTUAL

4.1. Caracterización del servicio actual

El servicio actual de recolección de residuos sólidos en el municipio de Sogamoso se caracteriza por operar bajo un esquema predominantemente mixto, en el que los residuos reciclables y orgánicos son gestionados sin una diferenciación efectiva en origen, a pesar de los esfuerzos normativos y operativos por promover la separación en la fuente. COSERVICIOS S.A. E.S.P., como prestador principal del servicio, está a cargo de las actividades de recolección, transporte y transferencia de los residuos sólidos domiciliarios.

La estructura operativa de recolección está organizada territorialmente mediante una única ruta general formalmente establecida, de carácter mixto, que se divide en macrorrutas complementadas por microrrutas. No obstante, el sistema enfrenta importantes desafíos en cuanto a la separación de residuos, principalmente por la ausencia de rutas diferenciadas para residuos aprovechables y orgánicos. Paralelamente, se ha identificado una red informal de recolección gestionada por microempresarios o particulares, que operan utilizando medios diversos, desde animales de carga hasta vehículos mecánicos. A ello se suman instituciones públicas y privadas que disponen de esquemas propios de separación, entregando fracciones específicas a terceros no vinculados al sistema oficial.

En este contexto, el servicio de recolección, aunque formalmente estructurado y operado por COSERVICIOS S.A. E.S.P., se ve condicionado por la ineficiencia en la separación en origen y por la coexistencia de actores informales de aprovechamiento. Esta situación genera una dinámica operativa basada en el manejo de un flujo mixto de residuos, lo que reduce significativamente las oportunidades de valorización y aumenta la presión sobre el sistema de disposición final.

¹¹ PIGCCS: “Adopta el Plan Integral de Gestión de Cambio Climático Sectorial – PIGCCS, del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio.”

¹² Desarrollo bajo en carbono: “Por medio de la cual se impulsa el desarrollo bajo en carbono del país mediante el establecimiento de metas y medidas mínimas en materia de carbono neutralidad y resiliencia climática y se dictan otras disposiciones.

¹³ Resolución ICA 68370 de 2020 (normativa ICA): <https://www.ica.gov.co/normatividad/normas-ica/resoluciones-oficinas-nacionales/2020/2020r68370>

¹⁴ Documento SUIN-Juriscol – Resolución: <https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Resolucion/30042205>

¹⁵ Anexo Resolución 0431 de 2020 (Minvivienda): <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/2021-02/anexo-resolucion-0431-2020.pdf>



4.2. Volúmenes y características de los residuos

La generación y composición de los residuos sólidos domiciliarios en el municipio de Sogamoso ha sido analizada mediante diferentes estudios desarrollados entre los años 2020 y 2024, lo que ha permitido obtener datos consolidados y específicos para estimar sus volúmenes, distribución geográfica y características físicas y químicas.

En 2024, la producción promedio mensual alcanzó las 2.219 toneladas, lo que equivale a una producción diaria estimada de unos 69.150 kg/día, según reportes de caracterización de los años 2020 y 2021, así como de la Superintendencia de Servicios Públicos en 2023. Esta cifra se traduce en una producción per cápita (PPC) de 0.634 kg/hab-día, y se emplea como base para proyecciones a un horizonte de 12 años, conforme a la metodología establecida en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS).

La distribución espacial de los residuos sólidos orgánicos, según el PGIRS de 2020 actualizado en 2024, muestra una marcada concentración por macrorrutas:

- En el Centro de la ciudad se generan 37.836 kg/día, lo que representa el 43% de los residuos caracterizados.
- En el sector Sur, la producción asciende a 33.274 kg/día (13% del total caracterizado).
- En la macrorruta Norte se generan 25.322 kg/día (29%).
- En la zona del Batallón e lwoka se recolectan 7.614kg/día (15%).

Desde el punto de vista físico, los RSM de Sogamoso se caracterizan por una alta proporción de residuos orgánicos, mayormente biodegradables, que constituyen aproximadamente el 45% del total. Esta fracción varía según el tipo de generador y su estrato socioeconómico:

- En usuarios residenciales de **estrato 1**, los residuos orgánicos superan el 70%, mientras que los residuos higiénicos y textiles son menores al 10%, y los inorgánicos aprovechables no sobrepasan el 15%. Se identificó contaminación con aceites y ausencia de residuos de poda.
- En el **estrato 2**, los orgánicos se reducen a 28%, aunque siguen siendo mayoritarios. Los residuos textiles e higiénicos no superan el 20% cada uno, y la fracción inorgánica aprovechable alcanza un 29.9%. Se evidenció un rechazo del 3.47%.
- El **estrato 3** mantiene una proporción del 49% de residuos orgánicos. También se reporta un 14% en la categoría “otros”, un 13% en telas y un 12% en higiénicos, con reciclables inorgánicos por debajo del 11%. Hay mayor presencia de rechazo por contaminación y un incremento en la actividad de recicladores.
- En los **estratos 4 y 5** (agrupados), se observa una disminución en residuos de comida. Se identificó un 15% de materiales contaminados (rechazo) y un 25% de residuos tipo resinas o mezclas (p. ej., Tetra Pak).
- En el consolidado de residuos residenciales, los orgánicos representan el 47.2%, seguidos de los higiénicos (10.5%) y textiles (9.1%). La fracción de rechazo alcanza el 8.1%, y los residuos no aprovechables el 19%. Se evidencia un hábito significativo de entrega directa de reciclables a recicladores informales.

En el sector comercial e institucional, la fracción orgánica es también predominante:



- En **restaurantes**, los residuos de alimentos representan el 72%, con higiénicos al 12% e inorgánicos hasta el 16%.
- En **centros comerciales** (IWOKA y CHINCA), los residuos orgánicos llegan al 50%, y se evidencia una participación activa en la separación de residuos por parte del IWOKA.
- En **supermercados o "fruvers"**, los residuos de comida alcanzan el 89.7%, con inorgánicos por debajo del 10%.
- En **instituciones** como la UPTC, CDI, Batallón, Colegio Integrado, Plaza de Mercado, SENA y Hospital, la fracción orgánica supera el 55%, con la Plaza de Mercado alcanzando un 95%. Aunque muchas entidades tienen políticas de gestión de residuos, existen limitaciones como la no entrega de fracción semi-sólida en el caso de la UPTC. Asimismo, todos los representantes institucionales califican como "regular" el servicio de recolección por incumplimiento de horarios.

Desde el punto de vista químico, en el estudio realizado en la actividad 2, no se detectaron metales pesados como Mercurio (Hg) ni Cadmio (Cd), lo cual es favorable para la clasificación de los residuos como no peligrosos. Sin embargo, se identificaron concentraciones elevadas de Cobre (Cu) (39.9 a 5485 mg/Kg-Bs) y Plomo (Pb) (<3.62 a 584 mg/Kg-Bs), requiriendo evaluación normativa adicional. El Potasio (K) presentó una presencia elevada en todas las muestras (7505 a 36170 mg/Kg-Bs).

Respecto a los parámetros físico-químicos:

- El contenido de humedad fue alto, entre 57.6% y 86.0%, consistente con residuos orgánicos frescos.
- Los sólidos totales oscilaron entre 29.5% y 72.8% (base seca).
- La materia volátil, indicativa de componentes biodegradables, varió entre 11.9% y 51.4%.
- El contenido de cenizas se situó entre 13.1% y 50.7%, representando la fracción inorgánica.
- El fósforo total se encontró entre 1.85% y 5.78%, lo cual es relevante para procesos de compostaje.
- El peso específico de los residuos estuvo entre 256 y 601 g/mL, adecuado para procesos de compactación.

4.3. Análisis institucional y del operador actual

El operador actual, COSERVICIOS S.A. E.S.P. fue constituida el 6 de mayo de 1955 bajo el nombre de Compañía de Acueducto y Energía Eléctrica de Sogamoso, modificando su razón social en 1958 a Compañía de Servicios Públicos de Sogamoso S.A. En 1981, recibió por parte del municipio la responsabilidad de prestar el servicio de aseo urbano.

COSERVICIOS S.A. E.S.P., se trata de una sociedad comercial anónima de economía mixta, con la Alcaldía Municipal como principal accionista, que posee el 62.4% de las acciones. La empresa ha sido reconocida por su trayectoria institucional, recibiendo distinciones como el premio "SUPERGESTIÓN" de la SSPD en el año 2000 y la "CONDECORACIÓN DEL RECICLADOR" del Ministerio de Ambiente en 2006.

El objeto social incluye la prestación de múltiples servicios públicos domiciliarios, entre ellos el manejo de residuos sólidos domiciliarios, acueducto, alcantarillado, alumbrado público,



barrido y limpieza de espacios públicos, y actividades de ornato. En el componente de aseo, actualmente ofrece seis servicios: recolección, transporte y transferencia; barrido y limpieza de vías; limpieza de playas y zonas ribereñas; corte de césped y poda de árboles; lavado de áreas públicas; y disposición final. La prestación del servicio se realiza conforme al PGIRS vigente.

Desde el punto de vista organizacional, COSERVICIOS S.A. E.S.P. cuenta con una estructura definida para la gestión administrativa y operativa. La Dirección Operativa es responsable del funcionamiento de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo. Para diciembre de 2024, la empresa gestionaba el servicio de aseo para 56.441 suscriptores distribuidos en tres macrorrutas (Centro, Sur y Norte) y una adicional para el Batallón y el Iwoka.

La estructura tarifaria aplicada por la empresa corresponde a lo estipulado por la Resolución CRA 720 de 2015, contemplando subsidios para los estratos 1 (31%) y 2 (21%), y contribuciones de entre 50% y 60% para los estratos 5, 6, sectores comercial e industrial.

Los costos unitarios del servicio en 2024 se ubicaron en \$181,494.50 por tonelada para recolección y transporte, y \$57,441.00 por tonelada para disposición final. La eficiencia en el recaudo de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo alcanzó el 92.30%.

En 2024, se registraron 2,097 reclamaciones relacionadas con el servicio de aseo. El 100% de los representantes institucionales encuestados calificaron la prestación como "regular" debido al incumplimiento de horarios, percepción que comparte el 52% de los suscriptores residenciales encuestados.

Uno de los principales retos institucionales que enfrenta el operador actual es la disposición final de los residuos. El cierre temporal del relleno sanitario Terrazas del Porvenir por orden de Corpoboyacá obligó a trasladar la disposición al relleno sanitario de Pírgua, en Tunja, a 75 km de distancia. Esta situación ha incrementado significativamente los tiempos y costos de transporte, además de reducir la vida útil de los vehículos recolectores a un rango entre 3 y 3.5 años.

En términos de aprovechamiento, el municipio registra un bajo nivel de recuperación de residuos, inferior al 5% del total generado. Aunque existen 346 recicladores de oficio registrados, la recolección selectiva formal no se encuentra plenamente consolidada. Las asociaciones de recicladores desarrollan su labor paralelamente a las rutas de COSERVICIOS S.A. E.S.P., mientras que algunos grandes productores como la UPTC, el Batallón Tarqui, IWOKA y el Hospital Regional entregan residuos a terceros no formalizados.

El PGIRS vigente contempla trece programas, de los cuales solo seis se encuentran en ejecución. La alta proporción de residuos orgánicos, que alcanza un 45% del total (y hasta un 95% en la Plaza de Mercado), evidencia la urgencia de implementar un sistema de tratamiento específico para esta fracción. La comunidad ha mostrado amplio respaldo a esta iniciativa, con un 94% a favor de la creación de un parque tecnológico para el tratamiento de residuos orgánicos. No obstante, para su implementación se requerirá modificar la Licencia Ambiental actual del relleno sanitario o solicitar una nueva, conforme al Decreto 1076 de 2015.



4.4. Infraestructura existente

La infraestructura existente comprende los componentes de recolección, transporte y disposición final, todos ellos a cargo de COSERVICIOS S.A. E.S.P. La operación del sistema se basa en una organización territorial de rutas, una flota vehicular actualizada y, hasta hace poco, un relleno sanitario propio cuya operación se encuentra temporalmente suspendida.

En cuanto a la infraestructura de recolección y transporte, el municipio cuenta con una estructura operacional distribuida en tres macrorrutas principales: Centro, Sur y Norte, complementadas por 21 microrrutas, y una macrorruta adicional que cubre el Batallón y el complejo comercial Iwoka.

Para responder a estas exigencias, COSERVICIOS S.A. E.S.P., llevó a cabo una modernización de su flota de vehículos recolectores en noviembre de 2024, incorporando cinco unidades con tecnología Euro 6, caracterizadas por su eficiencia energética y bajas emisiones. Estos vehículos están dotados de sistemas GPS para facilitar el seguimiento, la trazabilidad y el control operativo en tiempo real. No obstante, los recorridos extendidos y la dispersión geográfica generan un incremento significativo en los costos del servicio. La tarifa horaria de operación de un vehículo recolector supera los \$210.000, lo cual, junto con las distancias recorridas, contribuye al encarecimiento de la operación, especialmente tras el cierre del sitio de disposición local.

Respecto a la infraestructura de disposición final, el municipio cuenta con el relleno sanitario Terrazas del Porvenir, propiedad de COSERVICIOS S.A. E.S.P., que incluye una Planta de Tratamiento de Lixiviados para el manejo de los líquidos percolados derivados del proceso de disposición. Sin embargo, el sitio se encuentra actualmente cerrado de manera temporal por orden de la autoridad ambiental Corpoboyacá, debido a problemáticas operativas y ambientales. La Licencia Ambiental vigente, otorgada mediante la Resolución 2066 de 2019, no contempla actualmente actividades de tratamiento de residuos, lo que limita su funcionalidad frente a nuevas estrategias de valorización.

Como consecuencia del cierre temporal del servicio de Terrazas del Porvenir, los residuos generados en Sogamoso están siendo transportados al relleno sanitario de Pírgua, ubicado en la ciudad de Tunja, a una distancia de 75 kilómetros, tal como se mencionó en el apartado anterior. Esta nueva logística ha provocado un aumento considerable en los costos operativos diarios, así como una acelerada depreciación de la flota vehicular debido a los recorridos prolongados. Estas condiciones impactan directamente en la estructura tarifaria del servicio de aseo, generando un incremento en los costos para los usuarios y reduciendo la sostenibilidad financiera del sistema.

4.5. Actores clave

4.5.1. Proveedor Principal del Servicio

COSERVICIOS S.A. E.S.P., como ya se ha mencionado, es la principal empresa de servicios públicos de Sogamoso, responsable de la recolección, transporte y disposición de los RSM, además de prestar los servicios de acueducto y alcantarillado.



4.5.2. Generadores de Residuos

Los generadores de residuos se pueden clasificar en usuarios residenciales y no residenciales, ya que son la fuente principal de los residuos sólidos gestionados en el municipio.

4.5.2.1. Usuarios Residenciales

Constituyen el grupo más grande, representando el 88.5% de todos los suscriptores, y se consideran los mayores generadores potenciales de residuos orgánicos. Hay un total de 49.962 suscriptores residenciales, divididos en usuarios urbanos (48.360) y rurales (1.602). Se agrupan por estratos socioeconómicos los suscriptores del servicio:

Estrato 1: Comprende 4301 suscriptores (3.980 residenciales y 321 rurales).

Estrato 2: Es el grupo más grande, con 27.619 suscriptores (26.629 residenciales y 990 rurales).

Estrato 3: Incluye 14.698 suscriptores (14.5080 residenciales y 190 rurales).

Estrato 4 y 5: Comprenden 3.013 y 230 suscriptores residenciales, respectivamente.

4.5.2.2. Usuarios No Residenciales y Grandes Productores

Esta categoría incluye entidades comerciales, industriales e institucionales identificadas como fuentes importantes de residuos, especialmente orgánicos.

Suscriptores Comerciales: Hay 5.626 suscriptores comerciales en total. Entre los generadores específicos de alto potencial se incluyen:

- **Restaurantes:** Se identificaron 526 establecimientos.
- **Fruvers o Supermercados:** Se identificaron 1.230 de estos negocios.
- **Plaza de Mercado.**
- **Centros Comerciales:** Iwoka y Chinca.

Suscriptores Institucionales: Este grupo incluye 80 suscriptores. Muchas de estas entidades tienen programas internos de gestión de residuos. Entre las instituciones clave estudiadas se encuentran:

- **Hospital Regional de Sogamoso.**
- **Instituciones Educativas:** UPTC, SENA y Colegio Integrado
- **Batallón Tarquis.**

Suscriptores Industriales: Hay 773 suscriptores industriales, pero sus actividades (por ejemplo, fabricación de cemento y metal) no se consideran fuentes a gran escala de residuos orgánicos.

4.5.3. Sector de Reciclaje y Aprovechamiento

Este sector juega un papel crucial en la gestión de materiales aprovechables.

Recicladores y Asociaciones: A 2024, existen 346 "recicladores de oficio" registrados formalmente y nueve organizaciones en proceso de formalización inscritas en el SUI que operan como personas prestadoras de servicio público de aseo en la actividad de



aprovechamiento. Estos recicladores realizan la recolección selectiva en las mismas rutas y horarios que COSERVICIOS S.A. E.S.P., recuperando materiales directamente de los hogares y establecimientos. Esta práctica es reconocida por los residentes, muchos de los cuales separan los materiales reciclables específicamente para ellos.

Bodegas, centros de acopio y estaciones de clasificación: Estos puntos de acopio se localizan dentro del perímetro urbano del municipio y constituyen el punto de acopio inicial para el material recuperado por los recicladores, aunque se caracterizan por la ausencia de formalización y el incumplimiento de los requisitos legales establecidos para el desarrollo de dicha actividad.

5. PROYECCIÓN DE LA GENERACIÓN (2025–2052)

5.1. Planteamiento inicial

Conforme al Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico vigente (Resolución 0330 de 2017), la selección y dimensionamiento de soluciones en acueducto, alcantarillado y aseo deben atender criterios de planeación y desempeño definidos por el RAS para cada etapa del ciclo (diseño, construcción, puesta en marcha, operación, mantenimiento y rehabilitación). Este marco no utiliza la antigua categorización por niveles de complejidad, derogada junto con el RAS-2000 y sus resoluciones complementarias, y exige que las decisiones técnicas se fundamenten en la proyección de la demanda, las condiciones del servicio y el contexto territorial y económico-institucional del municipio.

En consecuencia, para Sogamoso se emplean las proyecciones oficiales de población urbana como insumo de dimensionamiento del horizonte de diseño (p. ej., cifras del Plan de Desarrollo Municipal y actualizaciones del DANE), pero no para asignar un “nivel de complejidad”. Estas proyecciones, que incorporan actualizaciones demográficas post-COVID, se usan para calibrar dotaciones, caudales, capacidades de infraestructura y exigencias operativas, de acuerdo con los requisitos por desempeño del RAS-2017. Bajo este enfoque, el estudio avanza con los criterios técnicos y de calidad aplicables al tamaño real del sistema y a las condiciones de prestación en **Sogamoso**, sin acudir a una clasificación normativa por niveles.

5.2. Población inicial

La población objeto de estudio corresponde a los usuarios del servicio público de aseo tanto del área urbana del municipio como de las áreas rurales beneficiarias.

Según los datos correspondientes a la prestación de servicios por parte de COSERVICIOS S.A. E.S.P., presentados en la actividad 2, los suscriptores del servicio de aseo de la Ciudad de Sogamoso ascienden a 56.441 usuarios de los cuales 48.360 usuarios corresponden a estratos residenciales, mientras que el resto corresponde a los estratos industrial, comercial, veredal e institucional. En la Tabla 1 se reproduce los suscriptores del servicio de aseo recopilados en la actividad 2.



Tabla 1. Suscriptores servicio de aseo de la Ciudad de Sogamoso.

Estrato	1	2	3	4	5	6 o mas	Total
	9.895	27.801	14.706	3.605	314	120	56.441
Residencial	3.980	26.629	14.508	3.013	230		48.360
Industrial	176	40	0	555	0	2	773
Comercial	5.367	118	7	4	12	118	5.626
Veredal	321	990	190	33	68		1.602
Institucional	51	24	1	0	4		80

En la Tabla 2 se incluyen el número de personas por hogar presentados en el censo del DANE correspondiente a los años 2005 y 2018¹⁶, y en la Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV) 2024¹⁷, en los que se observa una tendencia decreciente generalizada del indicador.

Tabla 2. Personas por hogar según DANE

Entidad Territorial	Clase geográfica	Personas por hogar (promedio)		
		CG 2005	CNPV 2018	ECV 2024
Colombia	Promedio	3.9	3.1	2.86
	Cabecera	3.8	3.0	2.82
	Centros poblados y rural disperso	4.2	3.2	2.99
Boyacá	Promedio	3.7	2.9	2.81
	Cabecera	3.6	2.9	-
	Centros poblados y rural disperso	3.8	3.0	-
Sogamoso	Promedio	3.5	2.9	-
	Cabecera	3.5	2.9	-
	Centros poblados y rural disperso	3.8	3.1	-

Dado que el municipio de Sogamoso se comporta muy similar al promedio departamental y nacional, y que todos muestran una reducción paulatina del tamaño de hogar, se puede estimar que actualmente el número de habitantes por vivienda en Sogamoso es muy cercano al promedio de Boyacá en 2024, es decir, aproximadamente 2.8 personas por vivienda. Esta cifra es coherente con la tendencia histórica y la reducción observada en los promedios nacional y departamental.

A partir de lo anterior, se puede considerar, por un lado, que La aplicación de esta estimación al número de suscriptores permite aproximar de forma realista la población residente en el

¹⁶ /https://sitios.dane.gov.co/cnpv/app/views/informacion/perfiles/15759_infografia.pdf

¹⁷ Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV) 2024. Boletín técnico. Dane. Bogotá, 24 de abril de 2025.



área urbana y en las zonas rurales atendidas (Tabla 3). En el informe de gestión de 2022¹⁸, disponible en la web de COSERVICIOS S.A.E.S.P., la compañía describe la cobertura actual del servicio que corresponde al 100% de recolección de los residuos sólidos domiciliarios del perímetro urbano y al 38% de usuarios del sector rural aproximadamente. En el área rural, según se indica en dicho informe, la empresa presta el servicio dentro del área de servicio establecida y donde técnica y operativamente es posible y las vías de acceso permitan el ingreso de los camiones, a su vez se pueda facturar el servicio de aseo conjuntamente con la factura de acueducto.

Tabla 3. Estimación población 2024 a partir del número de suscriptores.

	Residencial		Veredal	
Estratos	Suscriptores	Habitantes	Suscriptores	Habitantes
1	3.980	11.144	321	899
2	26.629	74.561	990	2.772
3	14.508	40.622	190	532
4	3.013	8.436	33	92
5	230	644	68	190
Total	48.360	135.408	1.602	4.486

Al aplicar este procedimiento, se obtuvo una estimación poblacional de 139.894 habitantes, desagregada en 135.408 para el núcleo urbano y 4.486 para el entorno rural con cobertura (38%).

La estimación poblacional del municipio de Sogamoso basada en el número de suscriptores al servicio de aseo prestado por COSERVICIOS S.A. E.S.P., representa una metodología válida para aproximar la población residente en áreas efectivamente cubiertas por el servicio. No obstante, un análisis desglosado por zonas urbanas y rurales revela discrepancias significativas frente a las proyecciones oficiales del DANE, lo que condiciona la validez de este método como estimador representativo del total municipal.

Tabla 4. Estimaciones Periodo 2020-2035 postCOVID (DANE).

AÑO	Cabecera Municipal	Centros Poblados y Rural Disperso	Población total
2020	116.702	15.158	131.860
2021	118.422	15.163	133.585
2022	119.837	15.140	134.977
2023	121.263	15.128	136.391
2024	122.662	15.097	137.759
2025	123.964	15.057	139.021

¹⁸ Informe de Gestión 2022. COSERVICIOS S.A. E.S.P. (<https://coserviciosesp.com/informacion-publica/>)



AÑO	Cabecera Municipal	Centros Poblados y Rural Disperso	Población total
2026	125.150	15.043	140.193
2027	126.258	15.031	141.289
2028	127.281	15.066	142.347
2029	128.237	15.129	143.366
2030	129.133	15.215	144.348
2031	129.981	15.316	145.297
2032	130.783	15.420	146.203
2033	131.573	15.521	147.094
2034	132.312	15.627	147.939
2035	133.005	15.740	148.745

Desde una perspectiva global, la cifra total estimada asciende a 139.894 habitantes, en comparación con los 139.021 proyectados por el DANE para el año 2025(Tabla 4). La diferencia es inferior al 1%, lo que podría dar la impresión de una alta concordancia. Sin embargo, este resultado se debe a un efecto compensatorio entre una sobreestimación urbana y una subestimación rural, lo cual desvirtúa parcialmente la utilidad del cálculo si no se analiza por separado.

En la cabecera urbana, el método basado en suscriptores arroja una estimación de 135.408 habitantes, mientras que el DANE proyecta 123.964. Esto implica una diferencia de 11.444 personas adicionales, equivalente al 9.2% por encima de la proyección oficial. Este exceso podría deberse a diversos factores: presencia de viviendas desocupadas que permanecen activas en el sistema de facturación, casos de multiocupación en una sola vivienda o una sobreaplicación del promedio de habitantes por hogar.

En contraste, en la zona rural el mismo método arroja una estimación de apenas 4.486 habitantes, frente a los 15.057 proyectados por el DANE, lo que representa un déficit de 10.571 personas. Esto equivale a que la estimación cubre solo cerca del 30% del total rural estimado oficialmente. La causa es clara: el servicio de aseo solo cubre el 38% del entorno rural, dejando fuera de la estimación a una porción significativa del territorio y de la población residente en áreas sin cobertura operativa.

Este desbalance muestra que, aunque el método por suscriptores puede ser robusto en áreas con cobertura total y homogénea del servicio no debe aplicarse como sustituto del dato oficial en análisis municipales desagregados, particularmente en zonas rurales con cobertura parcial. La coincidencia en el total global no debe interpretarse como una validación automática del método, sino como un resultado circunstancial generado por la compensación entre dos errores opuestos.

Para efectos de planeación, diagnóstico y distribución de recursos a escala municipal, las proyecciones oficiales del DANE deben seguir considerándose la fuente de referencia principal, especialmente cuando se requiere una caracterización precisa de la distribución urbano-rural. La estimación por suscriptores puede, en cambio, ofrecer una medición puntual y útil para caracterizar únicamente la población atendida por el servicio de aseo, aportando información operativa relevante para áreas cubiertas.

5.3. Proyección poblacional

La proyección poblacional es un factor clave para la planificación de sistemas de tratamiento de residuos orgánicos aprovechables. Las dimensiones tecnológicas, logísticas y ambientales de estos sistemas deben ajustarse tanto a la demanda actual como a la futura, garantizando que la infraestructura responda eficazmente al crecimiento demográfico del área de influencia. Estimar con anticipación cuántos habitantes generarán residuos permite asegurar que el sistema sea sostenible, eficiente en su operación y optimice los recursos disponibles a largo plazo.

Adicionalmente, la proyección de población es un requisito normativo para la planeación y el diseño de instalaciones de saneamiento básico, establecido en instrumentos como el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) en su Título B.2.4., así como en el capítulo 2 de Guía RAS 001. Estos documentos exigen emplear información demográfica oficial y métodos reconocidos para garantizar rigor y coherencia, por tanto, para realizar la proyección poblacional para el municipio de Sogamoso se parte de las proyecciones de población publicadas por el DANE, en su versión más actualizados, y los lineamientos establecidos en dicha normatividad.

Tomando como base la metodológica empleada para el desarrollo del PGIRS de Sogamoso en sus diferentes actualizaciones, la población se ha calculado aplicando los métodos aritméticos, geométrico y el promedio aritmético-geométrico.

- **Método aritmético.** Recomendado por el RAS cuando existe un crecimiento vegetativo balanceado por la mortalidad y la emigración, es decir tasas de crecimiento anual decrecientes y tendencia a la estabilización poblacional.
- **Método geométrico.** Es útil en poblaciones que muestren una importante actividad económica, que genera un apreciable desarrollo y que poseen importantes áreas de expansión las cuales pueden ser dotadas de servicios públicos sin mayores dificultades. es útil para analizar comportamientos bajo tasas de crecimiento relativamente constantes o con ligeras oscilaciones alrededor de una media estable con tendencia a la continuidad del crecimiento, especialmente en contextos de crecimiento sostenido.
- **Método Combinado (promedio aritmético-geométrico):** Integra las fortalezas de ambos enfoques. Se justifica cuando la serie histórica muestra una tendencia intermedia entre aceleración y desaceleración, es decir, las tasas de crecimiento anual presentan variaciones moderadas, ni decrecientes de forma continua ni estrictamente constantes, con tendencia a suavizar extremos y garantizar una proyección estable. Al promediar la proyección lineal (aritmética) y la exponencial (geométrica), se mitigan los sesgos de cada uno, reduciendo la varianza del pronóstico y equilibrando tanto fases de mayor dinamismo como periodos de enfriamiento poblacional.

La estimación de la población de base y la proyección para el horizonte del proyecto en Sogamoso se ha realizado empleando las series oficiales del DANE, actualizadas tras la revisión pos-COVID (22 de marzo de 2023), en cumplimiento de la exigencia normativa de utilizar datos actualizados y oficiales para la planeación de sistemas de residuos sólidos y servicios públicos, lo que garantiza el rigor y respaldo normativo del estudio.

En contraste, se han descartado las proyecciones utilizadas en el PGIRS de Sogamoso 2016–2027 y sus actualizaciones, ya que fueron elaboradas antes de la pandemia y no contemplan



los impactos demográficos recientes. La actualización del DANE posterior al censo de 2018 y a la emergencia por COVID-19 ha hecho obsoletas esas proyecciones desde el punto de vista normativo. Utilizar cifras desactualizadas podría llevar a subestimar o sobrestimar la demanda real y comprometer la eficacia del sistema de residuos.

5.3.1. Metodología de Proyección

Para todos los componentes de los sistemas de acueducto, alcantarillado y aseo, se adopta como período de diseño **25 años**, conforme a la Resolución 0330 de 2017 (RAS), Artículo 40. En consecuencia, y en atención al ajuste solicitado, se adopta como período general de análisis y proyección el intervalo **2025–2052**, adoptando **2025 como año base** para estructurar el modelo y asegurar una referencia temporal homogénea en el documento.

En particular, la **proyección poblacional** toma como punto de partida el año 2025 por ser el primer año del horizonte adoptado. Este valor se deriva de las **estimaciones y proyecciones oficiales del DANE** disponibles para el periodo 1985–2035, y se utiliza como referencia inicial para extender la serie poblacional hasta 2052, minimizando quiebres metodológicos y garantizando consistencia con la base oficial.

Dado que el cronograma vigente corresponde a la fase de formulación y fija 2026 como año de entrega del documento, el año **2027** se considera únicamente como **año de referencia** para un eventual inicio de operación, en caso de que el proyecto sea ejecutado; por tanto, cuando sea necesario estimar magnitudes para dicho año de referencia, estas se obtienen proyectando desde 2025 con los supuestos demográficos definidos en este capítulo.

Este horizonte permite verificar que la infraestructura proyectada responda al crecimiento poblacional y a la demanda futura esperada, favoreciendo su sostenibilidad, eficiencia y funcionalidad en el largo plazo. Asimismo, facilita la identificación oportuna de necesidades de ampliación o ajuste operativo y reduce el riesgo de **saturación prematura** de la capacidad instalada, al enmarcar el diseño dentro de un periodo de operación prolongado que minimice la necesidad de intervenciones estructurales mayores. Con ello, se contribuye a la continuidad del servicio y a la protección de la inversión pública, en coherencia con los principios de planeación del sector.

Tal y como se ha indicado en el numeral anterior, la proyección poblacional se ha realizado aplicando los métodos aritméticos, geométrico y el promedio aritmético-geométrico a partir de las estimaciones de población publicadas por el DANE para el periodo 1985-2035 (Tabla 5). Las proyecciones se han realizado para la proyección total, es decir, la suma de la población de la Cabecera Municipal y la correspondiente a los Centros Poblados y Rural Disperso.



Tabla 5. Estimaciones de población periodo 1995-2019 y actualización periodo 2020-2035 postCOVID (DANE)

Año	Cabecera Municipal	Centros Poblados y Rural Disperso	Población total
1995	74.100	17.269	91.369
1996	75.920	17.154	93.074
1997	77.732	17.037	94.769
1998	79.587	16.914	96.501
1999	81.388	16.789	98.177
2000	83.171	16.685	99.856
2001	84.926	16.563	101.489
2002	86.673	16.459	103.132
2003	88.409	16.315	104.724
2004	90.068	16.184	106.252
2005	91.653	16.071	107.724
2006	93.337	15.965	109.302
2007	94.987	15.851	110.838
2008	96.629	15.753	112.382
2009	98.248	15.673	113.921
2010	99.920	15.616	115.536
2011	101.470	15.536	117.006
2012	102.984	15.470	118.454
2013	104.447	15.408	119.855
2014	105.898	15.399	121.297
2015	107.328	15.318	122.646
2016	108.745	15.325	124.070
2017	110.265	15.301	125.566
2018	111.815	15.420	127.235
2019	114.019	15.327	129.346
2020	116.702	15.158	131.860
2021	118.422	15.163	133.585
2022	119.837	15.140	134.977
2023	121.263	15.128	136.391
2024	122.662	15.097	137.759
2025	123.964	15.057	139.021
2026	125.150	15.043	140.193
2027	126.258	15.031	141.289
2028	127.281	15.066	142.347
2029	128.237	15.129	143.366
2030	129.133	15.215	144.348
2031	129.981	15.316	145.297
2032	130.783	15.420	146.203
2033	131.573	15.521	147.094
2034	132.312	15.627	147.939
2035	133.005	15.740	148.745



Método aritmético

Calcula un incremento absoluto constante de población cada año. Este enfoque asume que la población crece en una cantidad fija anual, lo cual suele ser apropiado para ciudades en fases avanzadas de transición demográfica o con crecimiento lento/moderado. En el caso de **Sogamoso**, con una tasa de crecimiento histórica reducida, el método aritmético ofrece una proyección realista acorde a esa tendencia estable.

La ecuación empleada es la siguiente:

$$P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_{ci}}{T_{uc} - T_{ci}} * (T_f - T_{uc})$$

Donde:

P_f : Población (habitantes) correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población.

P_{uc} : Población (habitantes) correspondiente al último año proyectado por el DANE.

P_{ci} : Población (habitantes) correspondiente al censo inicial con información.

T_{uc} : Año correspondiente al último censo con información.

T_f : Año para el que se quiere proyectar la población.

Método geométrico

Este método proyecta la población asumiendo una tasa de crecimiento porcentual constante (compuesto anual). Es decir, considera que el aumento cada año es proporcional al tamaño de la población del año anterior, produciendo un crecimiento ligeramente acelerado en el largo plazo. Este método es útil en poblaciones que muestran una actividad económica importante tal y como ocurre en el caso de Sogamoso. Se incluyó este método como escenario alternativo para contrastar y evaluar un posible crecimiento algo mayor, aunque siempre dentro de parámetros razonables para una ciudad intermedia como Sogamoso.

La ecuación empleada para la proyección de población es la siguiente:

$$P_f = P_{uc} * (1 + r)^{T_f - T_{uc}}$$

Donde:

P_f : Población (habitantes) correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población.

P_{uc} : Población (habitantes) correspondiente al último año proyectado por el DANE.

T_{uc} : Año correspondiente al último año proyectado por el DANE.

T_f : Año para el que se quiere proyectar la información.

r : Tasa de crecimiento anual en forma decimal.



La tasa de crecimiento anual (r) se calcula de la siguiente manera:

$$r = \left(\frac{P_{uc}}{P_{ci}} \right)^{1/(T_{uc} - T_{ci})} - 1$$

Donde

P_{ci} : Población (habitantes) correspondiente al censo inicial con información.

T_{ci} : Año correspondiente al censo inicial con información

En la siguiente tabla (Tabla 6) se presentan los resultados obtenidos para el periodo 2036-2052, no contemplado en las estimaciones del DANE, a partir de la metodología descrita anteriormente.

Tabla 6. Estimación de la población para el municipio de Sogamoso para el periodo 2036-2052.

Año	Método Aritmético	Método Geométrico	Promedio
2036	150.179	150.568	150.374
2037	151.614	152.414	152.014
2038	153.048	154.282	153.665
2039	154.483	156.173	155.328
2040	155.917	158.088	157.002
2041	157.351	160.025	158.688
2042	158.786	161.987	160.386
2043	160.220	163.973	162.096
2044	161.655	165.982	163.819
2045	163.089	168.017	165.553
2046	164.523	170.077	167.300
2047	165.958	172.161	169.060
2048	167.392	174.272	170.832
2049	168.827	176.408	172.617
2050	170.261	178.570	174.416
2051	171.695	180.759	176.227
2052	171.695	182.975	177.335

5.3.2. Selección del método de ajuste más representativo

Para poder planificar el sistema de aseo para el horizonte 2052 es fundamental determinar la proyección de población que más se ajuste a la evolución demográfica del municipio. Con este fin, se superpusieron las curvas proyectadas (aritmética, geométrica y promedio aritmético-geométrico) sobre la serie histórica 1995–2035 y se analizó su comportamiento (Imagen 1).

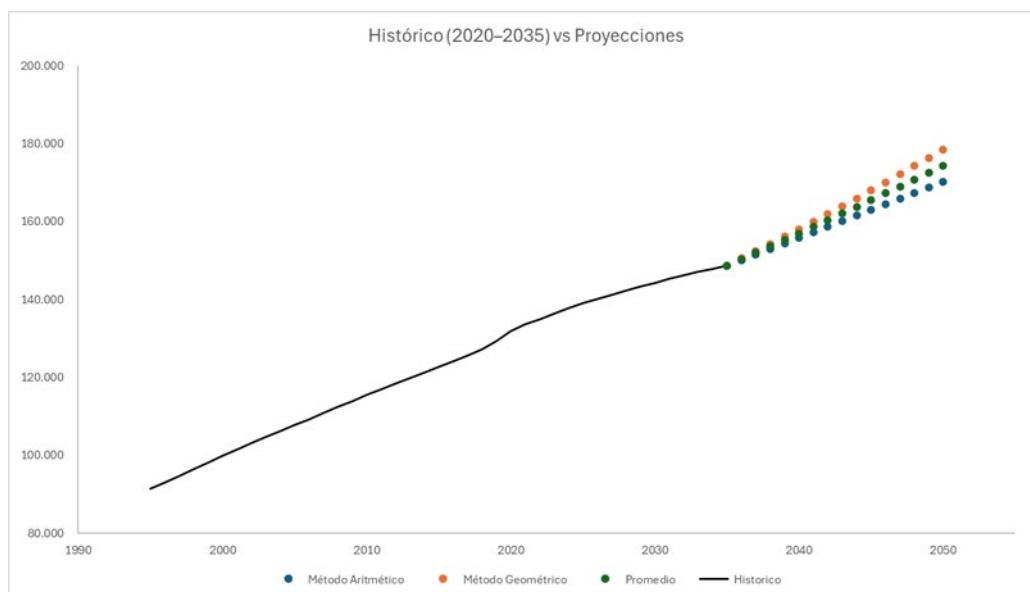


Imagen 1. Comparativa gráfica datos históricos (en negrita) con proyecciones método aritmético, geométrico y promedio.

En el método aritmético la proyección retoma la pendiente lineal observada en el tramo final de la serie histórica, con un incremento constante en “miles” de habitantes cada año. Este patrón resulta muy fiel al tramo 2020–2035 siempre que la tasa media no varíe, pero puede sobrestimar si la tasa de crecimiento anual sigue cayendo, tendencia que se observa para el periodo histórico (Imagen 2). Bajo el enfoque geométrico, la curva adquiere una progresiva curvatura ascendente, que refleja un crecimiento compuesto a tasa fija; empieza casi coincidente con el dato de 2035, pero se separa paulatinamente al enfatizar el efecto exponencial, lo que puede derivar en un ritmo crecientemente acelerado que podría exceder la realidad si las tasas mantienen la tendencia decreciente. La trayectoria promedio se sitúa entre ambos extremos: incorpora la inercia lineal del aritmético y atenúa la aceleración del geométrico, suavizando tanto la posible sobreestimación como la subestimación.

Si consideramos el análisis de la tasa de crecimiento anual para el periodo 1995–2035 (Imagen 2) revela una tendencia general a la baja, como ya se ha mencionado, con fluctuaciones notables que reflejan dinámicas demográficas complejas. Inicialmente, entre 1995 y 2005, la tasa experimenta un descenso gradual, pasando de aproximadamente un 1.87% a un 1.38%. Tras un leve repunte en 2006, alcanzando un 1.46%, la caída se retoma, ubicándose alrededor del 1.1% hacia 2015. Posteriormente, la gráfica muestra un pico pronunciado en 2020, llegando a un 1.95%, lo cual puede interpretarse como una perturbación demográfica asociada a la pandemia de COVID-19 y sus efectos subsiguientes en la migración y la estructura poblacional. Sin embargo, este repunte es efímero, y a partir de 2020, la tasa vuelve a declinar de manera acelerada, proyectándose a un valor cercano al 0.55% en 2035.

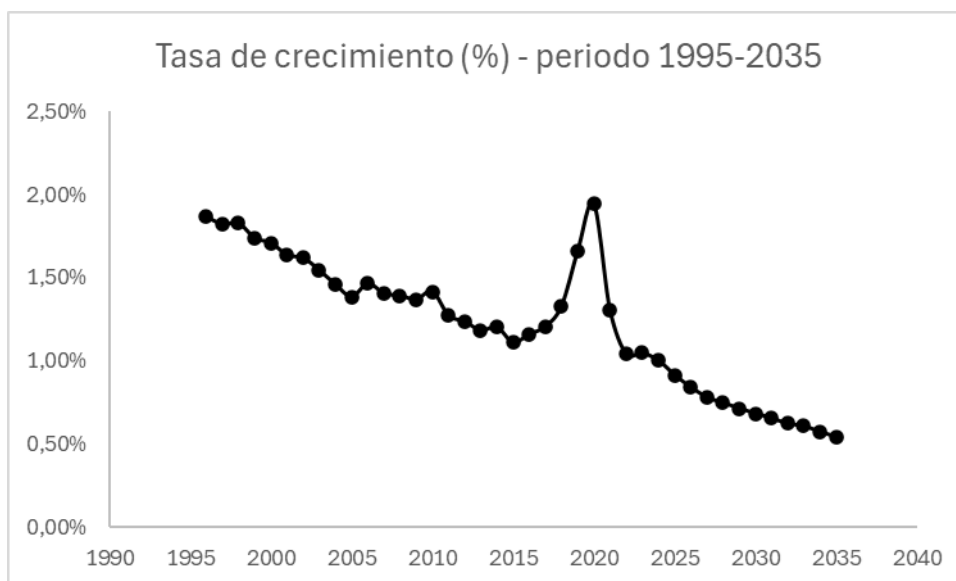


Imagen 2. Tasa de crecimiento para el periodo 1995-2035

La reducción del crecimiento demográfico, con una tendencia de tasas decrecientes, se erige como una señal inequívoca de desaceleración poblacional. Este hecho desaconseja el uso exclusivo de modelos puramente lineales (riesgo de sobreestimación) o exponenciales (riesgo de subestimación inicial). Por el contrario, el método promedio aritmético-geométrico ofrece un equilibrio entre ambos enfoques, garantizando una estimación más robusta y ajustada para la planificación de la generación de residuos. Esta combinación minimiza el error de predicción y evita la asignación ineficiente de recursos.

5.3.3. Consideración de población flotante

De acuerdo con el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) en su Título B.2.4., debe ajustarse la proyección de la población para tener en cuenta la población flotante, considerándose las actividades turísticas, laborales, industriales y/o comerciales que representen dicha población.

Se ha estimado una población flotante equivalente al 10% de la población residente proyectada. Este porcentaje adicional se justifica por la elevada actividad industrial y comercial de la ciudad, la presencia de dos plazas de mercado municipales, ferias periódicas y la concentración de servicios educativos y administrativos que actúan como polos de atracción de población no permanente. Sogamoso funciona como un nodo regional al que diariamente llegan trabajadores, comerciantes, transportistas, estudiantes y visitantes de municipios vecinos, contribuyendo a la generación de residuos sin estar empadronados como residentes. El valor del 10% está respaldado por la experiencia local del prestador del servicio de aseo (COSERVICIOS S.A. E.S.P., según su informe de caracterización de residuos de 2021) y se encuentra dentro del rango sugerido en estudios académicos como el trabajo titulado "Estimación de los datos estadísticos sobre la población flotante como lineamientos para el



ordenamiento territorial”¹⁹ que propone metodologías para calcular la población flotante en ciudades con vocación turística o de servicios, y destaca que esta puede representar entre el 8% y el 15% de la población residente, dependiendo de la dinámica económica y de movilidad del municipio

La siguiente tabla muestra el incremento de la población incluyendo la población flotante para obtener una población final al horizonte del proyecto.

Tabla 7. Población final y población flotante para el periodo proyectado (2025-2052)

Año	Población total	Población Flotante	Población total + Flotante
2.025	139.021	13.902	152.923
2.026	140.193	14.019	154.212
2.027	141.289	14.129	155.418
2.028	142.347	14.235	156.582
2.029	143.366	14.337	157.703
2.030	144.348	14.435	158.783
2.031	145.297	14.530	159.827
2.032	146.203	14.620	160.823
2.033	147.094	14.709	161.803
2.034	147.939	14.794	162.733
2.035	148.745	14.875	163.620
2.036	150.374	15.037	165.411
2.037	152.014	15.201	167.215
2.038	153.665	15.367	169.032
2.039	155.328	15.533	170.861
2.040	157.002	15.700	172.703
2.041	158.688	15.869	174.557
2.042	160.386	16.039	176.425
2.043	162.096	16.210	178.306
2.044	163.819	16.382	180.200
2.045	165.553	16.555	182.108
2.046	167.300	16.730	184.030
2.047	169.060	16.906	185.965
2.048	170.832	17.083	187.915
2.049	172.617	17.262	189.879
2.050	174.416	17.442	191.857
2.051	176.227	17.623	193.850
2.052	177.335	17.734	195.069

¹⁹ Estimación de los datos estadísticos sobre la población flotante como lineamientos para el ordenamiento territorial. Alexander Niebles Villarreal. Fundación Universitaria Los Libertadores (2018)



De acuerdo con la tabla anterior se anexa el certificado de aceptación de la proyección de la población total, por la oficina de planeación municipal de Sogamoso **ANEXO CERT_PLAN_MUN_SOG.**

5.4. Proyección de generación de RSO

Para estimar la producción futura de residuos en el municipio de Sogamoso se parte del diagnóstico de la situación actual, construido con los registros reales de disposición en los rellenos sanitarios Terrazas del Porvenir para el periodo 2019-2022, y Pírgua (Tunja), para los años 2023 y 2024, reportados por COSERVICIOS S.A. E.S.P.

Los datos de cantidad de residuo depositado (Tabla 8) muestran un comportamiento relativamente estable entre 2019 y 2021, con un máximo de 28.395 Ton en 2021, derivado de la reapertura económica posterior a la pandemia. A partir de 2022 la tendencia se revierte: la masa anual baja hasta 25.194 Ton en 2024, lo que representa una contracción acumulada del 11,3 %. El indicador clave, la producción per cápita (PPC), pasa de 0,575 kg/hab-día a 0,489 kg/hab-día, confirmando un patrón de reducción del consumo y una mayor eficiencia en la gestión de residuos. La tasa de crecimiento anual (CAGR) compuesto para el periodo 2019-2024 es de -1,87%, valor que refleja la tendencia descendente, pero incorpora la volatilidad de un intervalo relativamente corto.

Tabla 8. Datos correspondientes al residuo depositado en los rellenos sanitarios Terrazas del Porvenir y Pírgua, procedentes del municipio de Sogamoso para el periodo 2019-2024 (COSERVICIOS. S.A.E.S.P.)

Año	Cantidad residuo depositado (Ton/año)	Tasa variación interanual
2019	27.686	
2020	27.746	0,22
2021	28.395	2,34
2022	26.268	-7,49
2023	26.980	2,71
2024	25.194	-6,62

La tendencia que se observa es decreciente partiendo de un periodo 2019-2020 sin cambios significativos en los hábitos de generación, y una alternancia de crecimiento y decrecimiento respecto a este periodo. En 2021 se produce un crecimiento del 2.34% con respecto a 2020 que se puede vincular a la reactivación plena de la actividad económica y social tras las restricciones sanitarias, con un aumento de la fracción orgánica y residuos de empaque doméstico y comercial. A partir de este año, la generación de residuos experimenta un decremento pasando de 28.395 Ton/año a 25.194 Ton/año en 2024, más del 10%. La Tasa de crecimiento promedio anual (CAGR) para el periodo 2019-2024 se sitúa en el -1,87%, lo que refleja la tendencia decreciente en la generación de residuos.

5.4.1. Cobertura del servicio y población efectiva

El residuo medido representa la totalidad de la cabecera municipal y el 38 % de la población de centros poblados y rural disperso. Por lo tanto, es necesario estimar la población efectiva



atendida, con el fin de identificar la procedencia de los residuos y obtener un valor más representativo de la producción per cápita (kg/hab·día).

La población efectiva atendida (P_{effect}) se calcula a partir del porcentaje de población que es atendida por el servicio de aseo.

Ecuación 1. Población efectiva atendida

$$P_{effect} = P_{cabecera} + 0.38 P_{rural}$$

Aplicando la misma metodología de proyección demográfica empleada para la población total a la población del área urbana (cabecera), se obtienen las series disgregadas que se presentan en las Tabla 9 y Tabla 10.

En la Tabla 9 se presentan los datos disgregados para el periodo 2036-2052, calculados a partir de la metodología aplicada.

Tabla 9. Estimación de la población disgregada por clase geográfica para el periodo 2036-2052.

Año	Cabecera Municipal			Centros Poblados y Rural Disperso	Población total
	Método Aritmético	Método Geométrico	Promedio		
2036	134.478	134.964	134.721	15.653	150.374
2037	135.950	136.953	136.451	15.562	152.014
2038	137.423	138.970	138.197	15.469	153.665
2039	138.896	141.017	139.956	15.371	155.328
2040	140.368	143.095	141.732	15.271	157.002
2041	141.841	145.203	143.522	15.167	158.688
2042	143.313	147.342	145.328	15.059	160.386
2043	144.786	149.513	147.149	14.947	162.096
2044	146.259	151.715	148.987	14.832	163.819
2045	147.731	153.950	150.841	14.712	165.553
2046	149.204	156.218	152.711	14.589	167.300
2047	150.677	158.520	154.598	14.461	169.060
2048	152.149	160.855	156.502	14.330	170.832
2049	153.622	163.225	158.423	14.194	172.617
2050	155.094	165.629	160.362	14.054	174.416
2051	156.567	168.069	162.318	13.909	176.227
2052	158.040	170.545	164.292	13.043	177.335

En coherencia con los aforos y la dinámica urbana, y tomando como referencia la cabecera municipal, se incorpora una población flotante del 10 % respecto a la población residencial urbana. La tabla siguiente integra dicha población flotante a la cabecera y presenta el total resultante. (Tabla 10)



Tabla 10. Población disgregada total incluyendo población flotante.

Año	Cabecera Municipal	Población flotante	Cabecera Municipal + Población flotante	Centros Poblados y Rural Disperso + Población flotante	Población total
2019	114.019	11.402	125.421	16.860	142.281
2020	116.702	11.670	128.372	16.674	145.046
2021	118.422	11.842	130.264	16.679	146.944
2022	119.837	11.984	131.821	16.654	148.475
2023	121.263	12.126	133.389	16.641	150.030
2024	122.662	12.266	134.928	16.607	151.535
2025	123.964	12.396	136.360	16.563	152.923
2026	125.150	12.515	137.665	16.547	154.212
2027	126.258	12.626	138.884	16.534	155.418
2028	127.281	12.728	140.009	16.573	156.582
2029	128.237	12.824	141.061	16.642	157.703
2030	129.133	12.913	142.046	16.737	158.783
2031	129.981	12.998	142.979	16.848	159.827
2032	130.783	13.078	143.861	16.962	160.823
2033	131.573	13.157	144.730	17.073	161.803
2034	132.312	13.231	145.543	17.190	162.733
2035	133.005	13.301	146.306	17.314	163.620
2036	134.721	13.472	148.193	17.218	165.411
2037	136.451	13.645	150.097	17.119	167.215
2038	138.197	13.820	152.016	17.015	169.032
2039	139.956	13.996	153.952	16.909	170.861
2040	141.732	14.173	155.905	16.798	172.703
2041	143.522	14.352	157.874	16.683	174.557
2042	145.328	14.533	159.860	16.565	176.425
2043	147.149	14.715	161.864	16.442	178.306
2044	148.987	14.899	163.886	16.315	180.200
2045	150.841	15.084	165.925	16.183	182.108
2046	152.711	15.271	167.982	16.048	184.030
2047	154.598	15.460	170.058	15.908	185.965
2048	156.502	15.650	172.152	15.763	187.915
2049	158.423	15.842	174.265	15.613	189.879
2050	160.362	16.036	176.398	15.459	191.857
2051	162.318	16.232	178.550	15.300	193.850
2052	164.292	16.429	180.722	14.347	195.069

Para ajustar la población real a la población efectiva atendida se aplica la Ecuación 1 a la población estimada de centros poblados y rural disperso (incluida en la Tabla 10), manteniendo la cabecera (con flotante) como totalmente atendida.



Tabla 11. Población disgregada y total atendida en el municipio de Sogamoso.

Año	Cabecera Municipal atendida	Centros Poblados y Rural Disperso atendida (38%)	Población total atendida	Población no incluida
2019	125.421	6.407	131.828	10.453
2020	128.372	6.336	134.708	10.338
2021	130.264	6.338	136.602	10.341
2022	131.821	6.329	138.149	10.325
2023	133.389	6.324	139.713	10.317
2024	134.928	6.311	141.239	10.296
2025	136.360	6.294	142.654	10.269
2026	137.665	6.288	143.953	10.259
2027	138.884	6.283	145.167	10.251
2028	140.009	6.298	146.307	10.275
2029	141.061	6.324	147.385	10.318
2030	142.046	6.360	148.406	10.377
2031	142.979	6.402	149.381	10.446
2032	143.861	6.446	150.307	10.516
2033	144.730	6.488	151.218	10.585
2034	145.543	6.532	152.075	10.658
2035	146.306	6.579	152.885	10.735
2036	148.193	6.543	154.736	10.675
2037	150.097	6.505	156.602	10.614
2038	152.016	6.466	158.482	10.550
2039	153.952	6.425	160.377	10.483
2040	155.905	6.383	162.288	10.415
2041	157.874	6.340	164.214	10.344
2042	159.860	6.295	166.155	10.270
2043	161.864	6.248	168.112	10.194
2044	163.886	6.200	170.085	10.115
2045	165.925	6.150	172.075	10.034
2046	167.982	6.098	174.080	9.950
2047	170.058	6.045	176.103	9.863
2048	172.152	5.990	178.142	9.773
2049	174.265	5.933	180.199	9.680
2050	176.398	5.874	182.272	9.585
2051	178.550	5.814	184.364	9.486
2052	180.722	5.452	186.173	8.895

5.4.2. Generación de RSM y producción per cápita (periodo 2025-2052)

En coherencia con el criterio temporal establecido en el apartado 5.3.1., la proyección de generación de residuos sólidos orgánicos se desarrolla para el período **2025–2052**,



manteniendo **2025 como año base** (año 0) del modelo y 2027 como año de referencia operativo.

Se adopta 2025 como año base por ser el primer año del horizonte de proyección y el más próximo al último corte con información operativa disponible; en consecuencia, la línea base 2025 no se interpreta como un dato observado, sino como una estimación calibrada construida a partir de los registros reales más recientes de disposición reportados por COSERVICIOS S.A. E.S.P. (serie 2019–2024) y de los parámetros de generación utilizados en el capítulo (PPC y supuestos asociados). Con ello se reduce el desfase entre los datos reales disponibles y el inicio de la simulación, disminuyendo la incertidumbre inicial.

A partir de los datos de generación de residuos presentados en la Tabla 8 y la estimación de la población atendida presentada en la Tabla 11 se construye la siguiente tabla en la que se estima la producción per cápita y el peso real del residuo para el periodo 2019-2024.

Tabla 12. Generación de RSM y de Producción Per Cápita para el municipio de Sogamoso en el periodo 2019-2024.

Año	Población efectiva atendida	PPC (Kg/Hab*día)	PESO REAL				
			Kg/día	Kg/Sem.	Ton/Sem.	Ton/Mes	Ton/Año
2019	131.828	0,575	75.852	532.423	532	2.307	27.686
2020	134.708	0,564	76.017	533.584	534	2.312	27.746
2021	136.602	0,569	77.795	546.058	546	2.366	28.395
2022	138.149	0,521	71.968	505.157	505	2.189	26.268
2023	139.713	0,529	73.917	518.840	519	2.248	26.980
2024	141.239	0,489	69.025	484.504	485	2.100	25.194

Entre 2019 y 2024, la generación de RSM exhibe una dinámica de aumento moderado en los primeros dos años, pasando de 27.686 Ton/año en 2019 a 28.395 Ton/año en 2021, seguida de un giro pronunciado a la baja que culmina en 25.194 Ton/año en 2024 (Tabla 12). Este comportamiento refleja no sólo la reducción del PPC de 0,575 kg/hab-día a 0,489 kg/hab-día, sino también la influencia de factores puntuales comentados anteriormente. Ese comportamiento irregular hace que la tasa de crecimiento anual compuesto de $-1,87\%$ calculada para este breve periodo refleje una volatilidad excesiva y no capture la trayectoria de mediano plazo con la estabilidad necesaria para planificar infraestructuras que operarán durante décadas.

Si consideramos la proyección de generación de RSM en el área urbana realizada por el PGIRS 2016-2027 para el periodo 2020-2032 (Tabla 12), se observa una evolución aparentemente contradictoria a primera vista; mientras la población crece la generación total anual de desechos disminuye. Esta tendencia se explica fundamentalmente por la reducción sostenida de la producción per cápita, que pasa de 0,619 kg por habitante y día en 2020 a 0,49 kg en 2032, valor muy parecido al calculado para 2024 (Tabla 12). Aun con mayor número de habitantes, cada persona contribuye cada año con menos residuos, lo que provoca un descenso acumulado de alrededor del 11 % en el tonelaje anual estimado. El ritmo de esta disminución puede cuantificarse mediante la tasa de crecimiento anual compuesto, que resulta en un $-0,97\%$ promedio anual: es decir, cada año la generación total se reduce casi un punto porcentual con respecto al año anterior. Un descenso de esta magnitud indica que las



políticas de gestión y reducción de residuos han sido lo suficientemente efectivas para contrarrestar el efecto demográfico, pero al situarse cerca de cero su margen es estrecho y cualquier cambio en hábitos de consumo o en la continuidad de los programas de reciclaje podría invertir la tendencia.

Tabla 13. Proyección de generación de residuos sólidos y de Producción Per Cápita para el área urbana del municipio de Sogamoso en un horizonte de 12 años. PGIRS 2016-2027.

Año	Población Estimada	PPC (Kg/Hab*día)	Peso Real Y Proyectado			
			Kg/día	Kg/semana	Ton/semana	Ton/mes
2020	97900	0,619	60.628,6	424.400,0	1.697,6	20.371,2
2021	98878	0,607	60.028,9	420.202,3	1.680,8	20.169,7
2022	99861	0,595	59.438,0	416.065,9	1.664,3	19.981,2
2023	100850	0,584	58.855,1	411.985,7	1.647,9	19.775,3
2024	101.846	0,572	58.279,5	407.956,7	1.631,8	19.581,9
2025	102.847	0,561	57.712,3	403.986,1	1.615,9	19.391,3
2026	103.855	0,55	57.152,2	400.065,1	1.600,3	19.203,1
2027	104.868	0,54	56.600,1	396.200,6	1.584,8	19.017,6
2028	105.888	0,529	56.054,9	392.384	1.569,5	18.834,4
2029	106.914	0,519	55.516,9	388.618,5	1.554,5	18.653,7
2030	107.947	0,509	54.985,7	384.899,6	1.539,6	18.475,2
2031	108.986	0,500	54.461,5	381.230,2	1.524,9	18.299,1
2032	110.031	0,490	53.944,2	377.609,6	1.510,4	18.125,3

Si bien el análisis retrospectivo muestra una tasa de crecimiento anual compuesto negativa del $-1,87\%$ en la generación total de residuos entre 2019 y 2024 (Tabla 12), no se adopta esta tasa como base para las proyecciones futuras, dado que refleja un comportamiento volátil condicionado por circunstancias excepcionales y no sostenibles en el tiempo. La reducción observada en el periodo 2021–2024 responde, en buena medida, al proceso de adaptación de la población a los cambios en hábitos de consumo tras la pandemia de COVID-19, seguido por una fase de estabilización y normalización en los patrones de generación de residuos. Esta etapa de transición ha producido oscilaciones atípicas en la producción per cápita (PPC), que descendió abruptamente de 0,575 kg/hab-día en 2019 a 0,489 kg/hab-día en 2024, sin que esto pueda considerarse una tendencia estructural a largo plazo.

Por otro lado, tampoco se adopta de forma automática la tasa de decrecimiento del $-0,97\%$ anual propuesta en el PGIRS 2016–2027 (Tabla 13), ya que dicho modelo asume una reducción continua en la PPC que no se corresponde plenamente con la dinámica actual del municipio. Cabe señalar que la población de Sogamoso ha mostrado un crecimiento constante y el ingreso per cápita ha aumentado en los últimos años, lo cual introduce presiones adicionales hacia el aumento del consumo y, por ende, de la generación de residuos. Asimismo, el escenario local evidencia limitaciones en la consolidación de programas de separación y aprovechamiento, lo que restringe el impacto de las políticas de reducción en la producción total.

En consecuencia, se opta por adoptar una tasa de crecimiento anual del 1% en la generación de residuos, como valor prudente y equilibrado, que reconoce el crecimiento demográfico, la reactivación económica y el posible repunte del consumo per cápita, sin caer en escenarios excesivamente conservadores o artificialmente optimistas. Esta tasa permite proyectar la



generación futura de residuos con mayor estabilidad y realismo, facilitando una planificación más adecuada de infraestructuras de tratamiento y gestión a largo plazo.

En la Tabla 14 siguiente se presenta la estimación de la generación de residuos para el horizonte 2052.

Tabla 14. Proyección de generación de residuos sólidos y de Producción Per Cápita para el municipio de Sogamoso.

Año	Población total atendida	PPC (Kg/Hab*día)	Generación RSM				
			Kg/día	Kg/semana	Ton/semana	Ton/mes	Ton/año
2025	142.654	0,489	69.715	489.349	489	2.121	25.446
2026	143.953	0,489	70.413	494.242	494	2.142	25.701
2027	145.167	0,490	71.117	499.185	499	2.163	25.958
2028	146.307	0,491	71.828	504.177	504	2.185	26.217
2029	147.385	0,492	72.546	509.218	509	2.207	26.479
2030	148.406	0,494	73.272	514.311	514	2.229	26.744
2031	149.381	0,495	74.004	519.454	519	2.251	27.012
2032	150.307	0,497	74.744	524.648	525	2.273	27.282
2033	151.218	0,499	75.492	529.895	530	2.296	27.555
2034	152.075	0,501	76.247	535.194	535	2.319	27.830
2035	152.885	0,504	77.009	540.546	541	2.342	28.108
2036	154.736	0,503	77.779	545.951	546	2.366	28.389
2037	156.602	0,502	78.557	551.411	551	2.389	28.673
2038	158.482	0,501	79.343	556.925	557	2.413	28.960
2039	160.377	0,500	80.136	562.494	562	2.437	29.250
2040	162.288	0,499	80.937	568.119	568	2.462	29.542
2041	164.214	0,498	81.747	573.800	574	2.486	29.838
2042	166.155	0,497	82.564	579.538	580	2.511	30.136
2043	168.112	0,496	83.390	585.333	585	2.536	30.437
2044	170.085	0,495	84.224	591.187	591	2.562	30.742
2045	172.075	0,494	85.066	597.099	597	2.587	31.049
2046	174.080	0,494	85.917	603.070	603	2.613	31.360
2047	176.103	0,493	86.776	609.100	609	2.639	31.673
2048	178.142	0,492	87.644	615.191	615	2.666	31.990
2049	180.199	0,491	88.520	621.343	621	2.692	32.310
2050	182.272	0,491	89.405	627.557	628	2.719	32.633
2051	184.364	0,490	90.299	633.832	634	2.747	32.959
2052	186.173	0,490	91.202	640.171	640	2.774	33.289

6. ESCENARIOS DE GESTIÓN ANALIZADOS

6.1. Identificación de usuarios residenciales, comerciales, institucionales e industriales potenciales a considerar

6.1.1. Usuarios residenciales

El municipio de Sogamoso cuenta con 48.360 suscriptores residenciales del servicio público de aseo a los que hay que sumar 1.602 usuarios rurales o *veredales*. En conjunto este segmento representa el 88.5% de todos los usuarios atendidos por el prestador, por lo que representan el principal generador potencial de residuos orgánicos de la ciudad. Por su parte, los usuarios comerciales corresponden al 10%, los industriales al 1,4% y los institucionales al 0,1% del total. La producción total de RSM según las proyecciones realizadas se estima en unas 69 toneladas por día, de las cuales la mayor parte proviene del segmento residencial (cabecera + rural/veredal) con unas 62 toneladas día aproximadamente.

Tabla 15. Suscriptores servicio de aseo de la Ciudad de Sogamoso (2025)

Estrato	1	2	3	4	5	6 o mas	Total
	9.895	27.801	14.706	3.605	314	120	56.441
Residencial	3.980	26.629	14.508	3.013	230		48.360
Industrial	176	40	0	555	0	2	773
Comercial	5.367	118	7	4	12	118	5.626
Veredal	321	990	190	33	68		1.602
Institucional	51	24	1	0	4		80

La mayoría de los suscriptores del segmento residencial (cabecera y rural/veredal) pertenecen a los estratos 2 y 3, con 27.619 y 14.698 usuarios, respectivamente, seguidos por el estrato 1 (4.301 usuarios) y estrato 4 (3.046 usuarios), los estratos 5 y 6 tienen presencia muy reducida (298 y 120 usuarios respectivamente). Esta distribución refleja que la carga principal de residuos domiciliarios proviene de estratos medio-bajos. De hecho, al considerar en conjunto todos los hogares residenciales (cabecera y rural/veredal) como un solo generador, superan ampliamente a cualquier otro sector en la generación potencial de residuos sólidos orgánicos.

Esta caracterización general permite identificar no solo el peso relativo del sector residencial en la generación de RSM, sino también la necesidad de profundizar en cómo varía la composición de los residuos según el nivel socioeconómico. En efecto, los hábitos de consumo, el tipo de productos utilizados y el acceso a servicios presentan diferencias sustanciales entre estratos, lo que se traduce en perfiles diferenciados de generación.

Los resultados de la caracterización física de residuos domiciliarios confirman esta variabilidad (Tabla 16): En los hogares de estrato 1 (ingresos más bajos), los residuos orgánicos constituyen aproximadamente el 77% del peso total de los desechos generados. Es decir, predominan restos de comida y residuos biodegradables, mientras que las fracciones reciclables inorgánicas son muy bajas (en conjunto <15% del peso). Los materiales no orgánicos más comunes en este estrato son los residuos higiénicos (ej. toallas sanitarias, pañales) y textiles, cada uno en proporciones menores al 10%.



Tabla 16. Composición de residuos y fracciones por estrato.

	estrato 1	estrato 2	estrato3	estratos 4 y 5
Papel y Cartón	5,74%	6,97%	0,98%	10,00%
Plástico	2,70%	17,96%	6,17%	27,10%
Vidrio	2,00%	2,37%	2,43%	9,20%
Chatarra	2,15%	2,50%	0,79%	0,20%
Textiles	3,78%	19,96%	12,60%	0,00%
Madera	0	0	0,09%	0
Res. Comida y Alimentos	76,82%	27,79%	49,30%	35,10%
Higiénicos	6,83%	18,99%	12,37%	3,90%
Otros	0	0,0347	0,1526	0,146

En el **estrato 2** se observa un cambio notable; la fracción orgánica desciende a apenas un 28% del peso. Este estrato presentó una mayor proporción de residuos inorgánicos y otros desechos. De hecho, en la muestra caracterizada la fracción orgánica (restos de comida) fue prácticamente equivalente (en peso) a la suma de las fracciones no orgánicas reciclables, situándose cada una alrededor del 30%. Los residuos de tela (trapos) y residuos higiénicos alcanzaron cerca de 20% cada uno, indicando un mayor consumo de productos desechables (pañales, toallas, empaques) en comparación con estrato 1. Los materiales reciclables (papeles, plásticos, vidrios, metales) aparecen en porcentajes pequeños (cada categoría <7% del peso), aunque su volumen físico puede ser significativo por la naturaleza de los empaques.

En el **estrato 3**, la composición vuelve a inclinarse hacia lo orgánico: aproximadamente 49% del peso son residuos orgánicos. El resto se compone principalmente de “otros” residuos mezclados (14%), textiles (13%) e higiénicos (12%), siendo éstos los materiales no orgánicos más representativos.

En los **estratos 4 y 5**, la tendencia muestra una menor proporción de orgánicos, en torno al 35% frente a un 65% inorgánico en peso. Es decir, en los hogares de mayor estrato predominan los residuos no orgánicos (empaques, plásticos, papel, vidrio, residuos sanitarios, etc.), aunque la fracción orgánica sigue representando alrededor de una tercera parte del total.

En conjunto, todos los estratos residenciales muestran a la fracción orgánica como el componente mayoritario o significativo de sus residuos, constituyendo aproximadamente un 47% del residuo total generado, lo que representa el flujo con mayor potencial de aprovechamiento en procesos como el compostaje o la digestión anaerobia.

Los demás componentes del residuo domiciliario se distribuyen entre fracciones reciclables como plástico (13,48%), papel y cartón (5,92%), vidrio (4,00%) y chatarra (1,41%). También destacan los residuos textiles (9,08%) y los residuos higiénicos (10,52%), estos últimos con escaso potencial de recuperación y con frecuencia contaminantes de la fracción orgánica (Imagen 3). El grupo etiquetado como “otros” alcanza un 8,33%, mientras que la presencia de residuos de madera (0,02%) es prácticamente marginal.

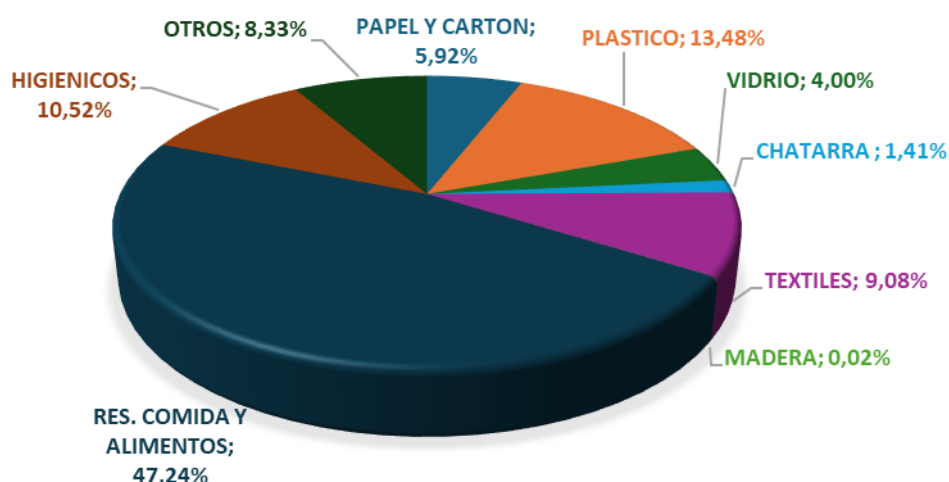


Imagen 3. Promedio global de generación de residuos por fracciones.

Este perfil medio evidencia que, si bien hay diversidad de residuos generados, el mayor aporte en peso sigue siendo el orgánico. La implementación de programas de separación en la fuente orientados a esta fracción tendría, por tanto, un alto impacto potencial en la reducción de residuos dispuestos en el relleno sanitario.

6.1.2. Generadores comerciales e institucionales

6.1.2.1. Establecimientos comerciales

En la actividad 2 se identificaron numerosos establecimientos comerciales con un alto potencial de generación de residuos orgánicos. En total se determinaron 5.626 suscriptores comerciales, es decir, el 86.8% del total de los suscriptores no residenciales (suscriptores industriales, comerciales e institucionales). Después de cruzar la información de las bases de datos de COSERVICIOS S.A. E.S.P., y la Cámara de Comercio, se estableció un total de 4.530 establecimientos relacionados directamente con la generación de residuos orgánicos, donde se incluyen categorías específicas como restaurantes, fruvers o supermercados, y centros comerciales.

Restaurantes: Este grupo comprende los locales de venta de comidas preparadas (restaurantes formales e informales, comedores, expendios). Se trata de generadores con alta producción de residuos orgánicos debido a los restos de alimentos, vegetales, aceites y similares que descartan diariamente, representando un 72.0% de la composición, lo que sitúa a este grupo entre los usuarios con mayor proporción de desechos orgánicos, superando ampliamente a los residuos inorgánicos (aprovechables y no aprovechables). El restante, un 30%, corresponde principalmente a empaques contaminados, servilletas/papel absorbente y algunos reciclables mezclados.



RESTAURANTES

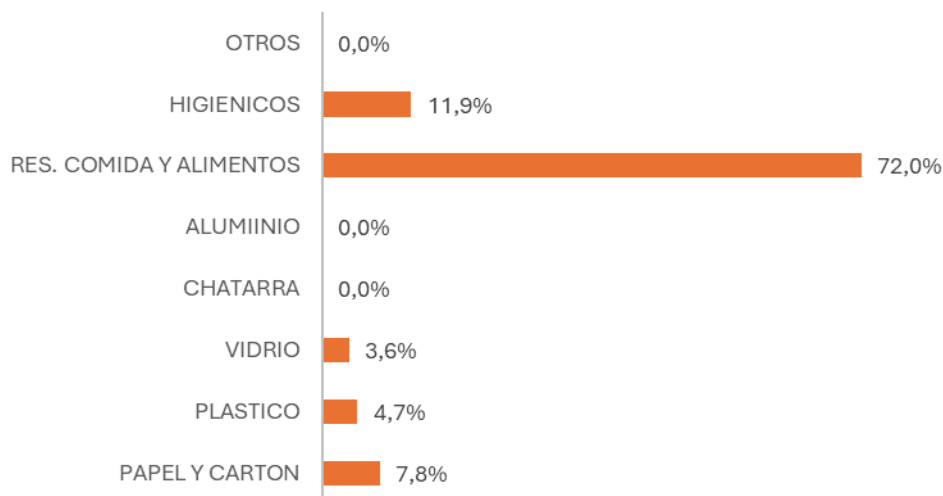


Imagen 4. Generación de residuo por fracciones (Restaurantes).

Los restaurantes generalmente están atendidos por las rutas regulares de aseo y, por tanto, son parte del esquema general de recolección.

Fruvers o supermercados: Bajo esta categoría se agrupan los negocios dedicados a la venta de frutas, verduras, abarrotos y víveres perecederos, desde pequeñas fruterías y tiendas de barrio hasta secciones de perecederos en supermercados, durante el desarrollo de la actividad 2 se identificaron 1.230 establecimientos. Son también grandes productores de desperdicios orgánicos, que proviene mayoritariamente del deterioro de los productos y/o de su arreglo., acercándose al 90% del peso de sus residuos (Imagen 5) .

FRUVERS O SUPERMERCADOS

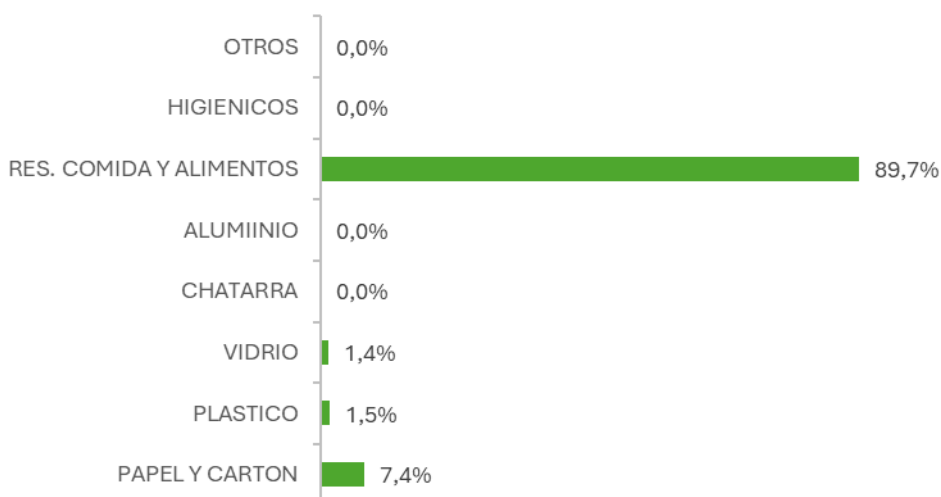


Imagen 5. Generación de residuo por fracciones (FRUVERS o supermercados).



Al igual que para el grupo anterior, no hay rutas específicas de recolección exclusiva y documentada para este grupo, enmarcándose en el esquema general de recolección de RSM de Sogamoso.

Centros comerciales En la actividad 2 se seleccionaron 10 centros comerciales para el proceso de caracterización y dentro de estos se caracterizaron los residuos de dos de ellos, el Centro Comercial Iwoka en la zona centro y Centro Comercial El Chinca en la zona sur. Estas instalaciones combinan locales de venta al por menor, servicios, y en algunos casos patios de comidas o restaurantes, por lo que generan tanto residuos orgánicos (principalmente de las áreas de comida) como inorgánicos de comercio general. Durante la caracterización se midió la generación en ambos centros: se halló que, en conjunto, aproximadamente el 50% del peso de sus residuos corresponde a restos de comida (Imagen 6). En la caracterización realizada se detectó un porcentaje alto de "otros" residuos (8.62%), que corresponden a residuos mezclados y contaminados, como cajas de cartón, bolsas, ICOPOR y vasos plásticos, los cuales se contaminan con residuos de comida, impidiendo su separación y reciclaje.

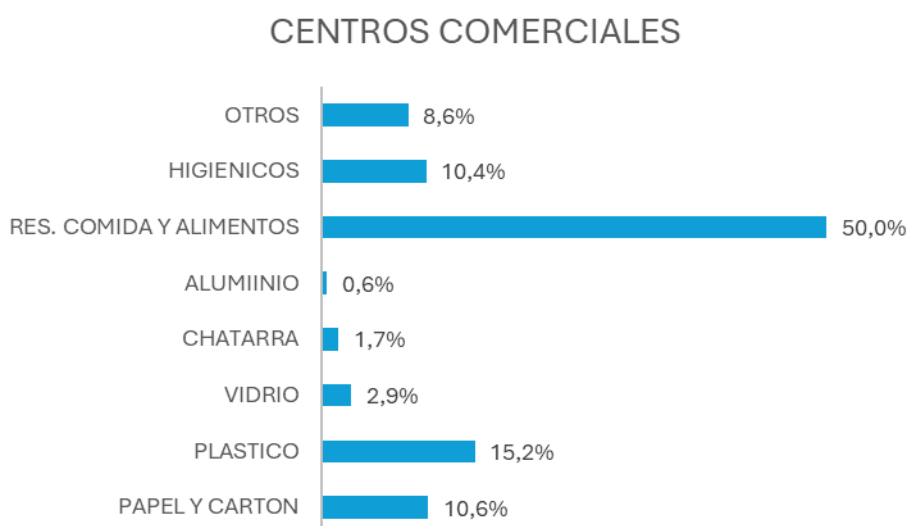


Imagen 6. Generación de residuo por fracciones (Centros comerciales).

Durante la realización del estudio desarrollado en la actividad 2 se observó un comportamiento diferente entre cada centro comercial, mientras que el Centro Comercial IWOKA tiene interés en mantener sus residuos de comida y alimentos separados de otros, y de hecho, parte de estos residuos no son entregados al vehículo recolector, pues existen acuerdos con terceros para su retiro diario; esto indica que una porción de la fracción orgánica se gestiona por canales distintos al servicio público de aseo. En contraste, el Centro Comercial CHINCA no realiza separación en la fuente y entrega todo en contenedores desde donde organizaciones de recicladores de oficio retiran el material aprovechable, y el resto va al vehículo recolector. Consecuentemente, la composición de residuos recolectados del Chinca mostró mayor proporción de orgánicos contaminados (mezclados con desechables sucios) no susceptibles de aprovechamiento.

Ambos centros comerciales reciben el servicio de recolección regular de COSERVICIOS S.A. E.S.P., en sus respectivas macro rutas (Iwoka se atiende en la ruta centro dos veces por semana, y Chinca en la ruta sur).

6.1.2.2. Usuarios institucionales

En el diagnóstico incluido en la actividad 2 y según la base de datos de COSERVICIOS S.A. E.S.P., se identificaron 80 suscriptores institucionales, por su potencial generación de residuos orgánicos, entre los que se encuentran entidades de salud, instituciones educativas y la Plaza de Mercado. Si bien cada entidad tiene dinámicas distintas, comparten la característica de tener comedores, cafeterías o manejo de alimentos para grupos grandes, lo que las hace generadoras de residuos orgánicos significativos.

Varias de estas instituciones ya aplican esquemas de separación o entrega de residuos orgánicos a terceros como el Batallón Tarqui y el Hospital Regional de Sogamoso, que cuentan con procesos de separación interna y comercializan materiales inorgánicos-reciclables con el gremio reciclador, o entregan residuos orgánicos a terceros para su aprovechamiento.

Dentro de este grupo solo se han considerado las instituciones sobre las que tiene control la administración local, como son el Centro de Desarrollo Infantil municipal (CDI), el colegio integrado (Institución Educativa Iwoka) y la Plaza de Mercado.

En la Plaza de Mercado, que concentra la venta mayorista/minorista de alimentos, se midió el caso más extremo de generación de residuo orgánico: aproximadamente 95% de los residuos generados (frutas y vegetales descompuestos, restos de comida, etc.). El Colegio Integrado (Iwoka) y el CDI mostraron una composición del 77 y el 56%, respectivamente, de orgánicos y el resto residuos reciclables o sanitarios.

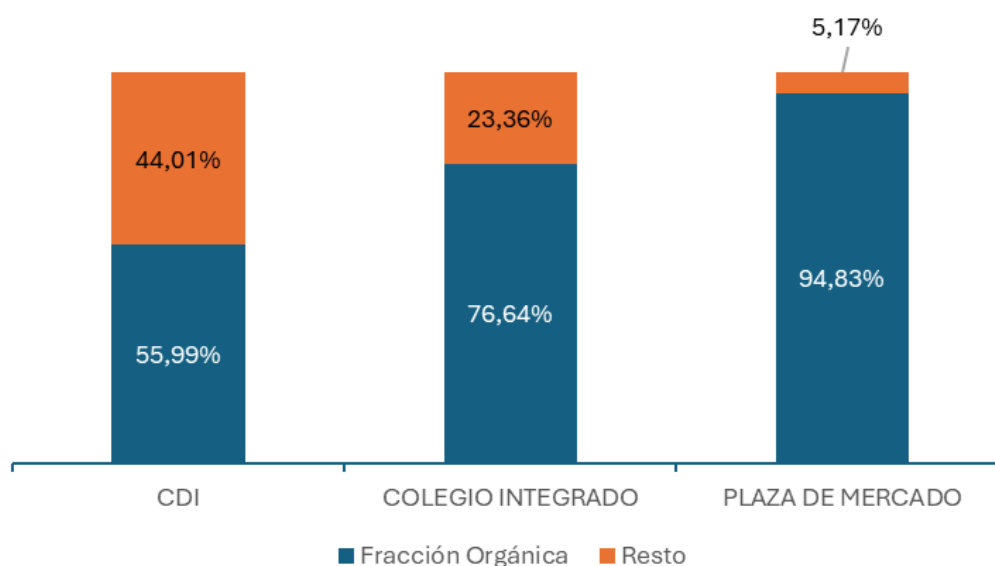


Imagen 7. Generación de residuos por fracción orgánica e inorgánica (usuarios institucionales).

El Colegio Integrado es atendido por una ruta exclusiva (la cuarta macrorruta) junto con el Batallón Tarqui, debido a su ubicación y volumen, con recolección dos veces por semana. La Plaza de Mercado cuenta con recolección diaria por parte de COSERVICIOS S.A. E.S.P., debido a las grandes cantidades de residuos que genera y a la necesidad sanitaria de retirar los desperdicios de comida al finalizar cada jornada. No obstante, parte del material orgánico y



reciclable es gestionado directamente por algunos comerciantes o por terceros, por lo que no siempre es entregado a la administración ni al vehículo recolector oficial.

6.1.3. Generadores industriales y su relevancia en el sistema

El aporte del sector industrial de Sogamoso a la generación de residuos orgánicos no es significativo en el contexto del futuro sistema de tratamiento. En la base de datos de COSERVICIOS S.A. E.S.P., se registran 773 suscriptores industriales, que representan el 1,4% del total de usuarios del municipio. Además, mediante el cruce con datos económicos, se identificaron apenas 75 industrias con alguna relación directa con residuos orgánicos (por ejemplo, actividades agroindustriales, alimentos o similares). El municipio cuenta con una zona homogénea industrial al norte, pero debido a condiciones históricas (impactos ambientales, planeación limitada) dicha zona no se ha desarrollado en plenitud: solo un 13,9% de su área está ocupada por industria activa, según el Plan de Ordenamiento Territorial. Esto implica que la escala de la actividad industrial local es reducida. En términos cualitativos, la mayoría de los establecimientos industriales no genera residuos orgánicos relevantes, ya que su producción de residuos suele ser de tipo inerte o especializado (escombros, residuos minero-metalúrgicos, plásticos industriales, etc.). Únicamente aquellas industrias que cuentan con servicios de alimentación (casinos, cafeterías para empleados) podrían aportar cantidades apreciables de residuos orgánicos ordinarios. Sin embargo, este factor es marginal al considerarse el panorama global.

6.2. Recolección y transporte. Diseño preliminar de rutas

A continuación, como paso previo a la definición de escenarios, se muestran las diferentes modalidades de recolección de residuos.

Actualmente la recolección de residuos mixtos se realiza por sistema de bolseo, en el que el usuario deposita la bolsa de residuos en la vía pública y el equipo recolector formado por un conductor y dos ayudantes realizan la ruta mediante un vehículo de carga trasera. El destino de estos residuos es el relleno sanitario de Pírgua (Tunja), como ya se ha mencionado en apartados anteriores.

El municipio cuenta con una estructura operacional distribuida en tres macrorrutas principales: Centro, Sur y Norte, complementadas por 21 microrrutas, y una macrorruta adicional que cubre el Batallón y el complejo comercial Iwoka (Tabla 17). La frecuencia de recolección establecida en todas las rutas es de dos veces por semana, lo que permite mantener una cobertura constante del servicio. Cada macrorruta presenta una longitud promedio diferenciada de recorridos: 44.4 km por viaje en la zona Centro, 51.8 km en la zona Sur y 71.6 km en la zona Norte, reflejando tanto las condiciones de dispersión urbana como los desafíos logísticos particulares de cada sector.



Tabla 17. Rutas actuales.

MACRORUTA (CODIGO)	CODIGO	LOCALIDAD (BARRIO)
CENTRO 100	C-101	Plaza de la Villa
	C-102	Seis de septiembre
	C-103	Santa Helena
	C-104	La Castellana
	C-105	Santa Inés
	C-106	20 de Julio
	C-107	Barrios
	C-108	Terminal
SUR 200	S-201	Monquirá
	S-202	Sugamuxi
	S-203	El Rosario
	S-204	Magdalena
	S-205	UPTC
	S-206	Venecia
	S-207	Cajas
	S-208	Santa Catalina
NORTE 300	N-301	Recreo
	N-302	Asodea
	N-303	Pradera
	N-304	Parque industrial
	N-305	Gustavo Jiménez
PERIFERIA 400	P-101	Tibasosa

Según lo anterior, COSERVICIOS S.A. E.S.P., reporta la siguiente información de los vehículos compactadores:

Tabla 18. Características flota vehículos compactadores.

NUAP	PLACA	MARCA	CAPACIDAD (yd3)	CAPACIDAD (TON)	NUMERO DE EJES	FECHA DE MATRICULA VEHICULO	FECHA ENTRADA OPERACIÓN VEH	NUMERO DE TURNOS
603215759	TLQ354	Chevrolet	25	12.4	3	30/10/2024	25/11/2024	1
603215759	TLQ355	Chevrolet	25	12.4	3	30/10/2024	25/11/2024	1
603215759	TLQ356	Chevrolet	25	12.4	3	30/10/2024	25/11/2024	1
603215759	TLQ363	Chevrolet	25	12.4	3	30/10/2024	25/11/2024	1
603215759	TLQ364	Chevrolet	25	12.4	3	30/10/2024	25/11/2024	1
603215759	TLQ095	Wolkswagen	29	14.48	3	05/09/2022	10/09/2022	1
603215759	TLP239	Wolkswagen	16	7.86	2	03/03/2014	09/06/2014	1
603215759	XGD865	Wolkswagen	29	20.33	3	15/09/2011	20/09/2011	1
603215759	XGD693	Hino	35	17.72	3	14/09/2010	20/09/2010	1
603215759	SOP992	Wolkswagen	30	15	3	02/07/2009	06/07/2009	1

En total son 10 vehículos recolectores para las 22 microrutas dentro de las 4 macrorutas.



Según información tomada del SUI 2024, la producción total de Residuos Sólidos Municipales fue de 25.645 Ton/año, según el PGIRS 2020 el porcentaje de cada macro ruta son:

- Macro ruta Norte: 24%
- Macro ruta Centro: 37%
- Macro ruta Sur: 32%
- Otros: 7%

Ahora bien, en términos de producción diaria(ton/día) las macrorutas tienen una distribución de la siguiente manera:

- Macro ruta Norte: 93.63 (Ton/día)
- Macro ruta Centro: 144.35 (Ton/día)
- Macro ruta Sur: 124.84 (Ton/día)
- Otros: 27.31 (Ton/día)

El número de compactadores que operan por macro ruta es el siguiente:

- Macro ruta Norte: 5 recolectores
- Macro ruta Centro: 8 recolectores
- Macro ruta Sur: 8 recolectores
- Otros: 2 recolectores

El promedio de recolección diaria de recolector en macro ruta será:

- Macro ruta Norte: 18.04 (Ton/día)
- Macro ruta Centro: 18,72 (Ton/día)
- Macro ruta Sur: 15.61 (Ton/día)
- Otros: 13.65 (Ton/día)

Según la caracterización propuesta en el presente estudio, la fracción de residuos sólidos domiciliarios orgánicos son del orden del 40%, luego la producción estimada por macro ruta será de orgánicos será: Centro 7.22ton/recolección/recolector, Norte 7.49 ton/recolección/recolector, Sur 6.24 ton/recolección/recolector y otros 5.46 ton/recolección/recolector

Se estima que la producción efectiva será del 50%, luego un vehículo aporta lo siguiente:

- Vehículo Centro 3.61 Ton/viaje recolector
- Vehículo Norte 3.75 Ton/viaje recolector
- Vehículo Sur 3.12 Ton/viaje recolector
- Vehículo otro 2.73 Ton/viaje recolector

En síntesis, se espera una recuperación de residuos sólidos domiciliarios orgánicos entre (5129.154 y 10258.31) Ton/año, lo anterior significa la ampliación de la vida útil del relleno de dos años más por cada tres años de operación.

Si se implementa la recolección separada de residuos orgánicos, es claro que se libera espacio en los recolectores actuales, lo cual significa que se debe pensar en rediseñar las rutas actuales con el ánimo de no subutilizar los vehículos recolectores debido al transporte separado de residuos orgánicos, y optimizar el recurso de transporte.



Tabla 19: Resumen de las rutas actuales del servicio.

	% C MACRO RUTA S/PGIRS 2020 act 2024	RSD 2024 Informe asamblea	RSD 2024 Informe asamblea	RSD 2024/DIA (*.../12/8 veces)	N° compacta dores	RSD 2024/DIA/ Recolector	RSD MICRO ORG 40% Total/ DIA/Recolector	RSD ORG Efectividad (50%) una Microrruta /DIA/Recolector
1	2	3	4	5	6	7	8	9
RSD 2024/AÑO =>		25645.770	25194	71.24			10258.308	5129.154
CENTRO	0.37	13857.5952	9321.78	144.35	8	18.043744	7.2174975	3.60874875
Norte	0.24	8988.7104	6046.56	93.63	5	18.72648	7.490592	3.745296
SUR	0.32	11984.9472	8062.08	124.84	8	15.6054	6.24216	3.12108
	0.07	2621.7072	1763.58	27.31	2	13.654725	5.46189	2.730945
TOTAL		71.23825		390.14			156.054	78.027
				1.08370833			0.433483333	0.216741667

Los residuos sólidos domiciliarios orgánicos, que producen el CLUS (Coste de césped y poda de árboles) son de 459 Ton/año, la producción de la plaza de mercado minorista es de 563 Ton/año, y la plaza de mercado mayorista corresponde a 482 Ton/año, estas cantidades ingresarían directamente al sistema de tratamiento de orgánicos al ser un residuo homogéneo.

Frente a la expectativa de recolectar los residuos sólidos domiciliarios orgánicos, en forma separada, y considerando que los suscriptores aportan diferentes cantidades según su naturaleza, se procedió a clasificar la base de datos de la **Cámara de Comercio de Sogamoso**, los usuarios en varios grupos se clasificaron mediante una codificación.

Dentro del trabajo en campo realizado y con el fin de constatar y filtrar la información lo más actualizada posible se encontró la siguiente información descrita en la siguiente tabla:

Tabla 20: Cantidad de establecimientos.

N°	Tipo de establecimiento	Código de clasificación	Cantidad
1	Supermercados y grandes superficies	S(Supermercado), Sp (Supermercado pequeño)	S (28), Sp (23)
2	Ventas de frutas y verduras-Fruver	Fruver grande F Fruver pequeño Fp	F (14), Fp (35)
3	Hoteles	H	20
4	Cafeterías	C	71
5	Heladerías	H	10
6	Ventas de Pollos y Carnes	PC y PLL	202
7	Plazoletas de comidas	PZ	3
8	Plaza de mercado	PLZ	1
9	Pescadería	PE	11
10	Otro	O	30
11	Puestos de venta ambulantes	PAMB	30-40

Así mismo, se identificó un conjunto de generadores potenciales de alta relevancia, distribuidos en diferentes puntos georreferenciados. Entre estos usuarios destacan instituciones educativas como la UPTC Sogamoso, el SENA Industrial y Minero, y la UNAD;



entidades de salud de gran capacidad como el Hospital Regional de Sogamoso, la Clínica de Especialistas y la Clínica El Laguito; así como establecimientos de alto flujo de visitantes y generación de residuos orgánicos, tales como supermercados (Metro, Éxito), la Plaza de Mercado Minorista, centros comerciales (Iwoka, Barcelona), el Colegio Sugamuxi, y unidades institucionales como el Batallón Tarqui y la Cárcel de Sogamoso. Esta caracterización espacial permite priorizar rutas de recolección y dimensionar la capacidad de tratamiento en términos de volumen y cantidad.

Tabla 21: Establecimientos potenciales

ID Punto	Nombre	Coordenadas Origen Unico Nacional CTM-12		Coordenadas Geográficas	
		Norte	Este	Latitud	Longitud
1	BATALLON TARQUI	2185182,759	5004767,881	5,675954714	-72,956925325
2	SENA INDUSTRIAL	2194005,407	5010094,511	5,755794285	-72,908790108
3	SENA MINERO	2191189,305	5011698,314	5,730306033	-72,894303509
4	UPTC SOGAMOSO	2188326,612	5006524,342	5,704405300	-72,941053957
5	EXITO	2189614,328	5007802,129	5,716057862	-72,929508009
6	IWOKA	2190508,188	5008559,198	5,724146443	-72,922666833
7	HOSPITAL REGIONAL DE SOGAMOSO	2189336,076	5007625,949	5,713539870	-72,931100086
8	SUPERMERCADO METRO	2189251,893	5007657,924	5,712777980	-72,930811288
9	PLAZA DE MERCADO MINORISTA	2190154,034	5007369,829	5,720942684	-72,933413258
10	COOPRORIENTE	2190962,423	5005700,485	5,728260181	-72,948495202
11	CLINICA DE ESPECIALISTAS	2189671,569	5008237,940	5,716575399	-72,925570401
12	CLINICA EL LAGUITO	2190568,661	5008392,124	5,724693923	-72,924176283
13	CENTRO COMERCIAL BARCELONA	2189787,519	5008093,701	5,717624921	-72,926873463
14	PLAZOLETA CHINCA	2188699,779	5007762,338	5,707781220	-72,929868519
15	COLEGIO SUGAMUXI	2188124,250	5007968,285	5,702572429	-72,928008472
16	UNAD	2188237,481	5008824,112	5,703596160	-72,920276151
17	CARCEL SOGAMOSO	2188174,106	5007326,273	5,703024322	-72,933808843
18	CANASTA	2189437,034	5007781,463	5,714453370	-72,929694916

Ver Anexo 1 Base de datos 2025

Ahora bien, respecto al manejo de los residuos de comida en restaurantes y otros establecimientos de comercio, se identificó que estos establecimientos generalmente entregan sus residuos orgánicos a recolectores con destino a alimentación de cerdos (lavaza), es decir, que hay un comercio relacionado a estos residuos orgánicos con un porcentaje de humedad superior al 80-90 %, además de ser una cantidad que COSERVICIOS S.A. E.S.P., no recoge al ser un residuo que es susceptible a una comercialización, como lo es el caso de la plazoleta de comidas del centro comercial IWOKA, la UPTC y el SENA, entre otros. Por ende, es claro que el manejo de los residuos sólidos domiciliarios se debe hacer en forma integral, iniciando desde la separación en la fuente, transporte separado, tratamiento y disposición final, pues cada etapa influye en la siguiente. Luego es conveniente articular con campañas de Selección en la Fuente involucrando a todos los sectores de la población.

6.3. Escenario 0: Modelo actual de recolección mixta

El Escenario 0 constituye el punto de partida del presente análisis y corresponde a la alternativa de referencia bajo el principio de “no hacer nada” habitual en los estudios comparativos de alternativas. En el contexto operativo actual, debido al cierre temporal del Relleno Sanitario Terrazas del Porvenir, los residuos recolectados en Sogamoso se transportan al Relleno Sanitario Pírgua (Tunja), no obstante, todo el análisis que se presenta a continuación,



incluido este escenario de referencia, se realiza bajo el supuesto metodológico de reapertura/reactivación del Relleno Sanitario Terrazas del Porvenir como sitio de disposición final de referencia. Este escenario mantiene el sistema de recolección de RSM en su estado actual: los residuos de todas las fuentes (domésticas, comerciales, institucionales e industriales) se presentan de manera mezclada para su recolección y son atendidos por COSERVICIOS S.A. E.S.P., mediante las rutas habituales y con el parque automotor disponible, sin separación diferenciada para la fracción orgánica ni estrategias de tratamiento previas a la disposición final.

No obstante, mantener este esquema implica que la fracción orgánica continúe siendo transportada íntegramente a disposición final, sin ningún tipo de proceso de valorización, lo que genera impactos ambientales significativos. En particular, se intensifica la descomposición anaerobia de la materia orgánica, proceso que genera lixiviados y emisiones de biogás (principalmente metano, CH_4). El sistema actual de tratamiento de lixiviados, aunque funcional, enfrenta limitaciones en capacidad y eficiencia que podrían agravarse frente a un incremento sostenido en el volumen de líquidos generados. Este escenario eleva el riesgo técnico y ambiental al aumentar la presión sobre la infraestructura existente, con potenciales consecuencias en términos de infiltración, desbordamientos o mayores costos de operación. Además, al no existir con un sistema activo de captación de biogás, el relleno opera con venteos pasivos y algunas chimeneas de quema controlada, lo que reduce significativamente el control sobre las emisiones atmosféricas y contribuye a una mayor huella de carbono.

Adicionalmente, el depósito continuo y masivo de RSM en el relleno sanitario acelera su colmatación, reduce su vida útil y compromete la capacidad de disposición del municipio a medio plazo. Esta dependencia exclusiva de la disposición final incrementa la carga ambiental y financiera del sistema y resulta poco resiliente ante contingencias técnicas o legales que puedan afectar la operación del relleno. Con base en la proyección de generación de RSM presentada en la Tabla 14, y entendiendo que la totalidad del residuo generado se dispone en el relleno sanitario, el tonelaje anual a disponer aumentaría de 25.958 Ton/año en 2027 (año de referencia para un eventual inicio de operación) a 33.289 Ton/año en 2052, lo que generaría un acumulado del orden de 766.415 Ton para el periodo 2027–2052 (**Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Esta trayectoria refuerza la necesidad de desacoplar la carga de disposición final mediante prevención y tratamiento (separación en la fuente, compostaje, digestión anaerobia, entre otros).

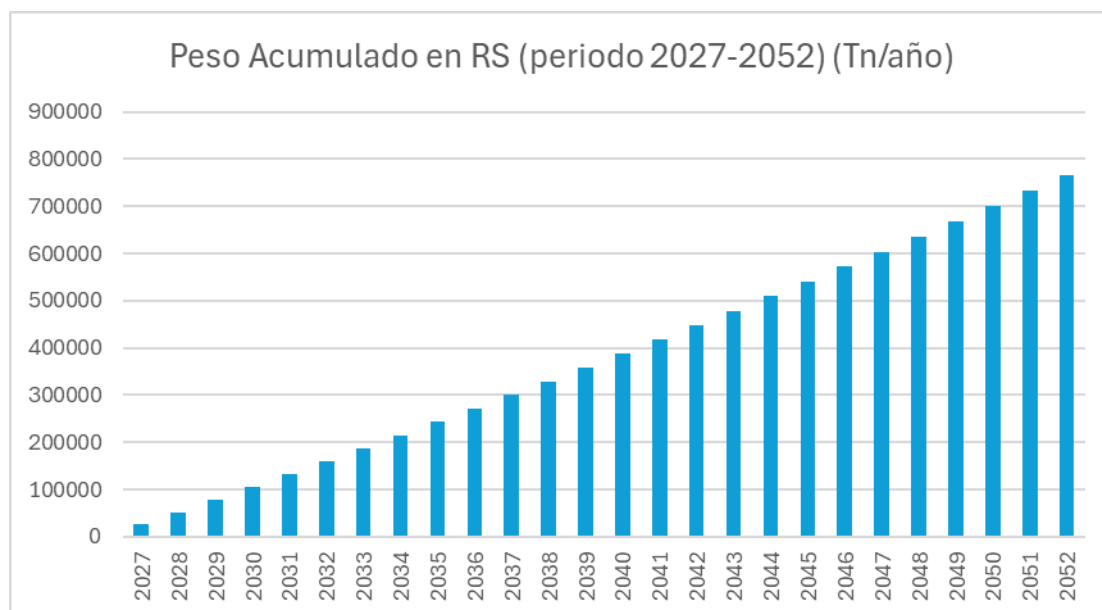


Imagen 8. Acumulación proyectada de RSM a disposición final en el relleno sanitario (2027–2052).

Desde el punto de vista normativo, si bien esta alternativa permite cumplir con las condiciones mínimas establecidas para la prestación del servicio público de aseo, específicamente en lo que respecta a la recolección y la disposición sanitaria de residuos sólidos, no responde al enfoque jerárquico de gestión promovido por el marco regulatorio nacional. Instrumentos como la Estrategia Nacional de Economía Circular hacen énfasis en la necesidad de priorizar la prevención, el aprovechamiento y la valorización por encima de la eliminación. En particular, el Decreto 1077 de 2015 obliga a actualizar lineamientos y guías técnicas para incentivar la recuperación de residuos orgánicos en línea con dichos principios. Asimismo, el Decreto 1077 de 2015 establece la obligación, entre otras, que corresponde a los municipios crear y/o fortalecer el Programa de inclusión de recicladores en el PGIRS.

La permanencia de un esquema de recolección totalmente mixto, sin incorporación de nuevas estrategias diferenciadas, dejaría al municipio al margen de estos lineamientos.

El modelo de gestión vigente en Sogamoso, centrado en la disposición final de residuos en el relleno sanitario, presenta debilidades estructurales que han sido claramente diagnosticadas en el PGIRS. En el análisis de la situación actual se advierte sobre la elevada dependencia operativa del relleno sanitario, la ausencia de rutas selectivas consolidadas, lo cual limita de manera significativa la recuperación de materiales reciclables y orgánicos, y la persistencia de un enfoque basado en la eliminación antes que en la valorización. Asimismo, se identifica la falta de mecanismos efectivos de separación en la fuente, así como la carencia de campañas de educación ambiental robustas que promuevan una cultura ciudadana comprometida con la sostenibilidad. A estas limitaciones se suma la escasa articulación entre actores institucionales, comunitarios y privados, lo que dificulta la consolidación de una gestión integral y participativa.

Frente a este panorama, el PGIRS propone una revisión estructural del modelo actual de gestión, que contemple el fortalecimiento institucional, la diversificación de los esquemas de prestación del servicio, la implementación progresiva de rutas selectivas, y el desarrollo de programas sólidos de educación ambiental y participación comunitaria. Igualmente, plantea una reconversión tecnológica y operativa del sistema, que incluya estudios de factibilidad



orientados a optimizar el esquema de disposición final, ampliar su vida útil y reducir su impacto ambiental. Este proceso apunta a alinear la gestión de residuos del municipio con los principios de economía circular, corresponsabilidad ciudadana y eficiencia en el uso de los recursos.

En conclusión, el Escenario 0 representa una alternativa de continuidad sin costos iniciales ni exigencias operativas adicionales, pero que conlleva importantes costos ocultos en términos ambientales, sociales y económicos. La persistencia en este modelo profundiza la dependencia del relleno sanitario, acelera su desgaste por el continuo ingreso de residuos orgánicos, incrementa la presión sobre los sistemas de tratamiento de lixiviados, desaprovecha recursos valiosos, impide la generación de empleos verdes y expone al municipio a la pérdida de incentivos económicos asociados al aprovechamiento de residuos, como los establecidos en la Ley 1753 de 2015 la que le modifique o sustituya. Además, se aleja de manera significativa de las metas y lineamientos establecidos en el PGIRS, lo que limita las posibilidades de avanzar hacia una gestión sostenible e integrada de los residuos sólidos en el municipio. Por estas razones, se hace necesario evaluar e implementar alternativas más sostenibles, que serán analizadas a continuación.

6.3.1. Planificación del servicio de recolección y transporte de RSM

El Escenario 0 contempla un cambio en el destino final de los residuos mixtos: en lugar de ser transportados al Relleno Sanitario de Pírgua (Tunja), pasarán a disponerse en el relleno Terrazas del Porvenir. Esta modificación permite optimizar los tiempos de transporte y se acompaña de una reconfiguración de las rutas actuales, que se reducen de 22 a 19, mejorando la eficiencia operativa del sistema de recolección.

Tabla 22. Rutas del Escenario 0.

FRACCIÓN	MACRORUTA (CODIGO)	CODIGO	LOCALIDAD (BARRIO)
MIXTA	CENTRO 100	C-101	Seis de septiembre PV
		C-102	La Castellana PV
		C-103	Santa Inés PV
		C-104	20 de Julio SE
		C-105	Barrios SE
		C-106	Terminal SE
	SUR 200	S-201	Monquirá SC
		S-202	Sugamuxi SC
		S-203	El Rosario SC
		S-204	Magdalena SC
		S-205	UPTC SC
		S-206	Venecia SC
		S-207	Cajas SC
	NORTE 300	N-301	Recreo
		N-302	Asodea
		N-303	Pradera
		N-304	Parque industrial
		N-305	Gustavo Jiménez
	PERIFERIA 400	P-101	Tibasosa



La planificación anual del servicio de recolección de residuos está organizada en macrorutas que dividen el territorio en cuatro grandes zonas: Centro, Sur, Norte y Periferia. Cada una de estas áreas concentra varias rutas específicas que permiten garantizar la cobertura de los barrios y sectores, adaptando la frecuencia y duración del servicio a las características de la zona.

En todas las rutas se recoge la fracción de residuo resto, es decir, los desechos que no son reciclables. La jornada laboral es predominantemente diurna, con un horario de 7:00 a 15:00 y una duración de 8 horas. Sin embargo, en algunos casos –como en el Norte o la Periferia– se establecen jornadas más cortas de 5 a 6,5 horas, lo que responde a menores volúmenes de residuos o a recorridos más reducidos.

La recolección y transporte de residuos del Escenario 0 necesita una serie de medios materiales que permite la ejecución del servicio. A continuación, se muestran los medios materiales necesarios para prestar el servicio:

Tabla 23: Medios materiales necesarios para prestar el servicio de recolección y transporte del Escenario 0.

UDS	CONCEPTO
7	C.R.C. 25 yardas cubicas C.T.

La frecuencia de recolección es generalmente de dos días a la semana, distribuidos de forma alternada. Este esquema se traduce en aproximadamente 104 jornadas efectivas de trabajo al año por ruta, lo cual asegura una cobertura constante sin sobredimensionar los recursos. En algunos casos puntuales se suman servicios en domingos o festivos, reforzando la atención en zonas de mayor generación.

Cada ruta está operada por un equipo de tres personas: un conductor y dos ayudantes o tripulantes. Esta dotación resulta estándar para el tipo de camión asignado, que en todos los casos es un camión recolector-compactador de 25 yardas cubicas de carga trasera. La homogeneidad en la maquinaria aporta ventajas logísticas, ya que simplifica el mantenimiento, la capacitación del personal y la disponibilidad de repuestos. En cuanto a medios humanos, el Escenario 0 necesita una serie de personal directo e indirecto para poder prestar el servicio. A continuación, se muestra el personal equivalente por categoría profesional necesaria para prestar el servicio:

Tabla 24: Medios humanos necesarios para prestar el servicio de recolección y transporte del Escenario 0.

UDS	CONCEPTO
Coste Personal Indirecto	
1,00	Director
1,00	Jefe de unidad
1,00	Profesional de apoyo
1,00	Auxiliar administrativo
1,00	Siso
Coste Personal Directo	
6,76	Conductor día



UDS	CONCEPTO
13,51	Ayudante tripulación día
0,00	Conductor noche
0,00	Ayudante tripulación noche
1,00	Soldador
1,00	Mecánico
1,00	Lavador
28,27	TOTAL

En términos de productividad, la planificación arroja un total cercano a 1.900 jornadas anuales de recolección, distribuidas de manera proporcional a la densidad y necesidades de cada zona. El Centro y el Sur concentran la mayor parte de las jornadas, reflejando su mayor densidad urbana, mientras que la Periferia cuenta con un esquema más ligero, adecuado a su menor generación de residuos.

A continuación, se muestra la planificación del servicio que muestra la eficiencia operativa del sistema de recolección, indicando composición de equipos, frecuencias y horarios:



Tabla 25: Planificación del servicio de recolección y transporte de residuos del escenario 0.

PLANIFICACIÓN DEL SERVICIO ANUAL (ESCENARIO 0)																		
Descripción	Fracción	Turno	Duración (h)	Hora inicio	Hora fin	Frecuencia							Días de servicio		Puestos de trabajo		Maquinaria	
						L	M	X	J	V	S	D	Días/año (L - S)	Días/año (D + F)	Cond.	Ayudante Trip	Maquinaria	Jornadas completas
MACRORUTACENTRO																		
Ruta Seis septiembre PV	Resto	D	8,00	7:00	15:00	X			X				99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta La Castellana PV	Resto	D	8,00	7:00	15:00	X			X				99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Santa Inés PV	Resto	D	8,00	7:00	15:00	X			X				99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta 20 de julio SE	Resto	D	8,00	7:00	15:00	X			X				99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Barrios SE	Resto	D	8,00	7:00	15:00	X			X				99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Terminal SE	Resto	D	8,00	7:00	15:00	X			X				99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
MACRORUTASUR																		
Ruta Monquirá SC	Resto	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Sagamuxi SC	Resto	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta el Rosario SC	Resto	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Magdalena SC	Resto	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta UPTC SC	Resto	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Venecia SC	Resto	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Cajas SC	Resto	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
MACRORUTANORTE																		
Ruta Recreo	Resto	D	8,00	7:00	15:00			X			X		99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Asodea	Resto	D	8,00	7:00	15:00			X			X		99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Pradera	Resto	D	5,00	7:00	12:00			X			X		99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	65
Ruta Parque Industrial	Resto	D	8,00	7:00	15:00			X			X		99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Gustavo Jimenéz	Resto	D	5,00	7:00	12:00			X			X		99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	65
MACRORUTAPERIFERIA																		
Ruta Periferia	Resto	D	6,50	7:00	13:30			X			X		99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	85



6.4. Escenario 1: Recolección Selectiva Limitada (grandes productores)

El Escenario 1 propone implementar una recolección selectiva de residuos orgánicos limitada a los grandes productores (tales como plazas de mercado, supermercados, restaurantes de gran tamaño e instituciones que producen altos volúmenes de orgánicos), mientras que el resto de la población (hogares residenciales comunes y pequeños comercios) mantendría la recolección mixta tradicional. En esencia, se plantea un modelo dual: los grandes productores separan sus residuos orgánicos en la fuente y los entregan por aparte, y paralelamente se conserva el servicio convencional para los demás usuarios. Esta focalización reconoce que, si bien los grandes productores no aportan la mayor parte del volumen total de orgánicos, son fuentes más controlables y capaces de separar eficientemente. De este modo se captura una cantidad significativa de residuos orgánicos de buena calidad con un esfuerzo logístico acotado, sirviendo además como ejemplo para el resto de la comunidad.

6.4.1. Proyección de generación de residuos

Para cuantificar el impacto progresivo de esta propuesta de recolección selectiva limitada a grandes productores, se ha modelado la evolución de la fracción orgánica separada en la fuente para el periodo **2025–2052**, en coherencia con el criterio temporal y los años de referencia establecidos en el capítulo de proyecciones. La estrategia de implantación se plantea de forma escalonada a partir de dos parámetros:

- **Cobertura del servicio** (porcentaje de grandes productores incorporados), con una progresión 60%–70%–85%–90%–100% durante los primeros cuatro años.
- **Índice de reciclaje efectivo del flujo separado**, con una evolución progresiva establecida en un 25%–50%–75%–100% para los primeros cuatro años. Esta progresión refleja la mejora en la calidad del material recolectado y la estabilización de los contratos de tratamiento.

Estos supuestos se apoyan en referencias técnicas internacionales²⁰ sobre recolección separada de biorresiduos que muestran incrementos acelerados de cobertura y rendimiento en grandes productores cuando se combinan separación en la fuente, control de impropios e infraestructura de tratamiento. Como línea base, según información de COSERVICIOS S.A. E.S.P., los grandes productores generan del orden de 20 t/mes, valor utilizado para la calibración del año 0 del modelo. Adicionalmente, se aplica una tasa de crecimiento anual del 1 %, en línea con la utilizada para la estimación de la generación de RSM en el periodo 2025–2052 (véase apartado 5.4).

²⁰ “Gestión de biorresiduos de competencia municipal. 2013. Ministerio de agricultura, alimentación y medio ambiente. Gobierno de España”. “Libro Verde sobre la gestión de los biorresiduos en la Unión Europea” (SEC(2008)2936, Comisión Europea). “Guía práctica para la implementación del compostaje comunitario” 2019, Asociación Fertil Auro”



La siguiente tabla (Tabla 26) sintetiza las proyecciones anuales de generación total de RSM, la fracción de residuo orgánica generada por los grandes productores sin separación y separada en la fuente.

Tabla 26. Proyección de generación de residuos para el escenario 1. Recolección selectiva limitada Grandes Productores (GP).

Año	Generación RSM (Ton/año)	Peso estimado fracción orgánica GP (Ton/año)	Fracción orgánica separada en la fuente (Ton/año)	Residuo mezclado GP (Ton/año)
2025	25.446	234,84	35,23	250,61
2026	25.701	237,19	83,02	205,68
2027	25.958	239,56	152,72	138,86
2028	26.217	241,96	217,76	76,74
2029	26.479	244,38	244,38	53,07
2030	26.744	246,82	246,82	53,60
2031	27.012	249,29	249,29	54,13
2032	27.282	251,78	251,78	54,68
2033	27.555	254,30	254,30	55,22
2034	27.830	256,84	256,84	55,77
2035	28.108	259,41	259,41	56,33
2036	28.389	262,00	262,00	56,90
2037	28.673	264,62	264,62	57,46
2038	28.960	267,27	267,27	58,04
2039	29.250	269,94	269,94	58,62
2040	29.542	272,64	272,64	59,21
2041	29.838	275,37	275,37	59,80
2042	30.136	278,12	278,12	60,40
2043	30.437	280,90	280,90	61,00
2044	30.742	283,71	283,71	61,61
2045	31.049	286,55	286,55	62,23
2046	31.360	289,41	289,41	62,85
2047	31.673	292,31	292,31	63,48
2048	31.990	295,23	295,23	64,11
2049	32.310	298,18	298,18	64,75
2050	32.633	301,17	301,17	65,40
2051	32.959	304,18	304,18	66,05
2052	33.289	307,22	307,22	66,71

La proyección indica que la fracción orgánica de los grandes productores (GP) parte de unas 235 Ton/año en 2025 y alcanzaría 307 Ton/año en 2052, lo que equivale a menos de 1 Ton/día incluso al final del horizonte (aprox. 0,84 t/día). En términos relativos, su peso frente a la generación total de RSM se mantiene modesto (aproximadamente un 0,92 %); sin embargo, el valor operativo es significativo por la alta calidad del flujo cuando se separa en la fuente (menores impropios y mayor uniformidad). Este escenario reduce la cantidad de residuo destinado a disposición final contribuyendo levemente a desacoplar la presión sobre la disposición final (menor generación potencial de lixiviados y biogás), consolidando una línea



de trabajo pequeña en volumen, pero clave por su calidad y efecto demostrativo para futuras ampliaciones del sistema.

6.4.2. Planificación del servicio de recolección y transporte

El Escenario 1 toma como referencia la planificación del Escenario 0, que funcionaba como la línea base del servicio de recolección con foco exclusivo en la fracción resto. A esa estructura consolidada de rutas, frecuencias y recursos, ahora se le suma la recolección separada de los residuos orgánicos.

La Tabla 30 muestra que se han diseñado rutas específicas para los grandes productores (Centro, Sur y Norte), complementadas con una ruta de apoyo en horario diurno. Estas rutas de orgánica tienen una característica diferenciadora respecto a la base: funcionan principalmente en turno nocturno, con jornadas de 8 horas desde las 22:00 hasta las 6:00, todos los días de la semana. Con ello se asegura una frecuencia intensiva de 365 jornadas al año, lo cual es coherente con la naturaleza de la fracción orgánica, que requiere una recolección más constante para evitar problemas de descomposición, olores y vectores.

En base a los volúmenes estimados de orgánico separados por los grandes productores sería necesaria la implementación de tres rutas selectivas (una ruta para cada zona de las macro rutas) y una ruta de apoyo exclusiva para recoger estos residuos orgánicos por separado. Los principales aspectos operativos serían:

- **Identificación de grandes productores:** En conjunto con la Cámara de Comercio y la autoridad ambiental local, se tiene un registro de los grandes productores de orgánico (mercados, restaurantes, fruver, hoteles, etc.).
- **Infraestructura de separación:** A cada establecimiento priorizado se le proveerían recipientes diferenciados (contenedores plásticos de **20 - 800 litros**) para disponer solamente sus residuos orgánicos limpios. Se capacitaría al personal de estos negocios en la adecuada segregación (evitando impropios como plásticos, servilletas, etc. en esa fracción), mediante campañas de concienciación.
- **Comunicación y control:** La implementación limitada a un grupo específico permite llevar a cabo un proceso de socialización y capacitación personalizada. Se trabajaría directamente con cada gran generador, mediante acuerdos voluntarios o convenios donde se estipulen las responsabilidades de separar y entregar adecuadamente sus biorresiduos. Este acompañamiento cercano, junto con la supervisión periódica de la separación en estos puntos, asegura un alto cumplimiento. Esta estrategia focalizada facilita un arranque rápido del programa y genera resultados tempranos que luego pueden divulgarse para motivar la expansión del modelo.

La maquinaria asignada para la recolección de orgánica empleará vehículos de caja abierta y un camión recolector compactador de menor capacidad (5 yardas) en la ruta de apoyo. Esto contrasta con el esquema del escenario base, en el que todas las rutas de resto se realizan con compactadores estandarizados de 25 yardas. La elección de vehículos más pequeños y abiertos responde a la necesidad de manejar flujos más frecuentes, con cargas menos voluminosas pero más sensibles en términos de tiempo de almacenamiento. A continuación, se muestra los medios materiales necesarios para prestar el servicio:



Tabla 27: Medios materiales necesarios para prestar el servicio de recolección y transporte del Escenario 1.

UDS	CONCEPTO
7	C.R.C. 25 yardas cubicas C.T.
1	C.R.C. 5 yardas cubicas C.T.
3	Vehículo Caja Abierta
600	Contenedores 20l (establecimientos)
107	Contenedores 800 l con cerradura (establecimientos)

Mientras tanto, la recolección de resto se mantiene idéntica a la del Escenario 0, funcionando como el pilar operativo. Se conserva la distribución por macrorutas (Centro, Sur, Norte y Periferia), las jornadas diurnas de 7:00 a 15:00, la frecuencia de dos días a la semana y la cuadrilla estándar de un conductor y dos ayudantes.

Tabla 28. Rutas del Escenario 1

FRACCIÓN	MACRORUTA (CODIGO)	CODIGO	LOCALIDAD (BARRIO)
ORGÁNICA	CENTRO	O-100	Ruta Centro
	SUR	O-200	Ruta Sur
	NORTE	O-300	Ruta Norte
	TODO	O-400	Ruta Apoyo
MIXTA	CENTRO 100	C-101	Seis de septiembre PV
		C-102	La Castellana PV
		C-103	Santa Inés PV
		C-104	20 de Julio SE
		C-105	Barrios SE
		C-106	Terminal SE
	SUR 200	S-201	Monquirá SC
		S-202	Sugamuxi SC
		S-203	El Rosario SC
		S-204	Magdalena SC
		S-205	UPTC SC
		S-206	Venecia SC
		S-207	Cajas SC
	NORTE 300	N-301	Recreo
		N-302	Asodea
		N-303	Pradera
		N-304	Parque industrial
		N-305	Gustavo Jiménez
	PERIFERIA 400	P-101	Tibasosa

En cuanto a medios humanos, el Escenario 1 necesita una serie de personal directo e indirecto para poder prestar el servicio. A continuación, se muestra el personal equivalente por categoría profesional necesaria para prestar el servicio:



Tabla 29: Medios humanos necesarios para prestar el servicio de recolección y transporte del Escenario 1.

UDS	CONCEPTO
Coste Personal Indirecto	
1,00	Director
1,00	Jefe de unidad
1,00	Profesional de apoyo
1,00	Auxiliar administrativo
1,00	Siso
Coste Personal Directo	
7,41	Conductor día
14,17	Ayudante tripulación día
3,93	Conductor noche
3,93	Ayudante tripulación noche
1,00	Soldador
1,00	Mecánico
1,00	Lavador
37,44	TOTAL

A continuación, se muestra la planificación del servicio que muestra la eficiencia operativa del sistema de recolección, indicando composición de equipos, frecuencias y horarios:



Tabla 30: Planificación del servicio de recolección y transporte de residuos del escenario 1.

PLANIFICACIÓN DEL SERVICIO ANUAL ESCENARIO 1																		
Descripción	Fracción	Turno	Duración (h)	Hora inicio	Hora fin	Frecuencia							Días de servicio		Puestos de trabajo		Maquinaria	
						L	M	X	J	V	S	D	Días/año (L - S)	Días/año (D + F)	Cond.	Ayudante Trip	Maquinaria	Jornadas completas
GRANDES PRODUCTORES																		
Ruta Centro	Orgánica	N	8,00	22:00	6:00	X	X	X	X	X	X	X	294	70	1	1	Vehículo Caja abierta	364
Ruta Sur	Orgánica	N	8,00	22:00	6:00	X	X	X	X	X	X	X	294	70	1	1	Vehículo Caja abierta	364
Ruta Norte	Orgánica	N	8,00	22:00	6:00	X	X	X	X	X	X	X	294	70	1	1	Vehículo Caja abierta	364
Ruta Apoyo	Orgánica	D	4,00	7:00	11:00	X	X	X	X	X	X	X	294	70	1	1	C.R.C. 5 yardas C.T.	182
MACRORUTACENTRO																		
Ruta Seis septiembre PV	Resto	D	8,00	7:00	15:00	X			X				99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta La Castellana PV	Resto	D	8,00	7:00	15:00	X			X				99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Santa Inés PV	Resto	D	8,00	7:00	15:00	X			X				99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta 20 de julio SE	Resto	D	8,00	7:00	15:00	X			X				99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Barrios SE	Resto	D	8,00	7:00	15:00	X			X				99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Terminal SE	Resto	D	8,00	7:00	15:00	X			X				99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
MACRORUTASUR																		
Ruta Monquirá SC	Resto	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Sagamuxi SC	Resto	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta el Rosario SC	Resto	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Magdalena SC	Resto	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta UPTC SC	Resto	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Venecia SC	Resto	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Cajas SC	Resto	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
MACRORUTANORTE																		
Ruta Recreo	Resto	D	8,00	7:00	15:00			X			X		99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Asodea	Resto	D	8,00	7:00	15:00			X			X		99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Pradera	Resto	D	5,00	7:00	12:00			X			X		99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	65
Ruta Parque Industrial	Resto	D	8,00	7:00	15:00			X			X		99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Gustavo Jiménez	Resto	D	5,00	7:00	12:00			X			X		99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	65
MACRORUTAPERIFERIA																		
Ruta Periferia	Resto	D	6,50	7:00	13:30			X			X		99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	85



6.4.3. Tratamiento de los orgánicos separados

El Reglamento Técnico RAS (Título F)²¹, clasifica las capacidades operativas para el diseño de las instalaciones de aprovechamiento, incluyendo el compostaje, según el número de usuarios de manera que las plantas industriales mecanizadas suelen planificarse a partir de 8.001 usuarios, mientras que escalas semi-mecanizadas pueden operar en rangos de 3.001 a 8.000 usuarios. Por debajo de 3.000 usuarios, la guía recomienda la operación manual ya que la viabilidad económica y técnica de una planta industrial es muy limitada, debido a la pobre recuperación de la inversión y a los altos costos fijos de operación frente a un volumen tan reducido de materia prima.

Para el planteamiento de este escenario se ha considerado la incorporación progresiva de 1.766 grandes productores (GP). En el año 0 (2025), la fracción orgánica total de GP se estima en 235 Ton/año (0,65 Ton/día), de las cuales la cantidad efectivamente separada en la fuente, al arranque de la recolección selectiva, se sitúa en 35 Ton/año (aproximadamente 0,10 Ton/día), es decir, un volumen pequeño (0,25 m³/día suponiendo 0,40 Ton/m³). Conforme progresa la implantación y se van incorporando grandes productores, la orgánica separada asciende a 218 Ton/año en 2028 (0,60 Ton/día, 1,5 m³/día con 0,40 t/m³). Cuando los GP colaboran casi completamente, se alcanzarían unas 244 Ton/año en 2029 (colaboración plena), aumentando a 307 Ton/año en 2052 (≈0,83 Ton/año, ≈2,06 m³/día). Esta evolución refleja tanto el efecto de la implantación progresiva del servicio como el crecimiento demográfico del municipio y confirma que, aun en régimen estable, la cantidad disponible sigue siendo reducida.

En términos de capacidad operativa, y de acuerdo con el **RAS (Título F)**, incluso con la incorporación de todos los usuarios (1.766) el sistema se sitúa por debajo de 3.000, rango en el que se recomienda operación manual.

En consecuencia, considerando el número de usuarios y los volúmenes de materia orgánica que manejaría Sogamoso en este escenario, no se justifica una planta industrial exclusiva de gran escala para este flujo, siendo la alternativa más eficiente un sistema de compostaje descentralizado de pequeña escala (de 1 a 10 ton/día) modular y escalable a medida que aumente la adhesión de fuentes. Esta opción, según estudios recientes, pueden operar con costos mucho menores que las industriales²² ya que implican menor inversión en maquinaria pesada y pueden ampliarse conforme crezca la cantidad de orgánico separado. Esto refuerza la recomendación de iniciar con un esquema de compostaje simple y escalable acorde a la modesta cantidad de residuos orgánicos recuperados.

En caso de que el municipio disponga en el futuro de una planta de Tratamiento Mecánico-Biológico (TMB) para residuos mezclados la fracción orgánica separada de los grandes

²¹ Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. Título F. Sistemas de Aseo Urbano.

²² "Environmental and economic assessment of the construction, operation, and demolition of a decentralized composting facility." Liao Nanlin, Lü Fan, Zhang Hua, Shao Liming, He Pinjing. Science of The Total Environment, Volume 884, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163724>.



productores podría destinarse a dicha instalación. Desde el punto de vista técnico, esta integración es viable e incluso recomendable: los residuos orgánicos de recolección selectiva son de mucho mejor calidad (más homogéneos y con mínima contaminación por impropios) que la fracción orgánica obtenida mecánicamente de los residuos mezclados, lo que mejora la cinética de descomposición y la calidad del compost. El co-tratamiento de ambos flujos puede elevar la calidad promedio del producto, siempre que la planta TMB cuente con capacidad operativa y protocolos de preceptación para recibir e incorporar este material de mayor calidad. En contextos donde la recolección selectiva de orgánicos es incipiente, es habitual aprovechar al máximo la infraestructura industrial existente combinando la poca cantidad separada con la corriente principal tratada. Aunque en Colombia no se documentan aún casos prominentes de esta práctica (dado que la recolección separada de orgánicos apenas comienza en la mayoría de las ciudades), la literatura técnica y manuales internacionales (Swisscontact, MINAM, etc.) avalan esta estrategia como una solución eficiente cuando las cantidades separadas no justifican por sí solas una planta dedicada.

6.4.4. Destino del residuo mezclado remanente

Una consideración importante de este escenario es que la mayor parte de los residuos orgánicos del municipio seguiría sin recogerse separadamente. Los hogares residenciales y pequeños comercios (no considerados como grandes productores y, por tanto, no incluidos en las rutas de recolección selectiva) continuarían presentando sus residuos mezclados, por lo que la fracción orgánica mayoritaria terminará en la corriente de residuos ordinarios dirigida al relleno sanitario. En otras palabras, aunque se logrará desviar del relleno el aporte orgánico de los grandes productores atendidos, esta cantidad apenas afectaría al volumen total de materia orgánica que llega al relleno sanitario proveniente del resto del municipio.

En términos cuantitativos, el desvío logrado con los grandes productores es muy limitado respecto del tonelaje municipal total: en 2025 la orgánica separada de GP es de 35 Ton/año, apenas un 0,14 % del RSM total (25.446 Ton/año); con la implantación completa de los GP (a partir de 2029) el desvío se estabiliza en el entorno del 0,9 % del total (p. ej., 244 Ton/año sobre 26.479 Ton/año en 2029, y 301 Ton/año sobre 32.633 Ton/año en 2050). Es decir, más del 99 % del tonelaje municipal continúa en flujo mixto, de modo que la gran mayoría de los orgánicos del municipio seguirá llegando a disposición final mientras no se amplíe el programa a otros generadores.

En consecuencia, los impactos ambientales asociados a la disposición final de residuos orgánicos comentados para el Escenario 0 se reducirán solo parcialmente. La degradación anaerobia en el relleno seguirá generando biogás y lixiviados, aunque ligeramente por debajo del escenario sin medidas. Del mismo modo, desde la perspectiva de las metas de aprovechamiento establecidas en el PGIRS, esta alternativa no sería suficiente para alcanzar los objetivos de mediano plazo en separación en la fuente. La tasa de recuperación mejoraría modestamente, pero difícilmente superaría unos pocos puntos porcentuales del total municipal, dado que solo se está interviniendo un subgrupo de la generación total.

6.4.5. Beneficios y alcance operativo

A pesar de ser una aproximación conservadora en alcance, este escenario presenta varias ventajas destacables:

- **Implementación rápida y de menor complejidad:** Al enfocarse en un grupo acotado de generadores, la logística de arranque es más sencilla. No se requiere cambiar el comportamiento de toda la población de golpe, sino coordinar con decenas de actores identificados. Esto permite que la medida se ponga en marcha en el corto plazo, con inversiones modestas (compra de contenedores específicos, vehículo recolector pequeño, capacitación focalizada). Es una solución pragmática que logra iniciar el aprovechamiento orgánico sin esperar a tener todo un sistema masivo establecido.
- **Mejora de la calidad del residuo orgánico recuperado:** Al provenir de fuentes grandes y controladas, el residuo orgánico separado presenta bajos impropios y alta homogeneidad, lo que mejora la eficiencia del compostaje y la calidad del mismo. Incluso si se integra en una TMB y se mezcla con la fracción orgánica de residuos mixtos elevará la calidad promedio del material tratado. Tener materia prima orgánica más pura facilita cumplir estándares de compost y aumenta las posibilidades de uso o comercialización del abono obtenido.
- **Cumplimiento normativo parcial y acceso a incentivos:** La normativa colombiana (Resolución CRA 754 de 2014, entre otras) exige a los municipios implementar esquemas de separación en la fuente y rutas selectivas. Con esta alternativa, Sogamoso comenzaría a dar cumplimiento a dichas disposiciones, al menos de manera parcial pero tangible. Esto sería un avance frente a la situación actual donde *“no existen rutas selectivas implantadas”*. Además, cualquier cantidad de residuos aprovechados vía compostaje podrá ser reportada en los indicadores oficiales, mejorando el índice de tratamiento del municipio. Al tener definido en el PGIRS un proyecto de aprovechamiento viable, el municipio califica para que se cobre a los usuarios el Incentivo para el Aprovechamiento y Tratamiento de Residuos Sólidos IAT desarrollado por el Decreto Reglamentario 802 de 2022 de lo contemplado en el Artículo 88 de la Ley 1753 de 2015, el cual se calcula sobre las toneladas de residuos no aprovechables por suscriptor o usuario del servicio público, a las entidades territoriales. Dichos recursos, si se formula un proyecto de acuerdo con lo señalado en la Resolución 574 de 2002, podrá financiar en parte o en todo, acorde a los recursos recaudados y no ejecutados por el municipio.
- **Beneficios educativos y demostrativos:** Aunque la separación no alcanza a todos los ciudadanos, el proyecto con grandes productores tiene un efecto demostración importante. Permite generar casos de éxito en contextos locales, por ejemplo, mostrar que en la Plaza de Mercado los residuos ya no se botan, sino que se convierten en compost, con resultados visibles como huertas urbanas abonadas o jardines municipales mejorados con ese compost. Estas experiencias positivas se pueden difundir para ir construyendo conciencia pública. Asimismo, se evita la sobrecarga inicial de campañas masivas y se concentra la pedagogía ambiental en actores más receptivos (empresas y empleados que pueden adoptar prácticas verdes corporativas), lo cual sienta las bases culturales para luego extender la separación a sectores residenciales.



- **Mejoras operativas y de disposición:** Retirar parte de los orgánicos del flujo general conlleva pequeños pero significativos ahorros operativos. En primer lugar, la cantidad de residuo orgánico que se desvía directamente del relleno se traduce en disposición evitada y en un menor ritmo de llenado del relleno, con la consiguiente extensión marginal de su vida útil. En segundo lugar, al separar los orgánicos en puntos de alta generación (p. ej., plazas de mercado y centros comerciales) se suavizan los picos de carga en contenedores de mezclados, disminuyen los reboses e incidencias y se estabilizan las rutinas de limpieza en esos focos. Por último, la calidad del flujo separado genera un caudal estable y predecible para la valorización, lo que facilita la programación operativa (rutas y ventanas horarias), reduce rechazos en planta y mejora la trazabilidad mediante indicadores de desempeño (toneladas separadas e impropios), reforzando la gestión y el seguimiento del PGIRS.

6.4.6. Limitaciones e impactos asociados

A pesar de los beneficios mencionados, es importante reconocer las limitaciones e impactos asociados a este escenario, especialmente si no se complementa con pasos posteriores:

- **Cobertura e impacto global limitada:** Esta estrategia solo captura una pequeña fracción del total de residuos orgánicos de la ciudad. Como consecuencia, la materia orgánica generada por hogares y pequeños comercios permanece en el flujo mezclado y, por tanto, sigue llegando a disposición final, lo que se traduce en una reducción de impactos en el relleno sanitario marginal a escala municipal. Si la iniciativa no evoluciona más allá de los grandes productores, podría quedarse corta en términos de alcanzar las metas más ambiciosas de reducción de residuos dispuestos.
- **Planificación de la recolección:** Este escenario implica la coexistencia de dos mallas operativas, se mantienen íntegras las rutas de mezclados y se añaden rutas selectivas para grandes productores, por lo que no se libera capacidad en el circuito convencional, a lo que hay que sumar CAPEX/OPEX adicionales por dotación de contenedores específicos, lavado y mantenimiento, vehículo y personal dedicados.
- **Posible apatía del resto de la población:** Al no involucrar desde el inicio a los hogares y pequeños comercios en la separación de orgánicos, existe el riesgo de que la ciudadanía en general permanezca desconectada del esfuerzo de aprovechamiento. Se crearía una especie de doble estándar donde solo unos cuantos actores “especiales” separan, mientras la norma para el común de la gente sigue siendo mezclar basura. Esto podría dificultar luego la sensibilización masiva, pues la gente no habrá incorporado el hábito. Será necesario planificar cómo escalar la educación ambiental a la población general más adelante, para no perpetuar la idea de que la separación es solo cosa de grandes empresas.
- **Demandas de equidad en tarifas y beneficios:** Los grandes productores participantes podrían legítimamente solicitar incentivos económicos por su esfuerzo de separar en la fuente, tal como la normatividad lo permite. Por ejemplo, en algunos casos se otorgan descuentos en la tarifa de aseo o reconocimientos por menor carga contaminante. El municipio deberá considerar mecanismos para recompensar esta buena práctica de manera equitativa (y sostenible financieramente), evitando que surjan quejas de trato



preferencial o, por el contrario, desincentivos para otros usuarios. Cualquier esquema de bonificación tendría que estar en línea con la regulación tarifaria y aplicarse de forma transparente.

- **Necesidad de coordinación interinstitucional permanente:** Sostener este modelo requerirá la continua coordinación entre múltiples actores: la empresa de aseo ajustando rutas y personal, la autoridad ambiental vigilando la calidad del material separado, la Alcaldía promoviendo la participación, y los generadores mismos manteniendo su compromiso. Si falla la comunicación o el seguimiento en alguno de estos frentes, podría resentirse la calidad del programa (por ejemplo, si un generador empieza a no separar bien y no se corrige a tiempo, se contaminaría el flujo orgánico). Mantener la constancia y el control en un esquema voluntario como este será un reto administrativo.
- **Exclusión temporal de otros generadores medianos:** Como se mencionó, aparte de los grandes también existen muchos medianos (p. ej. tiendas de barrio, verdulerías pequeñas, panaderías) que individualmente generan menos orgánicos, pero sumados representan una cantidad apreciable. Inicialmente ellos no serían incluidos, lo que podría percibirse como una inequidad o una oportunidad desperdiciada de captación. La alternativa es escalable y planea incluirlos en fases posteriores, pero mientras eso ocurre habrá que manejar las expectativas y posiblemente brindar orientación voluntaria para que estos medianos generadores gestionen mejor sus orgánicos (quizá promoviendo que composten in-situ en pequeña escala, etc., de forma temporal hasta integrarlos al sistema formal).
- **Resultados acotados si no se amplía el programa:** Existe el riesgo de que, al implementar esta solución “fácil” y rápida, el municipio se quede en la zona de confort y no prosiga con las etapas más ambiciosas (como extender la separación a toda la ciudad). Esto dejaría el esfuerzo como un piloto permanente, cumpliendo solo parcialmente los objetivos de la política de residuos. Para evitarlo, desde un inicio se debe concebir este escenario como el inicio de un camino y no como el logro final, planificando su evaluación y posibles ampliaciones graduales. De lo contrario, los beneficios permanecerán limitados y no se alcanzará un cambio estructural en la gestión de residuos orgánicos.

6.5. Escenario 2: Implementación Progresiva Escalonada

Este escenario plantea la extensión gradual del programa de recolección selectiva de residuos orgánicos a la población residencial y al comercio menor, consolidando al mismo tiempo la ruta selectiva de grandes productores definida en el Escenario 1. Se mantiene el supuesto metodológico de Terrazas del Porvenir como sitio de disposición final de referencia.

El Escenario 1 demostró la viabilidad técnica del aprovechamiento orgánico, pero su alcance limitado dejó un impacto global modesto sobre los flujos municipales. Para superar esa restricción, el Escenario 2 incorpora la separación en la fuente en el ámbito domiciliario bajo el código de colores vigente, con un despliegue progresivo y escalonado.



6.5.1. Proyección de generación de residuos

En este escenario se modela la ampliación de la recolección separada de biorresiduos a domicilios y pequeños comercios partiendo del **Escenario 1**. La incorporación de la población se fija en 2028, una vez alcanzada una participación alta de los grandes productores ($\approx 90\%$, según la trayectoria del Escenario 1) y tras una fase preparatoria de dos años a partir del año 0 del modelo (sensibilización y formación, planificación del servicio y optimización operativa). Se consideran tres sub-escenarios de crecimiento de la separación en la fuente a los que denominaremos: pesimista, realista y optimista, que difieren en la velocidad anual de adopción del servicio por parte de la población.

- **Pesimista:** 10 % de cobertura inicial y una tasa de crecimiento anual del 0,5%.
- **Realista:** 12,5 % de cobertura inicial y una tasa de crecimiento anual del 1,5 pp/año.
- **Optimista:** 15 % de cobertura inicial y una tasa de crecimiento anual del 2,5 pp/año.

Las tasas iniciales (10–15 %) y los ritmos de crecimiento (0,5–2,5 %) son plausibles y coherentes con experiencias internacionales de programas urbanos que despliegan servicio regular, comunicación continuada y control de calidad (puerta a puerta/contenedores cerrados).

En la Tabla 31 se presentan los datos estimados para la generación total de RSM, la orgánica separada correspondiente a grandes productores, los tres sub-escenarios y la materia orgánica total (población + grandes productores) recolección separadamente para cada sub-escenario, resultados que constituyen la proyección del Escenario 2.



Tabla 31. Escenarios pesimista, realista y optimista correspondiente a la fase 2 del escenario 2.

Población total atendida	Generación Residuos (Tn/año)	Grandes Productores		Generación población						Fracción orgánica separada en la fuente GP+poblacion (Ton/año)		
				Esc. Pesimista		Esc. Realista		Esc. Optimista		Esc pesimista +GP (Ton/año)	Esc. Realista+GP (Ton/año)	Esc. Optimista+GP (Ton/año)
		Fracción orgánica separada en la fuente(Ton/año)	Residuo mezclado (Ton/año)	Fracción orgánica separada en la fuente(Ton/año)	Residuo mezclado (Ton/año)	Fracción orgánica separada en la fuente (Ton/año)	Residuo mezclado (Ton/año)	Fracción orgánica separada en la fuente (Ton/año)	Residuo mezclado (Ton/año)			
142.654	25.446	35,23	250,61	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	35,23	35,23	35,23
143.953	25.701	83,02	205,68	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	83,02	83,02	83,02
145.167	25.958	152,72	138,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	152,72	152,72	152,72
146.307	26.217	217,76	76,74	1.006,52	24.919,01	1.258,16	24.667,38	1.509,79	24.415,75	1.224,28	1.475,92	1.727,55
147.385	26.479	244,38	53,07	1.067,42	25.117,38	1.423,23	24.761,57	1.779,03	24.405,76	1.311,79	1.667,60	2.023,41
148.406	26.744	246,82	53,60	1.129,43	25.317,21	1.591,47	24.855,17	2.053,51	24.393,13	1.376,25	1.838,29	2.300,33
149.381	27.012	249,29	54,13	1.192,58	25.518,53	1.762,94	24.948,17	2.333,30	24.377,81	1.441,86	2.012,23	2.582,59
150.307	27.282	251,78	54,68	1.256,87	25.721,35	1.937,68	25.040,54	2.618,48	24.359,74	1.508,65	2.189,46	2.870,26
151.218	27.555	254,30	55,22	1.322,33	25.925,67	2.115,73	25.132,27	2.909,13	24.338,87	1.576,63	2.370,03	3.163,43
152.075	27.830	256,84	55,77	1.388,98	26.131,50	2.297,16	25.223,32	3.205,34	24.315,15	1.645,82	2.554,00	3.462,18
152.885	28.108	259,41	56,33	1.456,83	26.338,86	2.482,00	25.313,69	3.507,17	24.288,51	1.716,24	2.741,41	3.766,58
154.736	28.389	262,00	56,90	1.525,89	26.547,75	2.670,31	25.403,34	3.814,72	24.258,92	1.787,89	2.932,31	4.076,73
156.602	28.673	264,62	57,46	1.596,19	26.758,19	2.862,13	25.492,25	4.128,08	24.226,30	1.860,81	3.126,76	4.392,70
158.482	28.960	267,27	58,04	1.667,74	26.970,18	3.057,53	25.580,39	4.447,32	24.190,61	1.935,01	3.324,80	4.714,58
160.377	29.250	269,94	58,62	1.740,57	27.183,74	3.256,55	25.667,76	4.772,52	24.151,78	2.010,51	3.526,49	5.042,47
162.288	29.542	272,64	59,21	1.814,68	27.398,86	3.459,24	25.754,31	5.103,79	24.109,75	2.087,32	3.731,88	5.376,44
164.214	29.838	275,37	59,80	1.890,11	27.615,58	3.665,66	25.840,02	5.441,21	24.064,47	2.165,47	3.941,03	5.716,58
166.155	30.136	278,12	60,40	1.966,85	27.833,88	3.875,86	25.924,88	5.784,87	24.015,87	2.244,98	4.153,98	6.062,99
168.112	30.437	280,90	61,00	2.044,95	28.053,80	4.089,90	26.008,84	6.134,85	23.963,89	2.325,85	4.370,80	6.415,76
170.085	30.742	283,71	61,61	2.124,41	28.275,32	4.307,83	26.091,90	6.491,26	23.908,48	2.408,12	4.591,55	6.774,97
172.075	31.049	286,55	62,23	2.205,26	28.498,47	4.529,72	26.174,01	6.854,18	23.849,55	2.491,81	4.816,27	7.140,73
174.080	31.360	289,41	62,85	2.287,51	28.723,26	4.755,61	26.255,16	7.223,71	23.787,06	2.576,92	5.045,02	7.513,12
176.103	31.673	292,31	63,48	2.371,18	28.949,69	4.985,56	26.335,31	7.599,94	23.720,93	2.663,49	5.277,87	7.892,25
178.142	31.990	295,23	64,11	2.456,30	29.177,78	5.219,64	26.414,44	7.982,98	23.651,11	2.751,53	5.514,87	8.278,21
180.199	32.310	298,18	64,75	2.542,89	29.407,54	5.457,90	26.492,52	8.372,92	23.577,51	2.841,07	5.756,09	8.671,10
182.272	32.633	301,17	65,40	2.630,96	29.638,97	5.700,41	26.569,52	8.769,86	23.500,07	2.932,12	6.001,57	9.071,02
184.364	32.959	304,18	66,05	2.720,53	29.872,09	5.947,21	26.645,41	9.173,90	23.418,73	3.024,71	6.251,39	9.478,07
186.173	33.289	307,22	66,71	2.811,64	30.106,91	6.198,39	26.720,17	9.585,14	23.333,42	3.118,86	6.505,61	9.892,36

Las proyecciones del **Escenario 2** reflejan tres ritmos de despliegue (pesimista, realista y optimista) tras la **fase inicial de implantación** en la que el sistema opera únicamente con grandes productores y se desarrolla la preparación del servicio (sensibilización, alistamiento logístico y optimización operativa). A partir de 2028, año del inicio de la incorporación de domicilios y pequeño comercio: el volumen anual separado aumenta ampliamente independientemente del sub-escenario considerado y se genera un crecimiento sostenido y prácticamente lineal, determinado por el ritmo de ampliación de la cobertura. Con el transcurso del horizonte, la diferencia en los incrementos anuales genera una brecha creciente entre subescenarios. En el tramo final de la proyección, los totales separados alcanzan del orden de 3.118,86 Ton/año (pesimista), 6.505,61 Ton/año (realista) y 9.892,36 Ton/año (optimista), con la correspondiente disminución del remanente mezclado en cada caso.

En la Imagen 9 se muestra la evolución de la fracción orgánica separada en la fuente (Ton/año) para los tres sub-escenarios considerados para el periodo 2025-2052. Se observa un salto en 2028, coincidiendo con el inicio de la ampliación a domicilios tras la fase de consolidación de la recolección separada a grandes productores (~90 %). A partir de ahí, las pendientes difieren en función del ritmo anual: la pesimista crece de forma contenida (línea inferior), la realista presenta un incremento sostenido, y la optimista muestra la mayor aceleración (línea superior). La separación anual crece de manera casi lineal en cada trayectoria, reflejando el incremento de cobertura previsto y consolidando la aportación de los grandes productores como base estable del sistema.

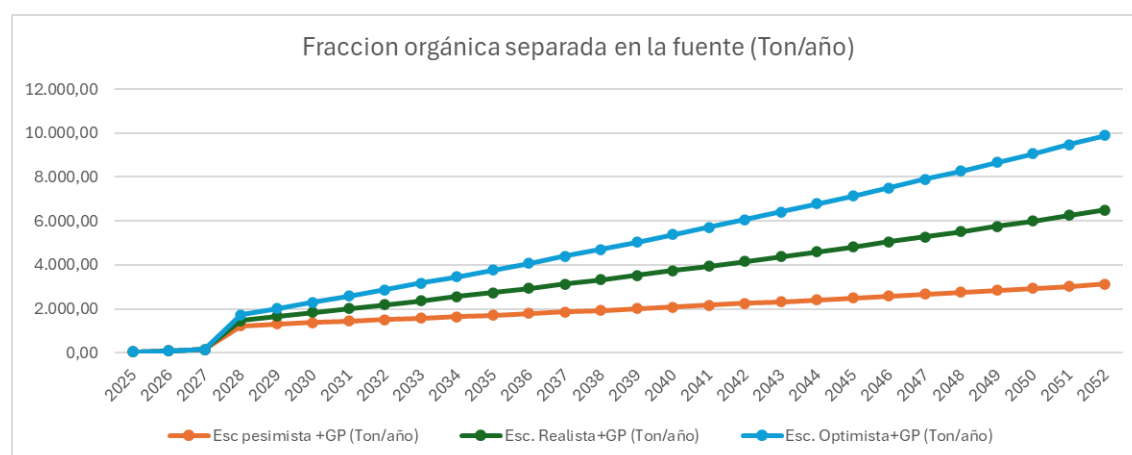


Imagen 9. Proyección de la cantidad de residuos orgánicos separados en la fuente para el Escenario 2, bajo tres supuestos de tasa de adopción: Pesimista, Realista y Optimista.

En términos de cobertura asociada, las trayectorias conducen a 24 %, 51 % y 77 % en 2052; estos valores son coherentes con la experiencia internacional: programas de despliegue lento suelen estabilizarse en el entorno del 20–30 %, los de intensidad media alrededor del 40–50 %, y los más exigentes alcanzan bandas del 60–75 % cuando combinan servicio regular, comunicación sostenida y control de calidad.

6.5.2. Planificación del servicio de recolección y transporte

La operación de recolección en el Escenario 2 aprovecha la experiencia logística adquirida durante el Escenario 1 y la extiende a una zona piloto de la ciudad, en concreto a los barrios Seis de Septiembre y Terminal. Este escenario se concibe como una fase de transición, en la



que se dará inicio a la recolección diferenciada de orgánicos en un ámbito controlado, para evaluar la eficiencia de rutas, recursos y frecuencias. A partir de este plan piloto, la recolección de orgánica se incrementará de manera progresiva hasta cubrir la totalidad del municipio, garantizando una implementación ordenada y sostenible del nuevo esquema. Los principales aspectos operativos serían:

- **Frecuencia y logística de recolección:** Para la recolección de residuos de grandes productores se sigue la misma operación que en el Escenario 1. Para la recolección de la fracción mixta se contempla la frecuencia actual de 2 veces por semana y un equipo formado por un conductor y dos ayudantes y un vehículo de carga trasera de 25 yardas cubicas de 18+7 yardas cubicas. En las rutas de los barrios donde se implementa la zona piloto de la recolección de la fracción orgánica se utilizará un vehículo de carga trasera bicompartimentado de 18+7 yardas cubicas, de forma que en la misma ruta se podrá recoger los residuos mixtos y orgánicos de forma separada en el mismo vehículo.

De forma más detallada, El Escenario 2 se construye sobre las bases de los escenarios anteriores. El Escenario 0 representaba la línea base, con la recolección exclusiva de la fracción resto en macrorutas tradicionales (Centro, Sur, Norte y Periferia). Posteriormente, el Escenario 1 introdujo un cambio estructural al añadir la recolección diferenciada de la fracción orgánica, pero limitada a los grandes productores y en turno nocturno, con apoyo diurno puntual.

En el Escenario 2, se mantiene la recolección de orgánica a grandes productores en horario nocturno, pero además se inicia la incorporación progresiva de la fracción orgánica en rutas regulares del municipio. Para ello, se han definido como zonas piloto los barrios Seis de Septiembre y Terminal, donde las rutas dejan de ser exclusivamente de resto y pasan a ser rutas mixtas. Esto significa que se mantienen los mismos recorridos, pero ahora se recogen de forma separada los residuos resto y la fracción orgánica, gracias al uso de camiones compactadores con compartimentos diferenciados (18 + 7 yardas).

La recolección y transporte de residuos del Escenario 2 necesita una serie de medios materiales que permite la ejecución del servicio. A continuación, se muestran los medios materiales necesarios para prestar el servicio:

Tabla 32: Medios materiales necesarios para prestar el servicio de recolección y transporte del Escenario 2.

UDS	CONCEPTO
5	C.R.C. 25 yardas cubicas C.T.
1	C.R.C. 5 yardas cubicas C.T.
2	C.R.C.18 + 7 yardas cubicas C.T.
3	Vehículo Caja Abierta
600	Contenedores 20l (establecimientos)
107	Contenedores 800 l con cerradura (establecimientos)

Este cambio técnico es clave, porque permite validar en condiciones reales cómo integrar la logística dual (resto + orgánica) dentro de la operación diaria, sin duplicar flota ni personal. Al mismo tiempo, se mantiene la estructura base del Escenario 0 para el resto de las rutas, que



continúan funcionando exclusivamente con fracción resto y camiones de mayor capacidad (25 yardas).

En cuanto a los grandes productores, su recolección de orgánica sigue realizándose todos los días del año en turno nocturno, reforzada con una ruta de apoyo diurna con un compactador más pequeño (5 yardas). Este esquema asegura que la fracción más crítica en términos sanitarios se gestione con máxima frecuencia y en horarios de menor impacto sobre la movilidad urbana.

El Escenario 2 se plantea con la siguiente estrategia, mantener la base del Escenario 0 para garantizar continuidad, aprovecha la organización del Escenario 1 para los grandes productores y abre la puerta a la ampliación progresiva de la recolección diferenciada de orgánica en todo el municipio, comenzando por pilotos controlados. La conversión de rutas de resto en rutas mixtas es un paso fundamental, ya que permite avanzar hacia un modelo de gestión integral donde ambas fracciones se atienden con eficiencia y sin alterar los recorridos habituales de la ciudad.

En la Tabla 33, se muestra las rutas propuestas en el Escenario 2:

Tabla 33. Rutas del Escenario 2

FRACCIÓN	MACRORUTA (CODIGO)	CODIGO	LOCALIDAD (BARRIO)
ORGÁNICA (grandes productores)	CENTRO	O-100	Ruta Centro
	SUR	O-200	Ruta Sur
	NORTE	O-300	Ruta Norte
	TODO	O-400	Ruta Apoyo
MIXTA + ORGÁNICA	CENTRO 100	C-101	Seis de septiembre PV
MIXTA		C-102	La Castellana PV
		C-103	Santa Inés PV
		C-104	20 de Julio SE
		C-105	Barrios SE
MIXTA + ORGÁNICA		C-106	Terminal SE
MIXTA	SUR 200	S-201	Monquirá SC
		S-202	Sugamuxi SC
		S-203	El Rosario SC
		S-204	Magdalena SC
		S-205	UPTC SC
		S-206	Venecia SC
		S-207	Cajas SC
	NORTE 300	N-301	Recreo
		N-302	Asodea
		N-303	Pradera
		N-304	Parque industrial
		N-305	Gustavo Jiménez



	PERIFERIA 400	P-101	Tibasosa
--	------------------	-------	----------

En cuanto a medios humanos, al realizar la conversión a rutas mixtas los medios humanos necesarios son los mismos que en el Escenario 1. A continuación, se muestra el personal equivalente por categoría profesional necesaria para prestar el servicio del Escenario 2:

Tabla 34: Medios humanos necesarios para prestar el servicio de recolección y transporte del Escenario 2.

UDS	CONCEPTO
Coste Personal Indirecto	
1,00	Director
1,00	Jefe de unidad
1,00	Profesional de apoyo
1,00	Auxiliar administrativo
1,00	Siso
Coste Personal Directo	
7,41	Conductor día
14,17	Ayudante tripulación día
3,93	Conductor noche
3,93	Ayudante tripulación noche
1,00	Soldador
1,00	Mecánico
1,00	Lavador
37,44	TOTAL

Cabe señalar que mediante la Resolución 2184 de 2019 el MADS mediante la cual se modifica la Resolución No. 668 de 2016, se reglamentó el uso de colores para la presentación de residuos y el verde es para presentar los residuos orgánicos para el caso los tratables, lineamiento normativo que en el municipio de Sogamoso puede aprovechar en esta fase para estandarizar la separación en la fuente. Por tanto, junto con la logística de recolección, se implementaría una campaña de distribución de bolsas verdes y de información sobre el código de colores a todos los nuevos usuarios incorporados.

A continuación, se muestra la planificación del servicio que muestra la eficiencia operativa del sistema de recolección, indicando composición de equipos, frecuencias y horarios:



Tabla 35: Planificación del servicio de recolección y transporte de residuos del escenario 2.

PLANIFICACIÓN DEL SERVICIO ANUAL ESCENARIO 2																		
Descripción	Fracción	Turno	Duración (h)	Hora inicio	Hora fin	Frecuencia							Días de servicio		Puestos de trabajo		Maquinaria	
						L	M	X	J	V	S	D	Días/año (L - S)	Días/año (D + F)	Cond.	Ayudante Trip	Maquinaria	Jornadas completas
GRANDES PRODUCTORES																		
Ruta Centro	Orgánica	N	8,00	22:00	6:00	X	X	X	X	X	X	X	294	70	1	1	Vehículo Caja abierta	364
Ruta Sur	Orgánica	N	8,00	22:00	6:00	X	X	X	X	X	X	X	294	70	1	1	Vehículo Caja abierta	364
Ruta Norte	Orgánica	N	8,00	22:00	6:00	X	X	X	X	X	X	X	294	70	1	1	Vehículo Caja abierta	364
Ruta Apoyo	Orgánica	D	4,00	7:00	11:00	X	X	X	X	X	X	X	294	70	1	1	C.R.C. 5 yardas C.T.	182
MACRORUTA CENTRO																		
Ruta Seis septiembre PV	Resto y orgánica	D	8,00	7:00	15:00	X			X				99	5	1	2	C.R.C. 18+7 yardas C.T.	104
Ruta La Castellana PV	Resto	D	8,00	7:00	15:00	X			X				99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Santa Inés PV	Resto	D	8,00	7:00	15:00	X			X				99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta 20 de julio SE	Resto	D	8,00	7:00	15:00	X			X				99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Barrios SE	Resto	D	8,00	7:00	15:00	X			X				99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Terminal SE	Resto y orgánica	D	8,00	7:00	15:00	X			X				99	5	1	2	C.R.C. 18+7 yardas C.T.	104
MACRORUTA SUR																		
Ruta Monquirá SC	Resto	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Sagamuxi SC	Resto	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta el Rosario SC	Resto	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Magdalena SC	Resto	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta UPTC SC	Resto	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Venecia SC	Resto	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Cajas SC	Resto	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
MACRORUTANORTE																		
Ruta Recreo	Resto	D	8,00	7:00	15:00			X			X		99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Asodea	Resto	D	8,00	7:00	15:00			X			X		99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Pradera	Resto	D	5,00	7:00	12:00			X			X		99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	65
Ruta Parque Industrial	Resto	D	8,00	7:00	15:00			X			X		99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	104
Ruta Gustavo Jiménez	Resto	D	5,00	7:00	12:00			X			X		99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	65
MACRORUTAPERIFERIA																		
Ruta Periferia	Resto	D	6,50	7:00	13:30			X			X		99	5	1	2	C.R.C. 25 yardas C.T.	85



6.5.3. Tratamiento de los Orgánicos Separados

A medida que el volumen de residuos orgánicos separados en la fuente aumente progresivamente en el municipio, será necesario escalar de forma proporcional la capacidad de tratamiento, a fin de garantizar su aprovechamiento adecuado y sostenible. En la fase 1 (correspondiente al Escenario 1), la generación limitada permitiría operar mediante sistemas de compostaje descentralizados de pequeña escala (véase apartado 6.4.3).

Esta etapa inicial serviría como base para validar el comportamiento local de los residuos, establecer protocolos de operación y generar experiencias piloto de aprovechamiento. Sin embargo, con la incorporación progresiva de hogares y pequeños comercios, se estima que la cantidad de residuos orgánicos separados superará varios miles de toneladas anuales, incluso bajo supuestos conservadores. Frente a este incremento, la estrategia técnica más adecuada consistiría en implementar un sistema de compostaje aeróbico modular y escalable, que permita acompañar el crecimiento sin sobredimensionar la infraestructura desde el inicio. Esta ampliación podría materializarse mediante:

- Extensión de plantas existentes con nuevos módulos de tratamiento.
- Incorporación progresiva de equipamientos como volteadoras, cribas, zonas de maduración y biofiltros.
- Adaptación del diseño en función del volumen proyectado y la ubicación de los generadores.

Si las condiciones técnicas y financieras lo permiten, puede evaluarse la incorporación de digestión anaerobia (DA) para recuperar biogás. No obstante, su viabilidad depende de disponer de un caudal mínimo del orden de 10–20 Ton/día: por debajo de ese umbral se compromete la estabilidad biológica del proceso, aumentan los costos unitarios y se reduce la recuperación energética, poniendo en riesgo la rentabilidad y la sostenibilidad del proyecto. Con los volúmenes proyectados del Escenario 2, esa condición no se alcanza en la trayectoria pesimista (2052: $\approx 8,5$ Ton/día); se alcanza el tramo ≥ 10 Ton/día en la trayectoria realista a partir de 2040 ($\approx 10,2$ Ton/día) y en la trayectoria optimista desde 2035 ($\approx 10,3$ Ton/día). Para el tramo alto del umbral (≥ 20 Ton/día), solo la trayectoria optimista cumple dentro del horizonte, desde 2046 ($\approx 20,6$ Ton/día), mientras que la realista no llega a 20 Ton/día dentro del horizonte de proyección (2052: $\approx 17,8$ Ton/día).

Al superar ese rango de caudal, la instalación puede optimizar automatización, operación y producción de biogás, mejorar factores de carga y amortizar la inversión con mayor certidumbre, cumpliendo además los requisitos técnicos y ambientales aplicables (p. ej., Decreto 1077 de 2015 y Resolución 754 de 2014) y los estándares internacionales comparables. La evidencia recolección en estudios y guías europeas, así como prefactibilidades de proyectos municipales e industriales, converge en identificar 10–20 Ton/día como capacidad mínima razonable para justificar plantas de DA en el ámbito urbano. En ese sentido, la DA podría ser una opción complementaria en Sogamoso únicamente bajo la trayectoria realista, a partir de 2040, o bajo la trayectoria optimista, desde 2035 (y con mayor solidez económica a partir de 2046 cuando se supera el umbral de 20 Ton/día).

Respecto a la convergencia de fracciones cuando exista una planta de Tratamiento Mecánico-Biológico (TMB): lo más eficaz, allí donde se dispone de ambas corrientes, es mantener líneas



diferenciadas. La fracción separada en origen se destina a una línea de calidad para producir compost apto para usos exigentes, mientras que la fracción orgánica recuperada mecánicamente de los residuos mezclados, más heterogénea y con mayor proporción de impropios, se composta generando un material de menor exigencia (coberturas, acondicionamiento de suelos o usos condicionados). El mezclado de ambas solo se aconseja cuando existan protocolos de pretratamiento (desembolsado, cribado fino, separación de impropios) y criterios de mezcla que garanticen el cumplimiento de la calidad del compost; en la práctica, muchos operadores reservan la fracción separada en origen para asegurar el estándar y emplean la fracción recuperada mecánicamente para objetivos estabilizadores o energéticos.

Desde el punto de vista normativo, este modelo progresivo ofrecería la ventaja de adaptarse a nuevas regulaciones sobre calidad del compost, condiciones sanitarias o requerimientos técnicos establecidos en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS), el Plan Nacional de Economía Circular o las disposiciones del Ministerio de Ambiente.

6.5.4. Destino del residuo mezclado remanente

Aún con la implementación plena de la recolección selectiva de orgánicos a nivel domiciliario y comercial, en el Escenario 2 seguirá existiendo una fracción de residuo mezclado que deberá manejarse por las vías convencionales. Este flujo incluye no solo los residuos no orgánicos no reciclables, sino también aquellos orgánicos que no sean separados correctamente en la fuente por los usuarios (por falta de participación o errores en la separación). De acuerdo con las proyecciones (Tabla 31), Con la ampliación a domicilios en 2028 se observa un descenso inmediato del resto frente a 2027, pasando de 25.293 Ton/año a 24.222Ton/año en la trayectoria pesimista, de 23.970 Ton/año en la realista y de 23.719 Ton/año en la optimista (reducciones aproximadas de -4,2 %, -5,2 % y -6,2 %, respectivamente). A partir de ese punto la tendencia es descendente año a año, alcanzando en 2052, 22.327 Ton/año (pesimista), 18.940 Ton/año (realista) y 15.554 Ton/año (optimista). En términos relativos, entre 2028 y 2052 el resto disminuye alrededor de un 7,8% (pesimista), 21,0% (realista) y un 34,4% (optimista); si se compara contra 2025 (25.411Ton/año), las reducciones absolutas en 2052 son de 3.083,63 Ton/año, 6.470,38 Ton/año y 9.857,13 Ton/año, respectivamente.

El destino principal de este remanente seguirá siendo el relleno sanitario mientras no entren en operación tratamientos para el flujo mezclado. La reducción del contenido biodegradable derivada de la separación de orgánicos mitiga ampliamente, aunque sin llegar a liminar, la generación potencial de lixiviados y biogás y, en consecuencia, alivia la presión sobre el relleno alargando la vida útil de este. Operativamente, la disposición evitada es inmediata, aunque la reprogramación de rutas y frecuencias del servicio de mezclados solo será viable cuando la reducción de masa por zonas sea estable y suficiente.

Los beneficios directos en el destino final bajo Escenario 2 son la reducción en la carga de residuos que debe disponerse y el consecuente aumento en la vida útil del relleno sanitario regional. Cada tonelada de orgánicos que se desvía al compostaje o digestión es una tonelada menos que ocupa espacio en el relleno, contribuyendo a disminuir su vida útil. Asimismo, se logran ahorros económicos en costos de disposición: menos viajes de camiones al relleno y menor pago de tarifas por tonelada dispuesta (lo cual, en sistemas bien diseñados, puede

reorientarse para financiar parcialmente el programa de recolección selectiva). Desde el punto de vista administrativo, el municipio deberá continuar monitoreando la composición del residuo mezclado que llega a disposición final; idealmente, con el tiempo, se esperaría observar una reducción del porcentaje de orgánicos en ese flujo (indicador de éxito de la separación en la fuente). Si dicho porcentaje no disminuye significativamente, será señal de que hace falta reforzar la educación y la cobertura hasta lograr capturar más de la fracción orgánica que aún está escapando al sistema selectivo.

6.5.5. Beneficios y alcance operativo

La adopción de una estrategia progresiva y escalonada como la del Escenario 2 conlleva numerosos beneficios desde las perspectivas técnica, económica, ambiental y social:

- **Mitigación de riesgos y mayor sostenibilidad:** Al implementar el programa en fases, se evita un cambio abrupto en el sistema de aseo de la ciudad. Esto mitiga el riesgo de un posible rechazo social o de fallas operativas a gran escala. En lugar de lanzar una recolección separada en todo el municipio de un solo golpe (lo cual podría generar confusión, baja participación inicial o problemas logísticos por falta de experiencia), el enfoque escalonado permite aprender de manera incremental. Cualquier inconveniente detectado en la fase 1 (por ejemplo, alta contaminación de orgánicos con otros residuos, puntos críticos en la ruta, etc.) puede corregirse a tiempo antes de ampliar el servicio. De este modo, se construye un sistema más robusto y con mayores probabilidades de éxito a largo plazo.
- **Construcción de cultura y confianza ciudadana:** Comenzar con grandes productores altamente comprometidos y luego mostrar resultados tangibles tiene un efecto demostración muy poderoso. La ciudadanía observa casos de éxito en su propia ciudad lo cual mejora la aceptación y disposición a participar cuando el servicio llega a sus barrios. Durante la fase 1 se pueden desarrollar materiales educativos mostrando estos logros, de forma que en la fase 2 la población general ya esté familiarizada con la separación y motivada a sumarse. Esto allana el camino para una transición cultural sólida hacia el nuevo sistema. Al final de la fase 2, se espera que separar los residuos orgánicos sea un hábito arraigado en Sogamoso, gracias a la introducción paulatina que permitió cimentar comportamientos en vez de imponerlos de golpe.
- **Viabilidad financiera y acceso a recursos:** Escalonar las inversiones hace que el proyecto sea más manejable en términos presupuestales. En la fase 1, la inversión fue relativamente pequeña (3 vehículos caja abierta, contenedores para grandes productores, campañas focalizadas). Al demostrar en esta etapa inicial que el programa funciona, el municipio está en una posición más sólida para gestionar recursos adicionales en la fase 2. Puede presentar estos resultados ante entes departamentales, nacionales o incluso cooperantes internacionales para solicitar cofinanciación en la ampliación del programa. Asimismo, con indicadores en mano, es más fácil ajustar la tarifa de aseo o introducir un cobro por la nueva prestación de manera justificable ante los usuarios y entes de control. El escalonamiento también permite distribuir costos en el tiempo: primero se amortiza la inversión inicial mientras se planifica la siguiente, evitando un endeudamiento excesivo de arranque. En caso de que alguna fuente de financiación no se materialice, es más sencillo pausar o ralentizar la expansión



(recalibrando de optimista a realista, por ejemplo) que si todo el sistema dependiera de una gran inversión única.

- **Flexibilidad ante cambios normativos y políticas públicas:** El Escenario 2, al desplegarse gradualmente, ofrece flexibilidad para ajustarse a las actuales o normativas o lineamientos que pudieran surgir durante el periodo de implementación. Con una implementación en curso, Sogamoso puede anticipar o acelerar pasos según lo requerido por la ley. Por ejemplo, si en los dos primeros años de implantación se exige a todas las ciudades una tasa mínima de aprovechamiento de orgánicos, el municipio ya estaría bien encaminado en fase 2 y podría simplemente intensificar la incorporación de barrios (moviendo quizá del escenario realista al optimista). De igual forma, si se establecen estándares más estrictos para el compost o para instalaciones de biogás, la ciudad podrá adaptar la segunda fase para cumplirlos, apoyándose en el aprendizaje incremental adquirido. En resumen, este escenario no deja rezagado al municipio en términos normativos, sino que lo pone a la vanguardia de forma controlada.
- **Beneficios ambientales y cumplimiento de metas:** Gradualmente, este escenario conduce a altas tasas de tratamiento de la fracción orgánica, lo que redundará en múltiples beneficios ambientales: se disminuye la cantidad de residuos que llegan al relleno sanitario (alargando su vida útil y reduciendo impactos locales), se reduce la emisión de gases de efecto invernadero provenientes de la descomposición anaerobia de residuos en el relleno (aportando a las metas climáticas del país), se generan enmiendas orgánicas (compost) que mejoran suelos y pueden sustituir fertilizantes químicos, e incluso se puede producir energía renovable (biogás) aprovechable. Todo esto contribuye a que Sogamoso cumpla y supere las metas planteadas en su PGIRS vigente en cuanto a tasas de aprovechamiento y reducción de residuos dispuestos. Asimismo, se alinea con los objetivos nacionales de economía circular y con compromisos internacionales de mitigación climática asociados al sector residuos.
- **Participación y cohesión institucional:** La gradualidad del escenario permite involucrar de forma más efectiva a las diferentes instituciones y actores locales. En la fase 1 se pudieron establecer mesas de trabajo con los grandes productores, asociaciones de comerciantes, universidades (para seguimiento técnico) y la empresa prestadora de aseo. Para la fase 2, con la experiencia previa, es más fácil coordinar con las Juntas de Acción Comunal de cada barrio, con colegios (para educar a los niños que llevan el mensaje a sus hogares), y con entidades como la autoridad ambiental regional. Este enfoque paso a paso facilita al municipio ajustar convenios y responsabilidades sobre la marcha –por ejemplo, definir quién suministra las bolsas, cómo se integran los recicladores de oficio en el esquema (quizá recolectando también orgánicos limpios en mercados), etc., evitando improvisaciones. La estrategia escalonada también brinda tiempo para capacitar al personal operativo adicional que se va requiriendo, asegurando que comprendan el sistema antes de ponerse en marcha en nuevas zonas.

6.5.6. Limitaciones e impactos asociados

A pesar de sus múltiples ventajas, el Escenario 2 también presenta algunas limitaciones y desafíos que deben ser considerados:



- **Tiempo prolongado para lograr la cobertura total:** Dado que la implementación es gradual, tomará varias décadas alcanzar la separación universal en todo el municipio. Esto significa que, en el corto plazo, los beneficios completos tardarán en manifestarse. Durante los primeros años, la proporción de residuos orgánicos aún en el flujo mezclado seguirá siendo alta, y metas ambientales inmediatas podrían no cumplirse totalmente. Si surgiera una urgencia por cumplir objetivos a muy corto plazo, esta estrategia podría parecer lenta. Sin embargo, es importante recalcar que los hitos parciales alcanzados año a año aportan valor continuamente, aun si la meta final se logre en mayor plazo.
- **Necesidad de mantenimiento del impulso y voluntad política:** Un plan que se extiende por varios gobiernos locales requiere consistencia en el apoyo político e institucional a través del tiempo. Existe el riesgo de que, tras un cambio de administración municipal, las prioridades cambien y la fase 2 no reciba el mismo impulso, ralentizando la expansión o dejando estancado el programa en ciertos niveles de cobertura.
- **Complejidad operativa creciente:** conforme se incorporan más zonas y usuarios, la logística de recolección se vuelve más compleja de coordinar. Habrá un período en que la ciudad opere con un esquema dual: sectores con recolección separativa y sectores que aún no la tienen. Esto puede generar confusión en algunos usuarios (por ejemplo, si en un barrio la separación es obligatoria y en el contiguo aún no, puede haber inconvenientes en la comunicación). Asimismo, durante la transición es posible que se necesite duplicar algunos esfuerzos: por ejemplo, campañas de sensibilización focalizadas en cada nuevo barrio que se suma, lo cual demanda un trabajo comunitario constante. Coordinar las rutas para que sean eficientes mientras la cobertura es parcial también es un reto (se deben diseñar recorridos específicos para camiones de orgánicos en las zonas piloto, que luego se van ampliando). Todo esto requiere una *gestión operativa diligente*; si la misma falla, podría haber desajustes temporales (como recolecciones tardías, camiones sobrecargados en un día y subutilizados en otros, etc.) que afecten la percepción ciudadana.
- **Resultados variados según la participación (incertidumbre en las proyecciones):** las tres proyecciones (pesimista, realista, optimista) ilustran que los resultados finales dependen fuertemente del nivel de participación y compromiso que se logre en la ciudadanía y comercios pequeños. Si por alguna razón, la adopción de la separación en la fuente crece más lentamente de lo esperado (escenario pesimista), los beneficios ambientales y las reducciones al relleno serán mucho menores. Existe el riesgo de estancamiento en un nivel subóptimo de participación, ya sea por apatía ciudadana, inconvenientes en el servicio (ej. si los usuarios perciben que igual mezclan los residuos en el camión, podrían desmotivarse), o falta de incentivos claros. Por ello, este escenario no garantiza automáticamente el éxito; requiere un esfuerzo sostenido en educación ambiental, retroalimentación y posiblemente medidas de refuerzo (incentivos económicos, normativas locales que obliguen a separar con sanciones por no hacerlo, etc.) para alcanzar el escenario optimista. Las autoridades deben estar conscientes de que, aunque la estrategia reduce riesgos, no elimina el desafío social de lograr cambios de hábito en la población.
- **Beneficios ambientales diferidos y parciales:** Mientras la cobertura no sea completa, la fracción de residuos que sigue yendo al relleno continuará causando impactos. Esto



significa que problemas como las emisiones de GEI del relleno, la producción de lixiviados y la ocupación de espacio seguirán existiendo, solo que mitigados. Si bien este escenario eventualmente aborda gran parte de la fracción orgánica, durante la transición la reducción de impacto ambiental es proporcional al avance. En un escenario hipotético donde surja una crisis (por ejemplo, el relleno se acerca a su capacidad máxima antes de lo previsto), esta estrategia gradual podría quedarse corta en responder rápidamente. De igual modo, los ingresos por venta de compost o energía serán modestos en los primeros años al tener volúmenes bajos de procesamiento, lo que podría dificultar la autofinanciación temprana del proyecto. Sólo al alcanzar masa crítica de orgánicos tratados se verán retornos significativos. Es importante planificar con esta realidad en mente para no sobredimensionar las expectativas a corto plazo.

- **Costo operativo en fase transitoria:** Mantener dos sistemas paralelos (recolección tradicional y recolección selectiva parcial) puede generar ineficiencias temporales. Por ejemplo, mientras solo un 20-30% de la ciudad esté en el programa orgánico, los camiones dedicados a orgánicos podrían estar recorriendo distancias mayores para cubrir sectores dispersos, lo cual podría resultar en un costo por tonelada recolección relativamente alto en esa etapa intermedia. A medida que la cobertura aumenta y los recorridos se densifican, la eficiencia mejora; pero en los años iniciales de fase 2, el municipio deberá asumir costos operativos que quizás superen los ahorros en disposición en una proporción temporal. Esto no invalida el beneficio neto a largo plazo, pero sí representa una inversión continua que hay que sostener incluso cuando los resultados aún son incipientes. Una mala interpretación de esta situación (por ejemplo, si solo se miran los balances financieros de corto plazo) podría llevar a críticas al programa por “costoso”; por ello es fundamental comunicar que se trata de una inversión progresiva cuyos frutos completos se verán en el mediano plazo.
- **Consideraciones técnicas adicionales:** Con el incremento en escala, habrá que asegurar la calidad del material orgánico separado. A mayor participación masiva, existe riesgo de que aumente la presencia de impropios (plásticos, vidrios, etc. mezclados con los orgánicos) si la separación no se realiza correctamente. Esto podría complicar el proceso de compostaje o digestión (por ejemplo, contaminando el compost final). Será necesario implementar controles más estrictos y posiblemente invertir en equipos de separación o limpieza en la planta (ej. tamices, separadores de trampas de plástico) en caso de que el material entrante en fase 2 venga con más contaminantes. Asimismo, el dimensionamiento de la planta de tratamiento debe considerar cierta holgura, ya que los rendimientos reales pueden variar; si la generación de orgánicos supera las estimaciones optimistas, la infraestructura podría quedarse corta. En este sentido, aunque planeado, el crecimiento trae incertidumbres técnicas que hay que monitorear.

Finalmente, es importante mencionar que ninguna limitación de las enumeradas es insalvable. El **Escenario 2** puede enfrentar estos desafíos con planificación y gestión adaptativa. La gradualidad misma brinda el espacio para hacer correcciones sobre la marcha: por ejemplo, si se detecta baja participación en algún barrio, se puede reforzar la estrategia educativa allí antes de continuar la expansión geográfica. Si los costos operativos están siendo altos, se pueden optimizar rutas o sincronizar recolección de orgánicos con la de reciclables para aprovechar viajes. En caso de un cambio normativo que imponga una aceleración, Sogamoso puede adelantar la incorporación de más zonas si cuenta con la experiencia acumulada. En



síntesis, las limitaciones del Escenario 2 son principalmente cuestiones de gestión y tiempo, inherentes a un enfoque progresivo, pero ampliamente compensadas por los beneficios de asegurar una transición exitosa. Comparado con alternativas más radicales, este escenario representa una vía intermedia sensata: reconoce las realidades sociales y económicas locales, y plantea una hoja de ruta técnicamente viable hacia la sostenibilidad en la gestión de residuos orgánicos. Con el compromiso continuo de todos los actores, Sogamoso logrará convertir gradualmente sus residuos orgánicos en recursos, posicionándose a la vanguardia de la economía circular en Colombia.

6.6. Escenario 3: Recolección Selectiva Generalizada en la Fuente

El Escenario 3 plantea la implementación desde el año 0 de un modelo de recolección selectiva de la fracción orgánica separada en la fuente en todo el municipio de Sogamoso, bajo el esquema de dos flujos segregados: orgánico y “resto” (no aprovechable). A diferencia del Escenario 2, donde la incorporación de hogares y pequeños comercios ocurre de forma escalonada tras una fase inicial acotada a grandes productores, aquí ambos frentes se despliegan de manera simultánea desde el inicio: por un lado, se activa la ruta diferenciada para grandes productores; por el otro, se habilitan de inmediato las rutas de separación en la fuente para la población general (residencial, comercial e institucional). Todos los usuarios separan sus residuos orgánicos (restos de comida, residuos de cocina, residuos vegetales, podas, etc.) en bolsas específicas, de color verde conforme al código de colores unificado a nivel nacional. La empresa prestadora adapta su operación para recoger el flujo orgánico en días y horarios exclusivos, complementando las rutas existentes del “resto”; idealmente, el sistema municipal pasa a manejar de forma estable estos dos circuitos paralelos.

6.6.1. Proyección de generación de residuos

La estimación del efecto cuantitativo de la implantación simultánea de la recolección de la fracción orgánica separada en la fuente en el municipio de Sogamoso, se realizó con la misma metodología empleada para proyectar el Escenario 2 (véase apartado 6.5.1). Se mantienen, por tanto, los mismos contextos y las mismas coberturas iniciales y ritmos de crecimiento; la única diferencia es que tanto la recolección separada de la fracción orgánica generada por los grandes productores como la generada por la población (estratos) arrancan en el año 0 y, por tanto, a diferencia del Escenario 2 no se considera un periodo previo de asentamiento para los grandes productores. En la Tabla 36 se presentan las proyecciones para el periodo 2025-2052, y se incluye la fracción separada por los grandes productores, la fracción separada por la población en cada sub-escenario y, en las tres últimas columnas, la suma de la fracción orgánica separada en la fuente total como suma del residuo orgánico proveniente de los grandes productores y la población, según los tres supuestos, que representa la generación del Escenario 3.



Tabla 36. Proyección de residuos anuales (total generados, orgánicos separados y residuos mezclados) según escenarios de participación pesimista, realista y optimista (2025–2052)

		Grandes Productores		Generación población						Fracción orgánica separada en la fuente GP+población (Ton/año)		
				Esc. Pesimista		Esc. Realista		Esc. Optimista				
Población total atendida	Generación Residuos (Tn/año)	Fracción orgánica separada en la fuente (Ton/año)	Residuo mezclado (Ton/año)	Fracción orgánica separada en la fuente (Ton/año)	Residuo mezclado (Ton/año)	Fracción orgánica separada en la fuente (Ton/año)	Residuo mezclado (Ton/año)	Fracción orgánica separada en la fuente (Ton/año)	Residuo mezclado (Ton/año)	Esc. pesimista +GP	Esc. Realista+GP	Esc. Optimista+GP
142.654	25.446	35,23	250,61	976,92	24.186,15	1.221,15	23.941,92	1.465,38	23.697,69	1.012,15	1.256,38	1.500,61
143.953	25.701	83,02	205,68	1.036,03	24.378,68	1.381,37	24.033,34	1.726,71	23.687,99	1.119,04	1.464,38	1.809,73
145.167	25.958	152,72	138,86	1.096,21	24.572,64	1.544,67	24.124,18	1.993,12	23.675,73	1.248,93	1.697,39	2.145,84
146.307	26.217	217,76	76,74	1.157,50	24.768,04	1.711,09	24.214,45	2.264,68	23.660,86	1.375,26	1.928,85	2.482,44
147.385	26.479	244,38	53,07	1.219,91	24.964,89	1.880,69	24.304,10	2.541,47	23.643,32	1.464,28	2.125,07	2.785,85
148.406	26.744	246,82	53,60	1.283,44	25.163,20	2.053,51	24.393,13	2.823,58	23.623,07	1.530,26	2.300,33	3.070,40
149.381	27.012	249,29	54,13	1.348,13	25.362,98	2.229,60	24.481,51	3.111,07	23.600,04	1.597,42	2.478,89	3.360,36
150.307	27.282	251,78	54,68	1.413,98	25.564,24	2.409,00	24.569,22	3.404,03	23.574,19	1.665,76	2.660,78	3.655,81
151.218	27.555	254,30	55,22	1.481,01	25.766,99	2.591,77	24.656,23	3.702,53	23.545,47	1.735,31	2.846,07	3.956,83
152.075	27.830	256,84	55,77	1.549,25	25.971,24	2.777,96	24.742,52	4.006,67	23.513,81	1.806,09	3.034,80	4.263,51
152.885	28.108	259,41	56,33	1.618,70	26.176,99	2.967,61	24.828,08	4.316,52	23.479,17	1.878,10	3.227,02	4.575,93
154.736	28.389	262,00	56,90	1.689,38	26.384,27	3.160,77	24.912,87	4.632,17	23.441,48	1.951,38	3.422,78	4.894,17
156.602	28.673	264,62	57,46	1.761,31	26.593,07	3.357,50	24.996,88	4.953,69	23.400,69	2.025,94	3.622,13	5.218,32
158.482	28.960	267,27	58,04	1.834,52	26.803,41	3.557,85	25.080,07	5.281,19	23.356,74	2.101,79	3.825,12	5.548,46
160.377	29.250	269,94	58,62	1.909,01	27.015,29	3.761,87	25.162,43	5.614,74	23.309,57	2.178,95	4.031,82	5.884,68
162.288	29.542	272,64	59,21	1.984,81	27.228,74	3.969,62	25.243,93	5.954,43	23.259,12	2.257,45	4.242,26	6.227,07
164.214	29.838	275,37	59,80	2.061,93	27.443,75	4.181,14	25.324,54	6.300,35	23.205,33	2.337,30	4.456,51	6.575,72
166.155	30.136	278,12	60,40	2.140,40	27.660,34	4.396,50	25.404,24	6.652,60	23.148,14	2.418,52	4.674,62	6.930,72
168.112	30.437	280,90	61,00	2.220,23	27.878,51	4.615,75	25.483,00	7.011,26	23.087,49	2.501,14	4.896,65	7.292,16
170.085	30.742	283,71	61,61	2.301,45	28.098,29	4.838,94	25.560,80	7.376,43	23.023,30	2.585,16	5.122,65	7.660,14
172.075	31.049	286,55	62,23	2.384,06	28.319,67	5.066,13	25.637,60	7.748,20	22.955,53	2.670,61	5.352,68	8.034,75
174.080	31.360	289,41	62,85	2.468,10	28.542,67	5.297,39	25.713,38	8.126,67	22.884,10	2.757,51	5.586,80	8.416,09
176.103	31.673	292,31	63,48	2.553,58	28.767,30	5.532,76	25.788,12	8.511,94	22.808,94	2.845,89	5.825,07	8.804,24
178.142	31.990	295,23	64,11	2.640,52	28.993,56	5.772,31	25.861,78	8.904,09	22.729,99	2.935,76	6.067,54	9.199,32
180.199	32.310	298,18	64,75	2.728,95	29.221,47	6.016,10	25.934,33	9.303,24	22.647,18	3.027,14	6.314,28	9.601,43
182.272	32.633	301,17	65,40	2.818,88	29.451,05	6.264,18	26.005,75	9.709,48	22.560,45	3.120,05	6.565,35	10.010,65
184.364	32.959	304,18	66,05	2.910,34	29.682,29	6.516,63	26.076,00	10.122,92	22.469,71	3.214,52	6.820,81	10.427,10
186.173	33.289	307,22	66,71	3.003,34	29.915,21	6.773,50	26.145,06	10.543,65	22.374,90	3.310,56	7.080,72	10.850,87



Para valorar cómo evoluciona la separación de orgánica a partir de este planteamiento se calcula el potencial de residuo orgánico aprovechable aplicando los porcentajes obtenidos en la actividad 2 (39,31 % del total, desagregado en 38,83 % atribuible a los estratos/población y 0,48 % a grandes productores). La Tabla 37 recoge ese potencial.

Tabla 37. Cantidad de residuo orgánico aprovechable estimado.

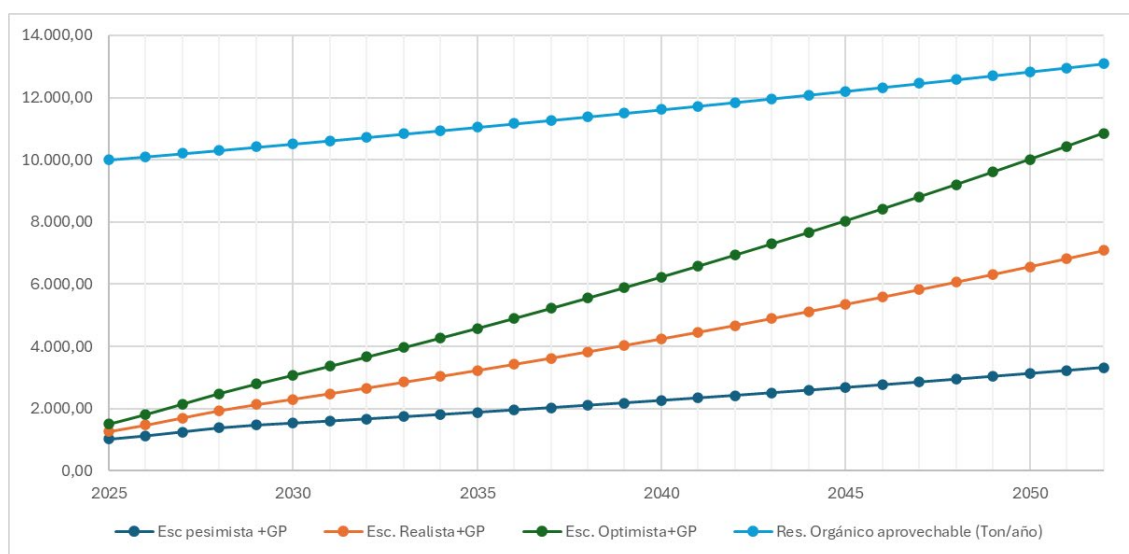
Año	Generación Residuos (Ton/año)	Res. Orgánico aprovechable (Ton/año)		
		Población	Grandes Productores	Total
2025	25.446,14	9.769,22	234,84	10.004,06
2026	25.700,60	9.866,92	237,19	10.104,10
2027	25.957,61	9.965,58	239,56	10.205,15
2028	26.217,19	10.065,24	241,96	10.307,20
2029	26.479,36	10.165,89	244,38	10.410,27
2030	26.744,15	10.267,55	246,82	10.514,37
2031	27.011,59	10.370,23	249,29	10.619,52
2032	27.281,71	10.473,93	251,78	10.725,71
2033	27.554,53	10.578,67	254,30	10.832,97
2034	27.830,07	10.684,46	256,84	10.941,30
2035	28.108,37	10.791,30	259,41	11.050,71
2036	28.389,46	10.899,21	262,00	11.161,22
2037	28.673,35	11.008,21	264,62	11.272,83
2038	28.960,08	11.118,29	267,27	11.385,56
2039	29.249,68	11.229,47	269,94	11.499,41
2040	29.542,18	11.341,77	272,64	11.614,41
2041	29.837,60	11.455,18	275,37	11.730,55
2042	30.135,98	11.569,73	278,12	11.847,86
2043	30.437,34	11.685,43	280,90	11.966,34
2044	30.741,71	11.802,29	283,71	12.086,00
2045	31.049,13	11.920,31	286,55	12.206,86
2046	31.359,62	12.039,51	289,41	12.328,93
2047	31.673,22	12.159,91	292,31	12.452,22
2048	31.989,95	12.281,51	295,23	12.576,74
2049	32.309,85	12.404,32	298,18	12.702,51
2050	32.632,95	12.528,36	301,17	12.829,53
2051	32.959,28	12.653,65	304,18	12.957,83
2052	33.288,87	12.780,18	307,22	13.087,40

En el año 0, o primer año de implantación simultánea, se separan 1.012 Ton/año en la trayectoria pesimista (GP + población), 1.256 Ton/año en la realista y 1.501 Ton/año en la optimista; lo que equivale a un 10–15 % del orgánico aprovechable disponible ese año (10.004Ton/año). A partir de ahí, la separación crece de forma sostenida: en 2030 se alcanza 1.530/2.300/3.070 Ton/año (pesimista/realista/optimista); en 2040, 2.257/4.242/6.227 Ton/año; y en 2045, 2.671/ 5.353/8.035 Ton/año. En el horizonte 2052, la captura total proyectada asciende a 3.311 Ton/año (pesimista), 7.081 Ton/año (realista) y 10.851 Ton/año

(optimista). Comparadas con el orgánico aprovechable de 2052 (13.087 Ton/año), estas cifras suponen un 26, 55 y 85 %, respectivamente.

La gráfica comparativa presentada en la Tabla 38 muestra la evolución del residuo orgánico aprovechable para el periodo 2025-2052 y cuanto de ese residuo potencial se recoge efectivamente cada año según los tres sub-escenarios que se han considerado. De estos tres supuestos, solo el optimista se aproxima de forma marcada a la recolección de la casi totalidad del orgánico disponible (en torno a cuatro quintas partes), la realista se estabiliza cerca de la mitad del potencial y la pesimista permanece alrededor de un cuarto, dejando una fracción mayoritaria sin recoger.

Tabla 38. Comparativa del residuo orgánico aprovechable con la recolección proyectada según los diferentes sub-escenarios analizados (pesimista, realista y optimista).



6.6.2. Planificación del servicio de recolección y transporte

La operación de recolección en el Escenario 3 plantea la implantación directa de la recolección diferenciada de la fracción orgánica en la totalidad del municipio, incluyendo tanto a los hogares como a los grandes productores. A diferencia del Escenario 2, que preveía una fase piloto en barrios específicos antes de la ampliación progresiva, este escenario supone un despliegue inmediato a escala completa. De esta forma, se alcanzaría desde el inicio una cobertura integral, aunque con el reto añadido de gestionar la transición sin la experiencia previa de una implementación gradual.

El Escenario 3 representa la fase completa del servicio de recolección diferenciada de residuos. A diferencia del Escenario 0, que servía como base con rutas exclusivamente de fracción resto, y del Escenario 1, que incorporaba la recolección de orgánica únicamente para los grandes productores en turno nocturno, en este escenario se establece la recolección simultánea de residuos resto y orgánicos en toda la ciudad, incluyendo tanto a los hogares como a los grandes productores.



Para los grandes productores, la recolección de orgánica se mantiene en horario nocturno (21:00 a 6:00) con jornadas de 8 horas, reforzada por una ruta de apoyo diurna de 4 horas con camión compacto de 5 yardas, garantizando máxima frecuencia y control sanitario. Esta logística sigue la línea de los Escenarios 1 y 2, asegurando que la fracción orgánica de mayor riesgo se gestione de forma eficiente y con mínima interferencia en la movilidad urbana.

En el Escenario 3 se conservan las rutas tradicionales del Escenario 0 con la diferencia que los camiones recogen simultáneamente residuos resto y orgánicos de forma separada, utilizando compactadores con compartimentos diferenciados (18 + 7 yardas). Esto permite mantener los mismos recorridos de las rutas habituales lo que conserva la eficiencia operativa y la familiaridad para los equipos mientras se amplía la cobertura de la fracción orgánica a toda la población.

La recolección y transporte de residuos del Escenario 3 necesita una serie de medios materiales que permite la ejecución del servicio. A continuación, se muestran los medios materiales necesarios para prestar el servicio:

Tabla 39: Medios materiales necesarios para prestar el servicio de recolección y transporte del Escenario 3.

UDS	CONCEPTO
1	C.R.C. 5 yardas cubicas C.T.
7	C.R.C.18 + 7 yardas cubicas C.T.
3	Vehículo Caja Abierta
600	Contenedores 20l (establecimientos)
107	Contenedores 800 l con cerradura (establecimientos)

Este escenario marca el modelo definitivo de operación integral, donde todas las rutas recogen residuos resto y orgánica de forma separada, asegurando la cobertura total del municipio y consolidando la transición hacia una gestión más sostenible y ordenada de los residuos sólidos.

En la Tabla 40, se muestra las rutas propuestas en el escenario 3:

Tabla 40. Rutas del Escenario 3

FRACCIÓN	MACRORUTA (CODIGO)	CODIGO	LOCALIDAD (BARRIO)
ORGÁNICA (grandes productores)	CENTRO	O-100	Ruta Centro
	SUR	O-200	Ruta Sur
	NORTE	O-300	Ruta Norte
	TODO	O-400	Ruta Apoyo
MIXTA + ORGÁNICA	CENTRO 100	C-101	Seis de septiembre PV
		C-102	La Castellana PV
		C-103	Santa Inés PV
		C-104	20 de Julio SE
		C-105	Barrios SE
		C-106	Terminal SE
	SUR 200	S-201	Monquirá SC



		S-202	Sugamuxi SC
		S-203	El Rosario SC
		S-204	Magdalena SC
		S-205	UPTC SC
		S-206	Venecia SC
		S-207	Cajas SC
	NORTE 300	N-301	Recreo
		N-302	Asodea
		N-303	Pradera
		N-304	Parque industrial
		N-305	Gustavo Jiménez
	PERIFERIA 400	P-101	Tibasosa

En cuanto a medios humanos, al realizar la conversión a rutas mixtas los medios humanos necesarios son los mismos que en el Escenario 1. A continuación, se muestra el personal equivalente por categoría profesional necesaria para prestar el servicio del Escenario 3:

Tabla 41: Medios humanos necesarios para prestar el servicio de recolección y transporte del Escenario 3.

UDS	CONCEPTO
Coste Personal Indirecto	
1,00	Director
1,00	Jefe de unidad
1,00	Profesional de apoyo
1,00	Auxiliar administrativo
1,00	Siso
Coste Personal Directo	
7,41	Conductor día
14,17	Ayudante tripulación día
3,93	Conductor noche
3,93	Ayudante tripulación noche
1,00	Soldador
1,00	Mecánico
1,00	Lavador
37,44	TOTAL

A continuación, se muestra la planificación del servicio que muestra la eficiencia operativa del sistema de recolección, indicando composición de equipos, frecuencias y horarios:



Tabla 42: Planificación del servicio de recolección y transporte de residuos del escenario 3.

PLANIFICACIÓN DEL SERVICIO ANUAL ESCENARIO 3																		
Descripción	Fracción	Turno	Duración (h)	Hora inicio	Hora fin	Frecuencia							Días de servicio		Puestos de trabajo		Maquinaria	
						L	M	X	J	V	S	D	Días/año (L - S)	Días/año (D + F)	Cond.	Ayudante Trip	Maquinaria	Jornadas completas
GRANDESPRODUCTORES																		
Ruta Centro	Orgánica	N	8,00	21:00	6:00	X	X	X	X	X	X	X	294	70	1	1	Vehículo Caja abierta	364
Ruta Sur	Orgánica	N	8,00	21:00	6:00	X	X	X	X	X	X	X	294	70	1	1	Vehículo Caja abierta	364
Ruta Norte	Orgánica	N	8,00	21:00	6:00	X	X	X	X	X	X	X	294	70	1	1	Vehículo Caja abierta	364
Ruta Apoyo	Orgánica	D	4,00	7:00	11:00	X	X	X	X	X	X	X	294	70	1	1	C.R.C. 5 yardas C.T.	182
MACRORUTACENTRO																		
Ruta Seis septiembre PV	Resto y orgánica	D	8,00	7:00	15:00	X			X				99	5	1	2	C.R.C. 18+7 yardas C.T.	104
Ruta La Castellana PV	Resto y orgánica	D	8,00	7:00	15:00	X			X				99	5	1	2	C.R.C. 18+7 yardas C.T.	104
Ruta Santa Inés PV	Resto y orgánica	D	8,00	7:00	15:00	X			X				99	5	1	2	C.R.C. 18+7 yardas C.T.	104
Ruta 20 de julio SE	Resto y orgánica	D	8,00	7:00	15:00	X			X				99	5	1	2	C.R.C. 18+7 yardas C.T.	104
Ruta Barrios SE	Resto y orgánica	D	8,00	7:00	15:00	X			X				99	5	1	2	C.R.C. 18+7 yardas C.T.	104
Ruta Terminal SE	Resto y orgánica	D	8,00	7:00	15:00	X			X				99	5	1	2	C.R.C. 18+7 yardas C.T.	104
MACRORUTASUR																		
Ruta Monquirá SC	Resto y orgánica	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 18+7 yardas C.T.	104
Ruta Sagamuxi SC	Resto y orgánica	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 18+7 yardas C.T.	104
Ruta el Rosario SC	Resto y orgánica	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 18+7 yardas C.T.	104
Ruta Magdalena SC	Resto y orgánica	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 18+7 yardas C.T.	104
Ruta UPTC SC	Resto y orgánica	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 18+7 yardas C.T.	104
Ruta Venecia SC	Resto y orgánica	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 18+7 yardas C.T.	104
Ruta Cajas SC	Resto y orgánica	D	8,00	7:00	15:00		X			X			99	5	1	2	C.R.C. 18+7 yardas C.T.	104
MACRORUTANORTE																		
Ruta Recreo	Resto y orgánica	D	8,00	7:00	15:00			X			X		99	5	1	2	C.R.C. 18+7 yardas C.T.	104
Ruta Asodea	Resto y orgánica	D	8,00	7:00	15:00			X			X		99	5	1	2	C.R.C. 18+7 yardas C.T.	104
Ruta Pradera	Resto y orgánica	D	5,00	7:00	12:00			X			X		99	5	1	2	C.R.C. 18+7 yardas C.T.	65
Ruta Parque Industrial	Resto y orgánica	D	8,00	7:00	15:00			X			X		99	5	1	2	C.R.C. 18+7 yardas C.T.	104
Ruta Gustavo Jiménez	Resto y orgánica	D	5,00	7:00	12:00			X			X		99	5	1	2	C.R.C. 18+7 yardas C.T.	65
MACRORUTAPERIFERIA																		
Ruta Periferia	Resto y orgánica	D	6,50	7:00	13:30			X			X		99	5	1	2	C.R.C. 18+7 yardas C.T.	85



La educación y sensibilización ciudadana masiva será un pilar fundamental de la operación. Antes y durante la implementación, el municipio deberá lanzar programas intensivos de capacitación puerta a puerta, talleres barriales y divulgación en medios, explicando el qué, cómo y cuándo de la separación de residuos. Se enfatizará en qué materiales deben ir en la bolsa verde (solo residuos orgánicos biodegradables, sin contaminantes) y cuáles no, previniendo errores como incluir plásticos, vidrios o residuos sanitarios entre los orgánicos. La experiencia nacional indica que estos programas tienen éxito si van acompañados de promotores ambientales constantes y del involucramiento activo de líderes comunitarios y recicladores. El PGIRS vigente ya contempla iniciativas de educación ambiental y participación ciudadana; con el **Escenario 3** dichas iniciativas se intensificarán y acelerarán para abarcar a la totalidad de la población. Adicionalmente, podrían implementarse mecanismos de incentivo directo al usuario para fomentar la separación: por ejemplo, descuentos en la tarifa de aseo o reconocimientos públicos a barrios con alto cumplimiento, siguiendo lo estipulado en la regulación (el artículo 88 de la Ley 1753 de 2015 y sus desarrollos, faculta a otorgar incentivos económicos por separación en la fuente). Al mismo tiempo, habría que definir medidas de fiscalización y eventual sanción para grandes productores o conjuntos residenciales que incumplan sistemáticamente con la separación, de manera que el esquema sea justo y obligatorio para todos.

En términos operativos, este escenario demanda un esfuerzo logístico continuo de monitoreo y ajuste. Durante la fase inicial, es esperable que surjan cuellos de botella o desequilibrios de carga en las rutas. La empresa de aseo deberá analizar permanentemente las tasas de presentación de la bolsa verde en cada sector e ir optimizando las rutas: reasignando vehículos, modificando horarios o incrementando frecuencias donde la generación orgánica resulte mayor a la prevista. Igualmente, habrá que coordinar la integración con el sistema de aprovechamiento de reciclables existente, principalmente operado por recicladores de oficio, para evitar conflictos o traslapes: lo ideal es que los recicladores puedan concentrarse en la bolsa blanca (y eventualmente en recuperar materiales valorizables de la fracción orgánica como cartones contaminados, si hubiera) mientras la empresa formal gestiona la recolección y transporte de los orgánicos. Este trabajo conjunto requerirá mesas de diálogo y acuerdos desde antes de iniciar el programa, asegurando la inclusión socioeconómica de los recicladores en la nueva dinámica.

La operación de recolección del Escenario 3 supone pasar de un esquema tradicional monoflujo a un esquema triflujo en toda la ciudad. Esto implicará una fase de transición intensa, donde tanto la empresa prestadora como los usuarios atravesarán una curva de aprendizaje. Con una planificación cuidadosa, recursos adecuados (vehículos, recipientes) y sobre todo con una fuerte estrategia pedagógica, la recolección selectiva generalizada podrá consolidarse, permitiendo captar la mayor parte de los orgánicos generados diariamente y encaminándolos hacia su aprovechamiento.

6.6.3. Tratamiento de los orgánicos separados

La implementación de la recolección selectiva generalizada requerirá, como complemento indispensable, la puesta en marcha de una infraestructura de tratamiento para los residuos



orgánicos recuperados. Dado que en el escenario optimista podrían recolectarse hasta unas 10.850 toneladas anuales de material orgánico hacia 2052 (equivalente a unas 30 toneladas diarias), por lo que es necesario planificar una planta de tratamiento centralizada con capacidad suficiente. En etapas iniciales, cuando la cantidad de orgánicos separados aún es menor, podrían emplearse instalaciones modulares o ampliables; pero el diseño final debe prever el crecimiento en el volumen a tratar conforme más población se suma a la separación en la fuente.

Las alternativas tecnológicas de tratamiento abarcan principalmente el compostaje aeróbico y la digestión anaerobia (biometanización), o incluso un esquema combinado donde se aprovechen ambas (por ejemplo, digestión primero para obtener biogás y posterior compostaje del digestato para producir fertilizante). La selección de la tecnología adecuada se realizará con estudios de factibilidad específicos más adelante, considerando aspectos como la composición de los residuos, disponibilidad de espacio, inversión requerida y beneficios esperados. No obstante, independientemente de la tecnología elegida, la instalación deberá contar con componentes esenciales: áreas de pretratamiento (recepción y separación de impropios, trituración de materiales gruesos), módulos de procesamiento (pilas de compost con volteadoras o digestores herméticos con control de biogás), sistemas de control ambiental (manejo de lixiviados, biofiltros para olores) y sección de almacenamiento y acondicionamiento del producto final.

En términos de escala, una planta de compostaje mecanizada de mediana capacidad podría ser apropiada una vez el programa esté en pleno auge, ya que manejaremos del orden de decenas de toneladas diarias de orgánico. Alternativamente, una planta de biogás de escala moderada podría procesar cantidades similares para generar energía renovable (electricidad o biometano vehicular) además de un fertilizante líquido/sólido. La decisión final dependerá de análisis costo-beneficio, pero es importante resaltar que cualquiera de estas soluciones requiere inversiones significativas y tiempo de implementación. Por ello, el plan deberá contemplar la construcción (o adecuación) de la planta con antelación suficiente, de manera que entre en operación conforme se despliegue la recolección separativa.

Desde el punto de vista normativo y financiero, Sogamoso podría aprovechar incentivos municipales para el aprovechamiento de orgánicos. El artículo 88 de la Ley 1753 de 2015 creó el incentivo al aprovechamiento desarrollado por el Decreto 802 de 2022 cuyo objeto es reglamentar el incentivo al Aprovechamiento y Tratamiento de Residuos Sólidos (IAT) y definió la manera como se realizará su cálculo, facturación, recaudo, asignación y uso de recursos, así como su seguimiento y control en todo el territorio nacional. El valor del Incentivo por suscriptor o usuario se calculará sobre las toneladas de residuos no aprovechables por suscriptor o usuario del servicio público de aseo, como un valor adicional al costo de disposición final de estos residuos, equivalente al 0,80% del Salario Mínimo Mensual Legal Vigente (SMMLV) por tonelada.

Una vez esté en la fase de operación la planta, los residuos orgánicos recolectados de forma separada llegarán a ella a diario para su procesamiento. Se espera que, al provenir de una recolección selectiva bien hecha, estos residuos sean no contaminados, lo cual facilitará su tratamiento y mejorará la calidad del producto final (compost con buen valor agrícola, o biogás con alto poder calorífico). No obstante, será crucial implementar un control de calidad a la entrada:



personal o equipos de triaje que retiren eventuales impropios (plásticos, vidrios, metales que pudieran colarse por error en la bolsa verde) antes de iniciar el proceso biológico. Esto asegurará que el compost esté libre de impropios y que cumpla con los estándares sanitarios para su uso en suelos, o que el digestor anaerobio no sufra daños/obstrucciones. Los protocolos de operación deberán definirse cuidadosamente, apoyándose en experiencias de otras ciudades y en guías técnicas (como el Reglamento Técnico RAS Título F, que brinda lineamientos de diseño para plantas de tratamiento de orgánicos según la población atendida).

6.6.4. Destino del residuo mezclado remanente

Aún con una separación en la fuente óptima, persistirá una fracción de residuos que no será recuperada y deberá manejarse como residuo mezclado. Esta fracción corresponde principalmente a los residuos no aprovechables (escombros, sanitarios, papel higiénico, empaques contaminados, colillas, cerámicas, etc.) y a aquellos orgánicos que por alguna razón no se separen (ya sea por usuarios rezagados que no adopten el programa, o residuos orgánicos dispersos en la basura pública, limpieza de vías, etc.). En el Escenario 3, el destino base de estos residuos remanentes continuará siendo el relleno sanitario, al menos en el corto y mediano plazo. Es decir, se mantendrá un servicio de recolección y disposición final para la “bolsa negra” con la frecuencia necesaria, asegurando que aquello que no pueda reciclarse ni compostarse siga teniendo un manejo sanitario adecuado. No obstante, la cantidad y composición de este residuo mezclado serán muy diferentes a las actuales. En volumen el flujo al relleno disminuirá sustancialmente bajo escenarios realista y optimista, llegando a un 21 y un 33% respectivamente (Tabla 43), y en su composición, este flujo contendrá mucha menos materia orgánica putrescible, dado que gran parte habrá sido captada en la fuente.

Tabla 43. Generación de residuo mezclado por subescenario y porcentaje de reducción comparado con Escenario 0.

		Esc pesimista +GP		Esc. Realista+GP		Esc. Optimista+GP	
Año	Generación Residuos (Ton/año)	Residuo mezclado (Ton/año)	% reducción	Residuo mezclado (Ton/año)	% reducción	Residuo mezclado (Ton/año)	% reducción
2025	25.446	24.434	3,98%	24.190	4,94%	23.946	5,90%
2026	25.701	24.582	4,35%	24.236	5,70%	23.891	7,04%
2027	25.958	24.709	4,81%	24.260	6,54%	23.812	8,27%
2028	26.217	24.842	5,25%	24.288	7,36%	23.735	9,47%
2029	26.479	25.015	5,53%	24.354	8,03%	23.694	10,52%
2030	26.744	25.214	5,72%	24.444	8,60%	23.674	11,48%
2031	27.012	25.414	5,91%	24.533	9,18%	23.651	12,44%
2032	27.282	25.616	6,11%	24.621	9,75%	23.626	13,40%
2033	27.555	25.819	6,30%	24.708	10,33%	23.598	14,36%
2034	27.830	26.024	6,49%	24.795	10,90%	23.567	15,32%
2035	28.108	26.230	6,68%	24.881	11,48%	23.532	16,28%



Año	Generación Residuos (Ton/año)	Esc pesimista +GP		Esc. Realista+GP		Esc. Optimista+GP	
		Residuo mezclado (Ton/año)	% reducción	Residuo mezclado (Ton/año)	% reducción	Residuo mezclado (Ton/año)	% reducción
2036	28.389	26.438	6,87%	24.967	12,06%	23.495	17,24%
2037	28.673	26.647	7,07%	25.051	12,63%	23.455	18,20%
2038	28.960	26.858	7,26%	25.135	13,21%	23.412	19,16%
2039	29.250	27.071	7,45%	25.218	13,78%	23.365	20,12%
2040	29.542	27.285	7,64%	25.300	14,36%	23.315	21,08%
2041	29.838	27.500	7,83%	25.381	14,94%	23.262	22,04%
2042	30.136	27.717	8,03%	25.461	15,51%	23.205	23,00%
2043	30.437	27.936	8,22%	25.541	16,09%	23.145	23,96%
2044	30.742	28.157	8,41%	25.619	16,66%	23.082	24,92%
2045	31.049	28.379	8,60%	25.696	17,24%	23.014	25,88%
2046	31.360	28.602	8,79%	25.773	17,82%	22.944	26,84%
2047	31.673	28.827	8,99%	25.848	18,39%	22.869	27,80%
2048	31.990	29.054	9,18%	25.922	18,97%	22.791	28,76%
2049	32.310	29.283	9,37%	25.996	19,54%	22.708	29,72%
2050	32.633	29.513	9,56%	26.068	20,12%	22.622	30,68%
2051	32.959	29.745	9,75%	26.138	20,69%	22.532	31,64%
2052	33.289	29.978	9,94%	26.208	21,27%	22.438	32,60%

La reducción del contenido orgánico en los residuos que van al relleno sanitario conlleva varios beneficios ambientales importantes. Por un lado, se disminuirá la generación de biogás descontrolado en el relleno y, por tanto, se mitigarán las emisiones de gases de efecto invernadero atribuidas al relleno, aportando al cumplimiento de las metas climáticas nacionales (Colombia se ha comprometido a reducir 51% de sus emisiones de carbono a 2030 y carbono neutro al año 2050, meta a la cual, contribuye la mayor separación de residuos). Por otro lado, al llegar menos orgánico y más material seco o inerte, la generación de lixiviados será menor y su carga contaminante también disminuirá. Esto aliviará la presión sobre el sistema de tratamiento de lixiviados existente, reduciendo riesgo de desbordes o fallos, y mejorando la estabilidad química del relleno.

En cuanto a la vida útil del relleno sanitario, este escenario lograría prolongarla significativamente. Cada tonelada de residuo que no ingresa al relleno representa espacio ahorrado; al desviar miles de toneladas anuales, el ritmo de ocupación del relleno se desacelera, lo que permitiría extender varios años la operación antes de alcanzar la capacidad máxima. Esto brinda un respiro en la planificación a largo plazo, dando más tiempo al municipio para gestionar soluciones de fondo (sea la expansión del relleno, la planificación de uno nuevo regional, o la implementación de tecnologías de tratamiento de la fracción resto). En términos económicos, menos disposición final también implica ahorros en costos de transporte, tratamiento de lixiviados y tasa retributiva: el



municipio pagaría por menos toneladas enviadas al relleno, pudiendo reorientar esos recursos a las actividades de tratamiento. Conviene resaltar que, para aprovechar estos beneficios, se debe mantener una operación paralela eficiente de ambas corrientes (aprovechables y no aprovechables); si por algún motivo la recolección de orgánicos fallará y una parte significativa terminara de nuevo mezclada, los beneficios ambientales y de prolongación de vida del relleno se verían reducidos. De allí la importancia de consolidar el modelo operativo descrito y de hacer seguimiento constante a los indicadores de separación logrados en la práctica.

6.6.5. Beneficios y alcance operativo

La propuesta de recolección selectiva generalizada ofrece grandes ventajas integrales en comparación con el modelo tradicional, alineándose plenamente con los principios modernos de gestión sostenible de residuos. A continuación, se resumen sus principales beneficios:

- **Máxima reducción de residuos dispuestos y prolongación del relleno:** Este escenario lograría minimizar el volumen de residuos que terminan en el relleno sanitario. Al recuperar la mayor parte de los orgánicos (y sumado al reciclaje de otros materiales), se estima que más de un 30% del flujo de residuos sólidos podría evitar la disposición final en el largo plazo. Esto extiende significativamente la vida útil del relleno, retrasando o incluso eliminando la necesidad de buscar un nuevo sitio de disposición en las próximas décadas. El alivio sobre el relleno conlleva ahorros económicos (menores costos de operación y clausura futura) y reduce los impactos locales asociados (menos tráfico de camiones, menor generación de olores y vectores en el sitio de disposición).
- **Cumplimiento normativo y acceso a incentivos:** Con la recolección selectiva en toda la ciudad, Sogamoso daría pleno cumplimiento a las políticas y normativas ambientales vigentes. Se materializa la jerarquía de manejo de residuos priorizando la valorización sobre la eliminación, en sintonía con la Estrategia Nacional de Economía Circular. Además, se acata la Resolución 2184 de 2019 sobre códigos de colores (consolidando la separación en bolsa verde, blanca y negra) y se aportaría a las metas del Plan Nacional de Desarrollo en cuanto a aprovechamiento de orgánicos.
- **Valorización de residuos y generación de productos útiles:** A diferencia del esquema tradicional donde el residuo orgánico se desperdicia, el Escenario 3 convierte esa carga en productos aprovechables. Por un lado, la producción de compost a partir de los residuos orgánicos proveerá un abono orgánico rico en nutrientes, utilizable en la agricultura local, huertas urbanas, parques y jardines, reduciendo la dependencia de fertilizantes químicos. Esto cierra el ciclo de materia orgánica devolviendo al suelo lo que antes era basura. Por otro lado, si se implementa la digestión anaerobia, se obtendría biogás que puede transformarse en energía eléctrica o combustible vehicular, aprovechando el potencial energético de los desechos. De este modo, el escenario genera nuevas fuentes de ingresos: ya sea por la venta de compost (o su uso para mejorar suelos municipales ahorrando compras de abono) y/o por la utilización de biogás (que puede alimentar generadores o flotas de camiones). También se abren oportunidades de negocios verdes locales en torno a estos productos, por ejemplo, emprendimientos de empaques de



compost, briquetas de biofertilizante, o suministro de biogás a pequeñas industrias. En suma, el residuo orgánico deja de ser un pasivo para convertirse en materia prima de nuevos procesos productivos.

- **Beneficios ambientales y climáticos:** Este escenario aporta mejoras sustanciales al medio ambiente. Al reducir drásticamente la disposición de orgánicos en el relleno, se mitigan las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de su descomposición. En consecuencia, Sogamoso contribuirá al combate del cambio climático, apoyando la meta nacional de reducción de emisiones 2030. Adicionalmente, se disminuirán los problemas de malos olores y proliferación de vectores (moscas, roedores) tanto en las calles como en el relleno, ya que los residuos orgánicos serán recolectados con mayor frecuencia y tratados de manera controlada. La producción de lixiviados contaminantes también baja, reduciendo riesgos de impacto en aguas subterráneas y superficiales. Por otra parte, el compostaje de residuos orgánicos mejora la salud de los suelos al generar enmiendas orgánicas que incrementan la materia orgánica del terreno, favoreciendo su fertilidad y capacidad de retención hídrica. Desde la perspectiva de ciclo de vida, el aprovechamiento orgánico disminuye la huella ecológica global del manejo de residuos en el municipio, al recuperar nutrientes y energía que de otro modo se perderían. Todo ello redundaría en una mejor calidad ambiental local y en la alineación con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (específicamente ODS12 de producción/consumo responsable y ODS13 de acción por el clima).
- **Construcción de cultura ciudadana y participación social:** La separación en la fuente a gran escala involucra a toda la comunidad en la solución del problema de los residuos. Esto tiende puentes de corresponsabilidad: cada ciudadano, cada familia, se convierte en agente activo de la gestión, sabiendo que su esfuerzo individual aporta a un resultado colectivo tangible (menos basura y más recursos aprovechados). En el mediano plazo, esta práctica fomentará una cultura ambiental mucho más fuerte en Sogamoso, donde separar residuos sea tan cotidiano como lo es sacarlos a la hora indicada. Las nuevas generaciones crecerán con ese chip ecológico, incrementando la conciencia sobre la reducción y separación de residuos. Además, el programa brinda oportunidades de educación ambiental práctica en colegios, empresas y organizaciones sociales, que pueden desarrollar huertas con el compost producido, visitas pedagógicas a la planta de tratamiento, etc. Igualmente, la estrategia contempla la inclusión de recicladores de oficio de manera digna y productiva. Muchos recicladores podrán diversificar su labor hacia el manejo de orgánicos (por ejemplo, operando parte del proceso de compostaje, o haciendo recolección puerta a puerta de orgánicos en pequeñas cantidades), lo que mejora sus ingresos y formaliza su trabajo. En general, el Escenario 3 promueve la participación comunitaria y el sentido de orgullo local por mantener una ciudad más limpia y sostenible.

6.6.6. Limitaciones e impactos asociados

A pesar de sus innegables ventajas, el Escenario 3 conlleva también desafíos y limitaciones importantes que deben tenerse en cuenta en su planificación e implementación:



- **Altos requerimientos de inversión inicial:** Implementar rutas selectivas en todo el municipio y construir la infraestructura de tratamiento supone costos elevados desde el arranque. Será necesario adquirir o adaptar camiones recolectores, proveer miles de recipientes o bolsas verdes a los usuarios, y financiar la construcción y puesta en marcha de la planta de compostaje/digestión con todos sus equipos. Estas inversiones de capital pueden tensar las finanzas locales si no se gestionan apoyos externos. Un riesgo asociado es que los altos costos fijos de operación (personal, mantenimiento de equipos, etc.) podrían no cubrirse completamente con la tarifa de aseo en los primeros años, especialmente si la participación ciudadana es baja al comienzo. Se requerirá entonces una planificación financiera detallada, quizá implementando gradualmente ciertas inversiones (modular la planta por fases, arrendar equipos inicialmente en lugar de comprarlos, etc.) para equilibrar el flujo de costos/beneficios en el tiempo.
- **Complejidad operacional y riesgo de disrupciones:** Pasar de un sistema sencillo de recolección mixta a uno biflujo para toda la ciudad es logísticamente complejo. Existe el riesgo de que en la etapa inicial se presenten problemas de coordinación: por ejemplo, confusión en los usuarios sobre los nuevos horarios o tipos de residuos, errores operativos de personal (recolectando bolsas equivocadas el día incorrecto), o simplemente sobrecargas de trabajo si la flota o el personal resultan insuficientes. Cualquiera de estos fallos, de no corregirse prontamente, puede derivar en residuos no recogidos acumulándose en las calles, lo que genera molestia ciudadana y puede minar la credibilidad del programa. A diferencia del Escenario 2 (escalonado) donde los cambios se introducen paulatinamente, aquí el cambio es inmediato y general, dejando menos margen para “pilotos” graduales. La operatividad deberá, por tanto, ser extremadamente cuidadosa y estar lista para responder ante contingencias (p. ej., planes de respaldo si un camión de orgánicos se daña, o si un sector presenta baja presentación de bolsa verde). Asimismo, manejar dos corrientes implicará inicialmente cierta ineficiencia temporal: mientras no se alcance alta cobertura, es posible que los camiones de orgánicos circulen semi vacíos en algunos recorridos, aumentando el costo por tonelada; o que, por el contrario, en sectores muy participativos, la ruta planificada quede corta y deban hacerse viajes adicionales no previstos. Todo esto requerirá un monitoreo día a día y ajustes flexibles a la operación. En pocas palabras, la gestión operacional será más demandante que en el esquema tradicional, y necesitará refuerzo en supervisión, capacitación de operarios y sistemas de información en tiempo real para seguimiento de rutas.
- **Dependencia de la participación ciudadana plena:** El éxito de este escenario recae fuertemente en el comportamiento y compromiso de la ciudadanía. Si una proporción significativa de habitantes decide no colaborar (por apatía, desconocimiento o resistencia al cambio), los beneficios esperados se reducirán drásticamente. Por ejemplo, el escenario pesimista muestra que con una participación situada entre el 10% y el 20% aproximadamente, al final del periodo de análisis (año 2052), apenas se logran mejoras marginales. Existe el riesgo de que algunos usuarios, especialmente al inicio, no separen correctamente sus residuos (ya sea que sigan mezclando todo en una sola bolsa por hábito, o que pongan materiales indebidos en la bolsa verde). Para mitigar esto, además



de la educación continua, podría ser necesario establecer mecanismos de fiscalización y cumplimiento de inspecciones aleatorias de calidad de residuos presentados, comparendos ambientales o multas pedagógicas a grandes productores que incumplan, etc. No obstante, estas medidas a veces encuentran rechazo social, por lo que deben manejarse con tacto. En cualquier caso, si pasados unos años la tasa de separación se estanca en un nivel bajo, habría que replantear estrategias (incentivos adicionales, mayor involucramiento comunitario, ajuste en mensajes educativos) para evitar que el sistema fracase por falta de cultura ciudadana.

- **Manejo de impropios y calidad del orgánico:** Incluso con participación amplia, es casi inevitable que la fracción orgánica separada contenga algunos impropios (contaminantes). En ciudades que han implementado separación en la fuente, comúnmente se encuentran bolsas verdes con cierto porcentaje de plásticos, metales u otros residuos no orgánicos mezclados. Esto puede deberse a errores involuntarios o a actos de indisciplina de unos pocos. El problema es que, al manejar volúmenes tan grandes de orgánico, pequeños porcentajes de impropios se traducen en grandes cantidades absolutas de contaminantes que podrían terminar en la planta de tratamiento. Si no se gestionan, podrían arruinar lotes de compost (por presencia de fragmentos de vidrio/plástico) o dañar equipos en un digestor. Por lo tanto, el sistema deberá ser capaz de retirar esos impropios ya sea en la etapa de recolección (por ejemplo, los operarios revisando visualmente las bolsas y dejando aquellas claramente contaminadas, con retroalimentación al usuario) o en la planta mediante cribas y separadores. Esto añade una capa más al proceso y costos adicionales. Además, si el nivel de impropios es alto, podría llegar a desvirtuarse el esfuerzo: en casos extremos se ha visto como municipios terminan disponiendo en el relleno el orgánico separado porque estaba demasiado sucio. Evitar ese escenario requerirá persistencia educativa y posiblemente un período de adaptación donde se tolere un porcentaje moderado de errores mientras la gente aprende, pero con mejora continua. La calidad del orgánico es crucial para que los subproductos finales (compost, digerido) sean utilizables y tengan aceptación comercial o comunitaria.
- **Sincronización y riesgo de desconfianza:** Un aspecto crítico es asegurar que la infraestructura de tratamiento esté operativa a la par de la recolección. Si por atrasos administrativos o constructivos, la planta de orgánicos no estuviera lista en para el año 0, habría un grave dilema: ¿dónde llevar lo recolectado separadamente? En ningún caso debería volverse a mezclar con la basura normal ni disponerlo en el relleno, ya que eso socavaría la confianza ciudadana en todo el programa (los usuarios sentirían que hicieron el esfuerzo de separar para nada). Por ello, la planificación del Escenario 3 debe contemplar plazos realistas: si la planta se demora, tal vez habría que posponer unos meses el inicio de la recolección separada masiva (o arrancar solo con compostajes comunitarios provisionales). La coordinación interinstitucional para cumplir los cronogramas de construcción y puesta en marcha de la planta es fundamental. Asimismo, una vez iniciada la operación, será vital mantener la transparencia hacia la ciudadanía sobre el destino de los residuos: realizar jornadas de puertas abiertas en la planta, mostrar estadísticas de compost producido, etc., de modo que el público vea concretados los beneficios y mantenga su motivación para separar. La falta de información o, peor,



cualquier evento de manejo inadecuado (por ejemplo, un camión mezclando bolsas por error) puede generar rumores negativos difíciles de revertir. En resumen, la credibilidad del sistema es frágil al comienzo y debe cuidarse mediante cumplimiento estricto de lo prometido.

- **Necesidad de continuidad político-administrativa:** La implementación total de este escenario rebasa el periodo de un gobierno local, por lo que su consolidación requiere de una política de Estado municipal en materia de residuos. Un riesgo latente es que, ante un cambio de administración, las prioridades varíen y no se le dé continuidad o recursos al programa (ya sea por diferencia de visión o por presiones presupuestales). Si eso ocurriera en los primeros años, el sistema podría quedarse a medias: por ejemplo, con una planta operando, pero sin suficiente recolección separada, o con la recolección implementada, pero sin fortalecimiento educativo continuo, llevando a un estancamiento.

El objeto del presente estudio abarca únicamente al municipio de Sogamoso y el alcance del mismo, no permite incorporar el escenario regional, es decir, los 42 municipios del departamento de Boyacá, por ende, el desarrollo de este capítulo no aplica. Aspecto, que puede ser objeto de otro estudio por el municipio.

De otro lado, la regionalización tanto del relleno sanitario como de la decisión de efectuar tratamiento regional, corresponde a una decisión empresarial que respondería a las políticas generales del gobierno nacional, situación que implica mayores inversiones y posibilidad de mercados, también informar a la autoridad ambiental regional, esa decisión no hace parte de la presente consultoría.

7. TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO Y ELIMINACIÓN

En el presente capítulo se repasan y describen las diferentes tecnologías existentes para el tratamiento y eliminación de los residuos sólidos municipales (RSM). El objetivo es ofrecer un marco técnico que permita comprender los fundamentos, el funcionamiento y las implicaciones de cada proceso antes de su integración en las alternativas de gestión propuestas en el capítulo siguiente.

Adicionalmente, las tecnologías consideradas responden a los siguientes criterios:

- **Pertinencia en el contexto local:** se priorizan tecnologías aplicables a las características de los residuos municipales proyectados y a la infraestructura disponible en el municipio.
- **Relevancia ambiental:** se incluyen procesos capaces de reducir significativamente los impactos asociados al vertimiento directo en relleno sanitario, tales como la generación de lixiviados y las emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Viabilidad técnica y normativa:** se describen aquellas tecnologías reconocidas por la normativa vigente y con referencias de aplicación en sistemas de gestión de residuos urbanos en otras ciudades o regiones.
- **Potencial de valorización:** se analizan los procesos que permiten recuperar materiales y energía, contribuyendo a una economía circular.



Cada tecnología será abordada en términos de su principio de operación, requerimientos técnicos, productos o subproductos generados, y sus ventajas y limitaciones desde el punto de vista operativo, económico y ambiental. Con ello, se establece la base conceptual y metodológico necesario para comprender cómo estas variables se pueden combinar en las distintas alternativas de gestión.

7.1. Tecnologías de tratamiento

Las tecnologías de tratamiento constituyen el conjunto de procesos orientados a transformar los residuos sólidos municipales en materiales o productos que puedan reincorporarse a los ciclos productivos o aprovecharse energéticamente. Su función principal es reducir la cantidad de residuos destinados a disposición final, al mismo tiempo que se generan beneficios ambientales, sociales y económicos. Estos procesos abarcan desde operaciones físicas y mecánicas de clasificación y separación, hasta procesos biológicos y térmicos que permiten estabilizar la fracción orgánica o valorizar el contenido energético de los residuos. En el marco de la política nacional de economía circular referida, las tecnologías de tratamiento se consideran prioritarias por su capacidad de prolongar la vida útil de los rellenos sanitarios, disminuir las emisiones asociadas a la descomposición descontrolada de la materia orgánica y contribuir a la sustitución de materias primas y combustibles fósiles. De este modo, representan un paso esencial hacia sistemas de gestión más sostenibles y coherentes con los lineamientos de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos en Colombia - PGIRS.

7.1.1. Tratamiento mecánico

El tratamiento mecánico de los residuos sólidos municipales corresponde a un conjunto de operaciones de carácter físico cuyo propósito es modificar las propiedades de los residuos sin alterar su naturaleza química. Se basa en procesos de reducción de tamaño, clasificación y separación de fracciones, con el fin de mejorar la eficiencia de las etapas posteriores de gestión y aumentar la recuperación de materiales valorizables. Entre sus operaciones más habituales se encuentran la trituración, el cribado, la separación magnética y óptica, así como la compactación y acondicionamiento de corrientes de salida. A través de estas acciones se busca tanto la recuperación de materiales reciclables como la generación de fracciones con poder calorífico susceptible de valorización energética, además de una reducción en el volumen de residuos destinados a disposición final.



El tratamiento mecánico constituye un paso esencial dentro de los sistemas integrados de gestión ya que las operaciones que se llevan a cabo permiten homogenizar los flujos de entrada, estabilizar su composición y mejorar las condiciones técnicas para procesos posteriores como el tratamiento biológico, la incineración con recuperación de energía o la producción de combustibles derivados de residuos. La incorporación de controles de calidad y medidas de mitigación de impactos ambientales asociados a emisiones de polvo, ruido y partículas, garantizan un funcionamiento seguro y eficiente de las instalaciones.

En el contexto colombiano, los estudios desarrollados en ciudades como Bogotá D.C., y Cúcuta han demostrado que la incorporación de esta tecnología en plantas de gestión integral constituye una herramienta estratégica para elevar las tasas de aprovechamiento y reducir la presión sobre los rellenos sanitarios. En Bogotá²³, se ha planteado la instalación de plantas de clasificación y aprovechamiento con procesos mecánicos centralizados que permitan recuperar materiales secundarios y derivar fracciones de rechazo hacia procesos de coprocesamiento industrial. A su vez, en Cúcuta²⁴, el tratamiento mecánico se ha considerado como un complemento a la recolección selectiva, con capacidad de preparar flujos destinados a la producción de combustibles sólidos recuperados. Estas experiencias muestran que el tratamiento mecánico, lejos de ser un fin en sí mismo, actúa como un facilitador para la valorización y contribuye a la implementación de los lineamientos definidos en los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), la Estrategia Nacional de Economía Circular y de hecho juega un rol importante para los fines del recién expedido Decreto Nacional 670 de 2025 y en otros campos como la responsabilidad extendida del productor establecidas en la normativa vigente.

²³ Análisis del potencial de valorización de los residuos orgánicos y reciclables en Bogotá. Programa Empleos Verdes en la Economía Circular, PREVEC. PN 18.2139. ABRIL 2022

²⁴ Análisis del potencial de valorización de los residuos orgánicos y reciclables en Cúcuta. Programa Empleos Verdes en la Economía Circular, PREVEC. PN 18.2139. ABRIL 2022



De esta manera, el tratamiento mecánico se presenta como una tecnología que, al integrarse en los sistemas de gestión de residuos en Colombia, no solo mejora la eficiencia operativa, sino que también permite avanzar hacia las metas de aprovechamiento y sostenibilidad fijadas a nivel nacional, garantizando coherencia con los instrumentos de política pública en el sector.

7.1.2. Tratamiento biológico

El tratamiento biológico de la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales comprende un conjunto de procesos que aprovechan la capacidad de los microorganismos para transformar la materia orgánica biodegradable en productos más estables. Entre estas opciones, el compostaje se ha consolidado como la tecnología más extendida en Colombia, en la medida en que permite obtener un producto final con valor especialmente en lo agronómico, ambiental. El compostaje consiste en un proceso controlado de descomposición aeróbica en el que los microorganismos degradan los residuos orgánicos hasta obtener un material estabilizado, rico en nutrientes y con propiedades que lo hacen adecuado como enmienda orgánica o fertilizante natural. Cuando se realiza con residuos previamente separados en la fuente, el producto final alcanza mayores niveles de calidad y aceptación en el mercado, reduciendo riesgos de contaminación por materiales no deseados y asegurando su inocuidad en aplicaciones agrícolas o urbanas.



La simplicidad tecnológica del compostaje constituye una de sus principales fortalezas. Puede implementarse en diferentes escalas y modalidades, desde sistemas de pilas estáticas hasta esquemas dinámicos con volteo periódico, lo cual brinda flexibilidad para adaptarse a distintos contextos locales. Además, los costos de inversión se consideran moderados frente a otras tecnologías de tratamiento y el producto obtenido tiene usos locales inmediatos, ya sea para la mejora de suelos agrícolas, en programas de reforestación o en la recuperación de áreas degradadas. Al ser un proceso fundamentalmente aeróbico, se evita la generación descontrolada de metano propia de la descomposición anaerobia en condiciones de relleno sanitario, contribuyendo así a la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero.

El marco de política pública colombiana reconoce el compostaje como una alternativa prioritaria para la valorización de la fracción orgánica. Los lineamientos establecidos por el Ministerio de



Ambiente y Desarrollo Sostenible destacan su pertinencia en contextos donde exista disponibilidad de espacio y se busque promover la participación comunitaria a través de esquemas de compostaje descentralizado o comunitario. En zonas urbanas, el compostaje es buen ejemplo puede vincularse a programas de separación en la fuente y de educación ambiental, mientras que en entornos rurales se articula de manera natural con la producción agrícola y la gestión de residuos de origen agroindustrial.

Entre las limitaciones de esta tecnología se señala que no permite el aprovechamiento energético de la fracción tratada, dado que no genera biogás, y que en muchos casos requiere la adición de materiales estructurantes secos como poda, hojas o aserrín para lograr una adecuada relación carbono/nitrógeno y una correcta aireación de las pilas. Asimismo, los tiempos de estabilización y maduración suelen ser prolongados, extendiéndose durante varios meses hasta alcanzar un compost estable, libre de patógenos y con las condiciones físicas y químicas necesarias para su aplicación segura en suelos. A pesar de ello, el compostaje representa una alternativa preferible frente a la disposición en relleno sanitario, ya que permite retornar la materia orgánica al suelo para la recuperación, mejorar la fertilidad de los terrenos y reducir de manera significativa, en el orden del 50 al 60 %, el volumen de residuos que requieren disposición final.

En estudios recientes desarrollados en ciudades colombianas como Bogotá y Cúcuta, el compostaje ha sido señalado como una de las opciones más viables dentro de las estrategias de valorización de la fracción orgánica, siempre que se garantice una separación en la fuente eficiente y un acompañamiento técnico adecuado. Estas experiencias refuerzan la pertinencia de esta tecnología dentro de los PGIRS y en el marco de la Estrategia Nacional de Economía Circular, contribuyendo de manera directa al cumplimiento de las metas nacionales de reducción de disposición final y recuperación de materiales con valor en el territorio.

7.1.3. Biometanización (Digestión Anaerobia)

La biometanización, también conocida como digestión anaerobia, es un proceso biológico que se desarrolla en ausencia de oxígeno y en el cual la materia orgánica es degradada por consorcios de microorganismos metanogénicos. Como resultado de esta transformación se obtiene biogás, compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono en proporciones aproximadas del 60 y 40% respectivamente, junto con un residuo semisólido denominado digestato. El biogás constituye un recurso energético renovable de gran versatilidad, que puede ser utilizado directamente en la generación de energía eléctrica y térmica mediante motores o microturbinas, o bien ser sometido a procesos de depuración para obtener biometano con calidad suficiente para su inyección a la red de gas natural. Por su parte, el digestato puede aprovecharse como fertilizante orgánico, siempre que se garantice una adecuada calidad en los residuos de entrada y se complemente con procesos de postratamiento como el compostaje o el secado, que permiten su estabilización y aseguran su inocuidad ambiental.

El proceso para la producción de biogás se detalla en la Imagen 10, donde se muestran las distintas etapas que tienen lugar en una planta de digestión anaerobia: pretratamiento y depósito para la

alimentación, digestor donde tiene lugar el proceso biológico, gasómetro para recoger el biogás producido y otro depósito para el digerido (efluente).

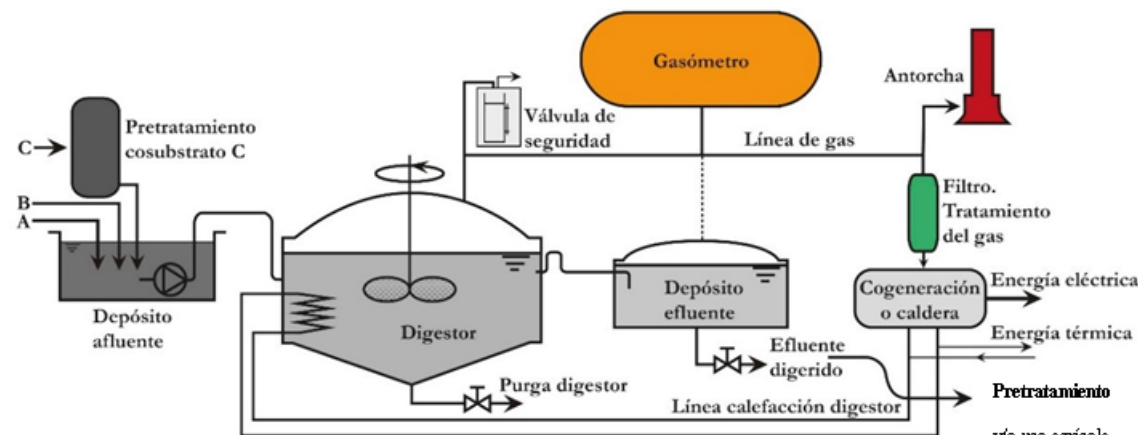


Imagen 10. Esquema del proceso de biometanización

Las ventajas de este proceso radican, en primer lugar, en la posibilidad de producir energía renovable y sustituir el consumo de combustibles fósiles, lo que contribuye a la diversificación de la matriz energética y a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Cada tonelada de residuos orgánicos sometida a digestión anaerobia evita las emisiones que se producirían en un relleno sanitario y, al mismo tiempo, genera un combustible limpio con valor económico. El tratamiento en digestores industriales presenta además un tiempo de retención relativamente corto, de entre quince y treinta días, lo que supone una aceleración notable frente a los plazos de maduración del compostaje. A ello, se suma el hecho de que el proceso se lleva a cabo en condiciones controladas dentro de reactores cerrados, con lo que se minimizan los impactos por olores ofensivos y lixiviados sobre el entorno inmediato.

No obstante, la implementación de esta tecnología requiere de inversiones de capital más elevadas en comparación con otras opciones, además de la disponibilidad de personal especializado capaz de operar sistemas de calefacción, captura y aprovechamiento de gas, y de realizar el seguimiento biológico del proceso. El digestato producido, aunque con potencial agronómico, requiere de un tratamiento posterior para garantizar su estabilidad. Asimismo, la operación de los digestores es sensible a la composición y variabilidad de la carga de alimentación, por lo que es necesario un control riguroso de las corrientes de entrada para evitar la inhibición de los microorganismos.

En Colombia, la digestión anaerobia de residuos sólidos urbanos ha empezado a consolidarse como una alternativa tecnológica coherente con los principios de la economía circular y la política nacional de energías de fuentes no convencionales. La Resolución 938 de 2019 del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio promueve proyectos de tratamiento a partir de residuos orgánicos municipales, en concordancia con los lineamientos de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) y la Estrategia Nacional de Economía Circular, etc. Estos instrumentos reconocen la biometanización como una tecnología capaz de conjugar el aprovechamiento de la fracción



orgánica con la generación de energía limpia, aportando beneficios ambientales, energéticos y sociales en los territorios donde se implemente.

7.2. Tecnologías de eliminación

Las tecnologías de eliminación, aunque situadas en la base de la jerarquía de la gestión de residuos, siguen siendo necesarias como último recurso para aquellos flujos que no pueden ser valorizados de manera técnica, económica o ambientalmente viable, es decir, con beneficios agregados como los antes expuestos. Su propósito es garantizar la disposición segura y controlada de los residuos, evitando impactos sobre la salud pública y el ambiente. Entre estas tecnologías se incluyen los procesos asociados a la gestión de subproductos de la valorización térmica, como las cenizas generadas en incineración o gasificación, que requieren de un tratamiento y disposición adecuados. Aunque las políticas nacionales y locales priorizan la reducción progresiva de la eliminación en favor del aprovechamiento y el tratamiento, la existencia de tecnologías de eliminación sigue siendo indispensable para completar el ciclo de gestión, garantizando un destino final ambientalmente seguro para las fracciones no valorizables.

7.2.1. Gasificación

La gasificación es un proceso termoquímico que se desarrolla en un ambiente con aporte limitado de oxígeno y que permite transformar la materia sólida en un gas combustible mediante una serie de reacciones controladas. El producto principal es el gas de síntesis, compuesto fundamentalmente por monóxido de carbono, hidrógeno, dióxido de carbono y metano en menor proporción, el cual, tras ser debidamente acondicionado, puede utilizarse como combustible en calderas, turbinas o motores de combustión interna. Este proceso no solo reduce el volumen de residuos destinados a disposición final, sino que también ofrece la posibilidad de aprovechar energéticamente la fracción orgánica contenida en ellos.

Desde un punto de vista ambiental, la gasificación presenta ventajas frente a la combustión tradicional, pues al requerir solo una fracción del oxígeno estequiométrico se minimiza la formación de contaminantes como óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno y dioxinas, y el menor volumen de gases de proceso reduce la complejidad y el costo de los equipos de limpieza. A ello se suma la posibilidad de convertir las escorias en subproductos útiles para la industria de la construcción, en coherencia con los principios de economía circular. Sin embargo, el proceso enfrenta aún retos técnicos asociados a la eliminación de alquitranes y compuestos condensables del gas de síntesis, cuya acumulación en tuberías y sistemas de intercambio puede limitar la disponibilidad de las plantas y elevar los costos de operación.

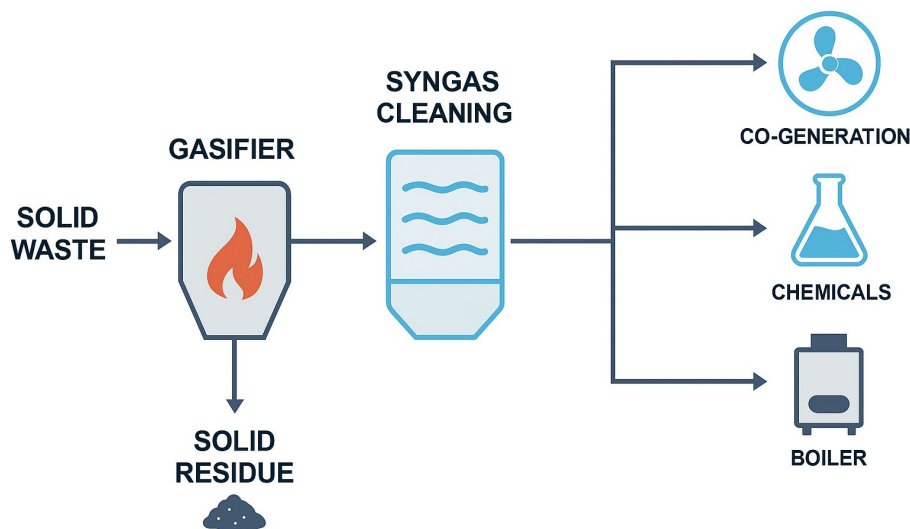


Imagen 11. Proceso de gasificación.

En el caso colombiano, la gasificación de residuos sólidos urbanos y biomasa se encuentra principalmente en etapas de evaluación técnica y económica, con experiencias piloto y proyectos en fase de estudio que exploran su adaptación a las condiciones locales. Hasta el momento no existen instalaciones industriales consolidadas, lo que refleja un estado incipiente y experimental de la tecnología en el país. Pese a ello, su desarrollo ha sido reconocido en los instrumentos de política pública. Los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos incluyen la valorización energética mediante gasificación como una de las alternativas posibles para el tratamiento de residuos, y la Estrategia Nacional de Economía Circular promueve el uso eficiente de materiales y energía, contemplando tecnologías de conversión como esta para cerrar ciclos productivos y reducir la disposición en relleno sanitario. La biomasa y la energía figuran entre los flujos estratégicos priorizados por la Estrategia, lo que otorga a la gasificación un lugar relevante en el futuro de la gestión de residuos y en la transición hacia modelos productivos circulares.

En conclusión, la gasificación se perfila como una alternativa innovadora en la perspectiva gradual y progresiva para la gestión de residuos en Colombia, reconocida institucionalmente por sus beneficios potenciales en la reducción de emisiones y en la diversificación de la matriz energética. No obstante, la tecnología requiere aún de consolidación, escalamiento industrial y validación en condiciones reales para materializar su potencial dentro de los sistemas locales de gestión. En este sentido, su desarrollo futuro dependerá de la capacidad de superar las limitaciones técnicas actuales y de fortalecer el desarrollo normativo y financiero que facilite su implementación en el marco de los objetivos nacionales de sostenibilidad y economía circular.



7.2.2. Incineración con recuperación de energía (WtE)

La incineración con recuperación de energía (WtE) es un proceso de combustión controlada en el que los residuos se oxidan en condiciones de exceso de aire y altas temperaturas, superiores a 850°C o incluso a 1.100°C en función del tipo de residuo tratado. Durante este proceso, la fracción combustible de los residuos se transforma en gases de combustión, cenizas y escorias inertes, al tiempo que se aprovecha la energía contenida en los materiales para su conversión en calor y electricidad. El objetivo central consiste en reducir de manera significativa el volumen y peso de los residuos, hasta en un 90 % en volumen y un 75 % en peso, y en valorizar energéticamente aquellos flujos que no pueden ser reciclados o reutilizados.

El rendimiento energético de la incineración depende del diseño de los hornos, del control de los parámetros de combustión y de la eficiencia de los sistemas de recuperación de calor. Los tipos más comunes de hornos son de parrilla, de lecho fluidizado y rotatorios, a los que se acoplan calderas de vapor o de agua caliente que transforman la energía térmica en energía eléctrica mediante turbogeneradores. En algunos casos, estos sistemas pueden combinarse con turbinas de gas para optimizar el rendimiento global. Los residuos que resultan del proceso incluyen cenizas de fondo, chatarras metálicas recuperables y cenizas volantes que requieren de un manejo y disposición adecuados, junto con corrientes líquidas y gaseosas que deben ser tratadas para cumplir con la normativa ambiental vigente.

En materia de emisiones, la incineración exige un riguroso control tanto en la fase primaria del proceso, asegurando una combustión eficiente mediante tiempo de residencia, turbulencia y temperatura adecuados, como en la fase secundaria, que incluye sistemas de depuración de gases. Estos deben eliminar partículas sólidas, gases ácidos, compuestos orgánicos no quemados, metales pesados y, en particular, limitar la formación de dioxinas y furanos. La normativa internacional y los documentos de referencia como el documento de mejores técnicas disponibles (BREF) establecen parámetros de operación que garantizan la reducción de contaminantes y la eficiencia energética de las instalaciones.

En Colombia, la incineración con recuperación de energía se encuentra en una fase de transición entre el desarrollo inicial y la implementación de proyectos emblemáticos. El caso más destacado es la planta de termovalorización en construcción en el Parque de Innovación Doña Juana en Bogotá, que será pionera en el país y en América Latina. Esta planta está diseñada para tratar entre 2.400 y 3.000 toneladas diarias de residuos, con capacidad de generar más de 128 megavatios de energía eléctrica, equivalentes al consumo de más de 40.000 hogares o al alumbrado público de la ciudad. El proyecto emplea tecnología de incineración de alta eficiencia con estrictos estándares de control de emisiones, y constituye un hito en la estrategia nacional de diversificación de soluciones para la gestión de residuos.

El sector privado también ha impulsado el uso de esta tecnología. Empresas como Atica han implementado incineradores para residuos no aprovechables, con el fin de recuperar energía térmica, producir combustibles alternos y apoyar iniciativas de economía circular industrial. En



estos casos, la incineración se emplea como complemento a la reducción, el reciclaje y la reutilización, aplicándose a los flujos residuales que no encuentran otra vía de valorización.

El marco normativo colombiano reconoce la incineración con recuperación energética como una alternativa de valorización dentro de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) y en desarrollo en la Estrategia Nacional de Economía Circular, siempre bajo la condición de cumplir con los estándares ambientales de control de emisiones y con niveles mínimos de eficiencia energética. Su aporte estratégico se centra en disminuir la cantidad de residuos enviados a relleno sanitario, reducir las emisiones de metano y otros gases de efecto invernadero, y generar subproductos como cenizas y escorias que pueden encontrar aplicaciones en la industria de la construcción.

A pesar de estos avances, la incineración en Colombia todavía representa un porcentaje muy limitado dentro de la gestión global de residuos y enfrenta retos en materia de inversión, socialización y escalamiento industrial. El enfoque nacional continúa priorizando la reducción, el reciclaje y la reutilización, reservando la incineración con recuperación de energía para aquellos residuos que no tienen alternativas viables de aprovechamiento material. En este sentido, el desarrollo de proyectos como el de Bogotá D.C., junto con las experiencias privadas, marca el inicio de un proceso de consolidación que, de mantenerse, podría posicionar a la incineración con valorización energética como un pilar complementario dentro de la gestión integral de residuos en el país.

7.2.3. Depósito cenizas procesos térmicos

El depósito y gestión de cenizas procedentes de procesos térmicos como la incineración, la combustión de biomasa y la gasificación constituye un aspecto crítico dentro de la gestión integral de residuos. Estas corrientes, que incluyen tanto cenizas de fondo como cenizas volantes, concentran materiales inertes junto con compuestos potencialmente peligrosos, lo que obliga a un manejo ambientalmente seguro y regulado. En Colombia, el destino habitual de estas cenizas ha sido su disposición como residuos sólidos industriales en depósitos controlados o rellenos especiales, práctica extendida en sectores como la generación eléctrica a carbón, donde se retiran directamente de las calderas y se almacenan en escombreras o celdas diseñadas para este fin. Aunque este esquema asegura la contención, no aporta valor adicional y prolonga la dependencia de espacios de disposición final.

Las cenizas de procesos térmicos presentan desafíos adicionales debido a la presencia de metales pesados, compuestos sulfurosos y otras sustancias que, en concentraciones elevadas, pueden comportarse como contaminantes. Por esta razón, la normativa ambiental nacional exige que su gestión esté acompañada de estudios técnicos que definan tanto los riesgos como las opciones de aprovechamiento, en línea con los principios de la Estrategia Nacional de Economía Circular. En este contexto, la investigación y el desarrollo tecnológico han comenzado a explorar alternativas de valorización que permitan transformar lo que tradicionalmente se ha considerado un desecho en un insumo industrial.



Entre las líneas de trabajo más destacadas se encuentran la utilización de cenizas como sustituto parcial de materiales en la producción de cemento y concreto, así como la recuperación de minerales críticos o tierras raras presentes en bajas concentraciones. Estas iniciativas, aún en fase de validación o a nivel piloto, han sido señaladas en escenarios como la Cumbre Colombiana del Carbón de 2025, donde se resaltó el potencial de las cenizas volantes para integrarse en cadenas productivas y reducir la presión sobre la disposición final. No obstante, su aprovechamiento masivo requiere superar limitaciones técnicas asociadas a la variabilidad en la composición de las cenizas y a la necesidad de asegurar su inocuidad ambiental antes de cualquier reutilización.

En la práctica, la mayor parte de las cenizas generadas en Colombia continúa siendo tratada como un residuo, cuyo manejo está condicionado por las exigencias de licenciamiento ambiental para el caso que contengan características de peligrosidad, planes de manejo de residuos industriales y medidas de monitoreo continuo. Sin embargo, la inclusión de la gestión de cenizas dentro de las estrategias locales de residuos sólidos y de la economía circular abre la posibilidad de que en los próximos años se desarrollen esquemas híbridos que combinen disposición controlada con valorización parcial. De esta manera, la gestión de cenizas puede pasar de ser un potencial pasivo ambiental o una problemática a convertirse en una oportunidad para la innovación tecnológica y la reducción de impactos, contribuyendo al cierre de ciclos productivos y a la consolidación de modelos más sostenibles en el país.

7.2.4. Producción de CSR

La producción de Combustible Sólido Recuperado (CSR) constituye un proceso de valorización energética orientado a transformar la fracción de residuos no reciclables en un combustible alternativo con características homogéneas y un poder calorífico apto para su uso en procesos industriales. A través de operaciones de clasificación, trituración, separación de metales y acondicionamiento, los residuos se convierten en un producto con especificaciones controladas, que puede presentarse en forma de material suelto, triturado o densificado como pellets. El destino más habitual del CSR son los hornos cementeros, donde sustituye combustibles fósiles como el carbón, el fuel oil o el ACPM, contribuyendo de manera directa a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero asociadas al consumo de combustibles tradicionales.

Desde el punto de vista técnico, el CSR aprovecha principalmente corrientes de rechazo de plantas de clasificación o de tratamiento mecánico-biológico, así como residuos industriales o comerciales con alto contenido energético. El proceso permite concentrar la fracción combustible y separar materiales impropios, de modo que se obtiene un producto de composición más estable que el residuo inicial. Para garantizar su calidad, se controlan parámetros como el poder calorífico inferior, el contenido de humedad, el porcentaje de cenizas y la presencia de cloro y metales, de acuerdo con las especificaciones que exige cada instalación consumidora. La estandarización de estos parámetros no solo asegura el rendimiento energético en los hornos, sino que también previene problemas operativos y ambientales en su uso final.

En Colombia, la producción de CSR se encuentra en una fase de crecimiento y consolidación, con proyectos pioneros impulsados principalmente por el sector privado. Empresas como Atica han



desarrollado plantas en Cartagena y Bogotá D.C., con nuevas instalaciones previstas en Cali, que incorporan tecnologías avanzadas de clasificación, trituración y densificación, además de contar con logística propia para garantizar el transporte y la entrega del combustible. Estas iniciativas han demostrado la viabilidad técnica del proceso y su capacidad de integrarse a la matriz energética industrial, particularmente en la industria cementera. En 2020, se procesaron más de 14.000 toneladas de residuos a través de esta tecnología, con capacidades instaladas que alcanzan hasta 25.000 toneladas anuales, aunque el volumen actualmente tratado es menor, lo que refleja el amplio margen de expansión existente frente al potencial disponible.

El reconocimiento institucional del CSR se da en el marco de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos y de la Estrategia Nacional de Economía Circular, que promueven la valorización energética de la fracción no reciclable como mecanismo para extender la vida útil de los rellenos sanitarios, reducir las emisiones de metano y diversificar las fuentes de energía. Su desarrollo contribuye a disminuir la presión sobre los sitios de disposición final y a cerrar ciclos productivos mediante la sustitución de combustibles fósiles en procesos industriales de gran demanda energética.

En el caso particular de Sogamoso y su área de influencia, la producción de CSR adquiere una relevancia estratégica debido a la fuerte presencia de la industria cementera, que concentra una parte significativa del consumo energético de la región. Los hornos de clinker, por sus condiciones de alta temperatura y tiempo de residencia, constituyen instalaciones idóneas para la utilización de CSR como combustible alterno. La disponibilidad de una fuente local y continua de este material no solo permitiría sustituir parte del carbón mineral utilizado actualmente, reduciendo las emisiones asociadas a su combustión, sino que también consolidaría un modelo de economía circular territorial, en el que los residuos municipales se transforman en energía útil para un sector clave de la economía regional. Este encadenamiento productivo reduciría los costos de disposición, incrementaría las tasas de valorización y generaría sinergias entre la gestión pública de residuos y la industria privada, con beneficios ambientales y económicos directos para la región.

No obstante, la producción de CSR enfrenta aún retos significativos en cuanto a escala de implementación, estandarización de calidad y expansión de la demanda. El número de plantas en operación es todavía limitado en comparación con la cantidad de residuos generados en el país, lo que evidencia la necesidad de políticas de incentivo y de mayor articulación entre el sector público y privado para consolidar esta tecnología. A pesar de ello, el CSR representa una opción estratégica para el futuro de la gestión de residuos en Colombia, y en entornos industriales como Sogamoso puede convertirse en un eje articulador entre la gestión integral de residuos y la reducción de la huella de carbono del sector cementero.



8. PRODUCTOS RESULTANTES DE LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS

8.1. Estudio de mercado para bioestabilizado categoría B

8.1.1. Introducción y posicionamiento de uso

El bioestabilizado categoría B, material orgánico estabilizado o parcialmente estabilizado, proveniente de fracciones orgánicas municipales y residuos verdes, no compite con el compost agrícola. Su ámbito natural es la restauración, revegetación, control de erosión y, de forma destacada, las actividades de cierre y posclausura de infraestructuras como rellenos sanitarios. En estos usos, los requisitos se centran en la estabilidad del material, el aporte de materia orgánica como enmienda, el control de lixiviados y la inocuidad ambiental y sanitaria (ausencia de patógenos relevantes y cumplimiento de límites de metales). La aceptación de mercado depende de demostrar trazabilidad de origen y de presentar resultados de laboratorio por lote. En el corredor Sogamoso–Nobsa–Belencito existe demanda específica y actual para rehabilitación de chircales y suelos degradados, revegetación de márgenes y taludes, restauración de microcuencas y la posclausura del Relleno Sanitario Terrazas del Porvenir. Los compradores potenciales incluyen entidades territoriales y operadores de residuos, la autoridad ambiental regional (Corpoboyacá), contratistas y consultoras ambientales con contratos de cierre y restauración, empresas mineras con obligaciones de recuperación y proyectos de ONG vinculados a reforestación y manejo de microcuencas.

8.1.2. Contexto local y rango de dosis/volúmenes

El contexto local refuerza esta oportunidad. Entre 2023 y 2024 el relleno Terrazas del Porvenir enfrentó medidas regulatorias y tensiones socio-técnicas que derivan en necesidades de remediación, cobertura operativa y posclausura. Estas intervenciones suelen requerir materiales de enmienda con especificaciones técnicas claras para controlar olores, mejorar coberturas, favorecer la revegetación y gestionar la percolación de lixiviados. De manera complementaria, los diagnósticos de cuenca y suelos en Nobsa, Belencito y áreas cercanas describen superficies degradadas y perfiles edáficos delgados que exigen enmiendas orgánicas para recuperar estructura, porosidad y capacidad de retención hídrica. Bajo criterios prácticos de ingeniería de suelos y restauración, las dosis de aplicación se sitúan típicamente en rangos de 3–10 Ton/ha para revegetación superficial de coberturas; 10–20 Ton/ha cuando se persigue una restauración acelerada o existe mayor degradación; 5–20 Ton/ha en reforestación de pendientes y microcuencas según severidad y topografía; y 10–30 Ton/ha para recuperación inicial de chircales y zonas muy empobrecidas. En términos operativos, esto se traduce en volúmenes que pueden ir de decenas a miles de toneladas por proyecto, con escalabilidad a través de contratos públicos (municipios, Corpoboyacá) y convenios con operadores ambientales.



8.1.3. Requisitos del producto y calidad/inocuidad

El bioestabilizado categoría B para usos no agrícolas debe cumplir un umbral mínimo de desempeño e inocuidad. En restauración y posclausura interesa que muestre estabilidad biológica (temperatura controlada y baja respiración), un contenido de materia orgánica intermedio (aprox. 15–35% en base seca, ajustable a la formulación), humedad operativa para manejo (20–40%), granulometría compatible con la función (posible mezcla con agregados para mejorar porosidad y drenaje) y controles ambientales que acrediten niveles admisibles de metales (p. ej., Pb, Cd, As, Hg, Cr, Ni) y ausencia de patógenos de importancia (E. coli, Salmonella). La caracterización de lixiviados (DQO/DBO y potencial de percolación) es crítica cuando se aplica en coberturas de rellenos. La trazabilidad de la materia prima, procedencia y proceso de estabilización, debe constar en la ficha técnica de cada lote.

8.1.4. Marco regulatorio operativo

Regulatoriamente, el uso no agrícola de un material proveniente de residuos se enmarca en las competencias de la autoridad ambiental regional correspondiente; en Boyacá, Corpoboyacá evalúa y autoriza usos en restauración y exige, cuando corresponda, Planes de Manejo y condiciones específicas para posclausura. El ICA interviene cuando se pretende comercializar el material como fertilizante o acondicionador agrícola; para la categoría B orientada a restauración y posclausura, la ruta prioritaria es la autorización ambiental con respaldo analítico por lote. Operativamente, antes de comercializar, conviene acordar con Corpoboyacá y con el municipio de Sogamoso el esquema de uso, presentar los análisis de laboratorio y coordinar con el operador del relleno, y con el Ministerio competente según el caso, los requisitos técnicos y de seguridad ambiental en sitio.

8.1.5. Mercado y perfiles de comprador

Los actores con mayor propensión a demanda son: municipios y operadores de residuos que requieren materiales para cobertura y posclausura; Corpoboyacá y dependencias ambientales que ejecutan o cofinancian restauración de cuencas; contratistas y consultoras que desarrollan cierres mineros y revegetación; titulares mineros con obligaciones de compensación; y organizaciones que impulsan reforestación y soluciones basadas en la naturaleza. Para Sogamoso y su área de influencia, la prioridad comercial es construir con el operador del relleno y la Secretaría de Medio Ambiente un piloto de aplicación en cobertura y revegetación, con protocolos de muestreo, seguimiento y verificación de desempeño, e involucrar a Corpoboyacá como ente técnico y de permiso.

8.1.6. Precios de referencia y forma de contratación

No existe un mercado abierto consolidado para bioestabilizado no agrícola; una referencia razonable es el compost municipal a granel y sus costos asociados, ajustando por grado de



estabilización, control de vectores y exigencias analíticas. En Colombia, el compost a granel suele cotizarse alrededor de 300.000–350.000 COP/Ton. Para el bioestabilizado B destinado a restauración, un rango orientativo en planta (FOB Sogamoso) se ubica entre 220.000 y 320.000 COP/Ton en calidades estándar. Cuando el uso exige cribado fino, estabilización adicional y certificación analítica para posclausura, el rango puede situarse entre 320.000 y 420.000 COP/Ton, al incluir informes y control de calidad por lote. En la contratación pública, el valor efectivo se estructura como servicio integral (suministro, transporte, extendido y control técnico) y la unidad de pago habitual es COP/Ton aplicada en obra.

8.1.7. Oferta técnica y presentaciones

La oferta técnica mínima recomendable puede presentarse como un producto B-REST: material orgánico procedente de fracción orgánica separada y residuos verdes, sometido a termofase controlada o compostaje prolongado para reducción de patógenos, cribado acorde al uso y posibilidad de mezclas con agregados minerales (arena, grava fina o, según caso, biochar) para alcanzar la funcionalidad requerida en cobertura o sustrato de revegetación. Cada lote debe entregarse con ficha técnica que declare origen y fecha de producción, resultados analíticos (metales, DQO/DBO, pH, %MO, humedad, ensayo de estabilidad), recomendación de uso y dosis. Las presentaciones más eficientes para obra son a granel, con logística en camiones de 8–12 Ton y, si el contrato lo exige, servicio de extendido y compactación superficial. A efectos de diseño, las dosis de referencia son: 3–10 Ton /ha para capas superficiales de revegetación en posclausura; 10–20 Ton /ha en restauración intensiva; 5–20 Ton /ha en reforestación de pendientes y microcuencas; y 2–8 Ton /ha para control de erosión en taludes cuando se combine con geotextiles y obras de contención. Los controles de calidad priorizados incluyen metales, estabilidad (respiración), DQO/DBO de lixiviados y rechazo de impropios; debe emitirse un informe por lote.

8.1.8. Estrategia comercial

La estrategia comercial debe posicionar el bioestabilizado como un insumo con servicio y no solo como un material. Diferenciadores técnicos como el ensayo de estabilidad, los análisis de metales y lixiviados, y la trazabilidad del origen, junto con la opción de mezclas a la medida, sostienen una propuesta de valor basada en mitigación de riesgos ambientales y desempeño en campo. El modelo de precio puede ser escalonado por volumen (p. ej., ≥ 50 t y ≥ 200 t) y estructurado en paquetes que integren suministro, control de calidad y aplicación. La plaza natural de arranque es Sogamoso y municipios aledaños (Nobsa, Belencito, Duitama), con acuerdos logísticos locales y participación activa en licitaciones municipales y de la CAR, además de convenios directos con operadores de rellenos y contratistas ambientales. La promoción efectiva en el sector público descansa en un dossier técnico claro, demostraciones en sitio (pilotos de posclausura), webinars y asistencia técnica a funcionarios, apoyados por muestras y protocolos de aplicación.



8.1.9. Riesgos y mitigaciones

Por último, la gestión de riesgos es parte central de la due diligence. El “riesgo regulatorio”, estatus de residuo vs. Subproducto, se mitiga con una ruta de permisos acordada con la CAR y documentación analítica robusta por lote. El “riesgo social” en torno al relleno se aborda con transparencia, medidas de manejo en sitio (control de olores y vectores), mesas de trabajo y seguimiento de desempeño del material. La “variabilidad de calidad” se controla con recepción selectiva, cribado y plan de muestreo/ensayo antes de despacho. El “riesgo logístico” se reduce con mini-hubs, rutas optimizadas y contratos por volumen. Con estos elementos, el bioestabilizado B puede consolidarse como solución técnica y ambientalmente segura para las necesidades inmediatas de restauración y posclausura en el corredor **Sogamoso–Nobsa–Belencito**.

8.2. Estudio de Mercado Consolidado: Compost producido a partir de residuos orgánicos separados en la fuente (Sogamoso, Boyacá)

8.2.1. Base agrícola y demanda en Boyacá

En Boyacá existe una base agrícola y pecuaria que favorece el uso de enmiendas orgánicas. La papa mantiene un peso estructural en el departamento, con superficies de siembra que distintos reportes ubican en un rango de 30.000 a 35.000 ha (*dato observado, rango consolidado de fuentes sectoriales recientes*). La cebolla larga —concentrada en la cuenca de la Laguna de Tota (Aquitania) y su área de influencia— registra superficies en el entorno de 6.000 a 8.250 ha según la fuente (*dato observado, rango institucional*). En los corredores Tunja–Duitama–Sogamoso se desarrollan hortalizas y frutales andinos en superficies menores pero intensivas (*dato observado general*), mientras que la ganadería lechera sostiene extensas praderas que requieren renovaciones periódicas (*dato observado general*). Este mosaico configura un mercado natural para compost, tanto por la necesidad de mejorar estructura y materia orgánica del suelo como por la retención hídrica que aporta en cultivos intensivos y praderas.

8.2.2. Tasas de uso y dosificación (estimaciones)

Las tasas de uso de compost por cultivo se expresan como rangos que dependen del sistema (campo vs. invernadero), del estado del suelo y del objetivo (mantenimiento o recuperación). En papa se emplean 10–30 Ton/ha por ciclo (estimación técnica basada en literatura y ensayos), con el extremo superior en programas de recuperación de suelos. En cebolla larga, la práctica se sitúa en 5–20 Ton/ha por ciclo con menores dosis cuando el compost complementa la fertilización mineral (estimación técnica). En hortalizas y frutales andinos, los rangos típicos son 5–25 Ton/ha (estimación técnica), y en praderas se aplican 15–40 Ton/ha cuando se persigue recuperación de materia orgánica y mejora de cobertura (estimación técnica). Estas bandas son útiles para planificación comercial y deben ajustarse con análisis de suelo y ensayos locales.



8.2.3. Relación con fertilización mineral (ejemplo de cálculo)

Para dimensionar la relación con fertilizantes minerales, se compara el costo del nitrógeno aportado por urea con precios minoristas recientes. Como ejemplo de cálculo, un cultivo de papa que requiera 200 kg N/ha y use urea 46% N necesita unos 435 kg de urea ($\approx$ 9 bultos de 50 kg). Tomando un precio medio de \$160.000 COP/bulto (2024–2025), el costo del nitrógeno asciende a 1,44 millones COP/ha, sin incluir fósforo ni potasio ni costos de aplicación. Si además se emplea una mezcla NPK 20-20-20 en torno a 100 kg/ha a 300.000–\$345.000 COP/25 kg, el gasto mineral total puede ubicarse en el rango de 1,2–1,8 millones COP/ha. En esquemas integrados, el compost no sustituye totalmente los minerales, pero reduce dosis y mejora la eficiencia por efectos en estructura, CIC y agua útil del suelo (*conclusión técnica*).

8.2.4. Calidad y regulación (ICA/NTC 5167)

El compost agrícola debe alinearse con la **NTC 5167** para parámetros fisicoquímicos, metales y criterios microbiológicos (marco normativo observado). Operativamente, la ruta ICA contempla el registro como fabricante/formulador/ensavador y el registro de venta del producto, soportados en ficha técnica por lote —ya incluida en el texto original—, análisis de laboratorio acreditado, etiquetado conforme y trazabilidad (proceso observado). A nivel de producto, los objetivos técnicos más habituales son MO $\geq$ 30%, C/N 10–20, humedad 30–40%, pH de trabajo entre 6,0 y 8,0, estabilidad/madurez verificadas y ausencia de impurezas como plásticos o vidrios (especificaciones orientativas, estimación técnica basada en norma y práctica).

8.2.5. Referencias de precio y posicionamiento comercial

Las referencias de precio disponibles muestran que la urea 50 kg se negocia entre \$142.000 y \$178.000 COP/bulto y el NPK 20-20-20 (25 kg) entre \$300.000 y \$345.000 COP (datos observados 2024–2025). En compost, los bultos de 50 kg para retail se ubican típicamente entre \$39.900 y \$52.900 COP/bulto, mientras que el granel se referencia en \$300.000–\$350.000 COP/Ton en mercados mayoristas (datos observados). Con base en estas señales, el posicionamiento recomendado es valor agronómico + servicio técnico: incorporar análisis por lote (con la ficha técnica ya incluida), recomendaciones de uso por cultivo y trazabilidad del origen (residuos separados en la fuente en Sogamoso), reforzando la propuesta de economía circular local.

8.2.6. Portafolio y usos recomendados

El portafolio puede estructurarse sin complejidad en tres líneas que respondan a necesidades reales del mercado. El compost agrícola a granel —maduro, cribado, con MO $\geq$ 30%, C/N 10–20 y humedad 30–40%— se orienta a papa, cebolla y praderas, con dosis de referencia ya citadas. El compost ensacado 50 kg, cribado 10–15 mm y rotulado con QR, se dirige a viveros, huerteros y pequeños productores; suele emplearse en mezclas de sustrato 20–40% o como enmienda superficial 2–5 kg/m² (*estimación técnica*). Una línea premium enriquecida **con** biochar y/o bocashi



atiende nichos de alto valor y suelos ligeros, con el beneficio de mayor CIC y retención hídrica; el precio puede situarse 8–15% por encima del estándar.

8.2.7. Canales, adopción y demostración

El radio operativo natural desde Sogamoso permite atender Tunja, Duitama, Paipa y Aquitania (*dato observado de geografía operativa*). La mezcla de venta directa a asociaciones para granel, distribuidores locales y viveros para ensacado, y marketplaces B2B como Croper/Comproagro facilita tanto capilaridad como formalización logística (*estrategia comercial*). Para acelerar adopción, son eficaces las demostraciones en campo con parcelas comparativas en papa y cebolla, reportando rendimiento y propiedades del suelo (MO, CIC, retención hídrica) bajo un protocolo transparente (*estimación de impacto esperable*). La gestión digital y formularios de pedido simplifica la cotización y programación de entregas en veredas (*práctica operativa*).

8.2.8. Dimensionamiento, riesgos y pasos inmediatos

A modo de dimensionamiento, si la superficie de papa alcanzara 30.000 ha y se aplicara una tasa media de 10 Ton/ha, la demanda teórica sería de ~300.000 t/año (escenario teórico de capacidad, no meta comercial). En la realidad de un primer año, la penetración razonable para pilotos y primeras ventas suele moverse entre 1% y 3% de esa base (estimación comercial prudente), modulada por precio, cercanía logística, disponibilidad de distribuidores y validación técnica local.

El riesgo competitivo por precio y la presencia de compost no certificado se mitigan con NTC 5167 + registro ICA, más evidencia de campo (fichas de lote y resultados de ensayos). Las restricciones logísticas rurales se reducen con mini-hubs cercanos a zonas de consumo y acuerdos con transportistas locales; la estacionalidad se gestiona mediante contratos marco con asociaciones y reservas de producto (*estrategias de mitigación, estimación operativa*). Como pasos inmediatos, se recomienda poner en marcha la tramitación ante ICA con el paquete técnico (análisis de laboratorio, fichas y etiquetado), acordar tres parcelas demostrativas, papa en Tunja/Duitama, cebolla en Aquitania y pradera en cuenca lechera, y cerrar acuerdos de distribución con actores locales para ensacado y granel, junto con una tabla de fletes por kilómetro que dé transparencia de costos (*recomendación operativa basada en viabilidad y tiempos de adopción*). Con disciplina en calidad y trazabilidad, el compost de Sogamoso puede consolidarse como insumo agrícola confiable y emblema de economía circular en Boyacá.



8.3. Estudio de Mercado: Combustibles sólidos recuperados producidos a partir de residuos sólidos urbanos (Sogamoso, Boyacá)

8.3.1. Contexto y definiciones operativas

Para enmarcar la lectura: por TSR se entiende la fracción de energía térmica del horno cubierta con combustibles alternativos; por PCI/LHV el contenido energético (MJ/kg o kcal/kg) que permite comparar calidades; por RDF/CDR el combustible sólido obtenido de fracciones no reciclables (municipales, comerciales o industriales) mediante pretratamientos mecánicos y, cuando aplica, térmicos; y por MRS los materiales reciclables recuperados antes de destinar la fracción resto a combustible.

Con estas definiciones operativas, el abanico de combustibles va desde sólidos manufacturados (SRF/RDF de RSM y rechazos industriales, típicamente 10–18 MJ/kg como dato técnico), líquidos por pirólisis/refino, biomasa pretratada (≈ 14 –18 MJ/kg) y gases como el biogás. Además del CDR/SRF, la co-valorización cementera en Colombia incorpora neumáticos fuera de uso, biomasa residual y mezclas líquidas (aceites/lodos), cuya adopción depende de la logística y de los límites de emisiones del horno.

8.3.2. Tipologías y criterios técnicos

A efectos de diseño e incorporación en hornos, interesan cuatro parámetros: el PCI (que determina la masa necesaria para sustituir carbón), la granulometría/finura (que condiciona la inyección y el tiempo de residencia), la humedad (que penaliza el balance térmico) y los contaminantes traza, en especial cloro y mercurio, que definen clases de calidad y límites contractuales alineados con EN 15359. Con esta lógica, la Tabla 44 sintetiza tipologías, rangos de PCI y usos habituales. Su lectura operativa es clara: a PCI más alto y fracción más homogénea, más fácil resulta estabilizar la combustión y dosificar; las corrientes densificadas (SRF pelletizado) mejoran logística y constancia, aunque elevan CAPEX/OPEX por secado y peletización; y las corrientes con mayor cloro exigen hornos con control de gases y acuerdos contractuales estrictos.



Tabla 44. Tipos de RDF, rangos de PCI y aplicaciones en cementeras.

Tipo de RDF	Origen	Procesamiento	Poder Calorífico (MJ/kg)	Poder Calorífico (kcal/kg)	Ventajas	Desventajas	Usos en Cementeras
RDF Urbano (RSU)	Fracción no reciclable de residuos domésticos	Trituración, separación metales y vidrio	10 – 16	2.390 – 3.824	Bajo costo, disponibilidad abundante	Heterogéneo, mayor contenido de humedad y cloro	Sustitución parcial en hornos de cemento con presecado
RDF Industrial/Comercial (C&I)	Residuos de comercio, industria, construcción	Triturado y cribado	15 – 20	3.585 – 4.780	Más homogéneo, mayor poder calorífico	Menor disponibilidad	Uso en precalcinadores y calderas industriales
RDF Grueso (Shredder)	RSU o industriales	Trituración primaria (100–300 mm)	12 – 18	2.868 – 4.302	Bajo costo de preparación	Combustión menos eficiente	Inyección gruesa en hornos cementeros
RDF Fino (Fluff)	RSU/Industriales	Trituración secundaria (10–30 mm)	14 – 20	3.346 – 4.780	Homogéneo, combustión rápida	Mayor costo de preparación	Ideal para precalcinadores
RDF Pelletizado (SRF)	Mezcla optimizada de residuos	Secado, homogenización y compactación en pellets/briquetas	16 – 22	3.824 – 5.258	Estable, fácil de transportar, calidad controlada (EN 15359)	Costos altos de fabricación	Cementeras con logística avanzada
RDF de Plásticos no reciclables	Películas, empaques, plásticos sucios	Triturado y compactado	20 – 30	4.780 – 7.170	Alto poder calorífico, sustituto cercano del carbón	Riesgo de emisiones de cloro	Hornos cementeros con control de gases
RDF Biomasa seca	Maderas, podas, textiles naturales	Triturado y secado	12 – 18	2.868 – 4.302	Bajo en cloro y azufre, renovable	Variabilidad en humedad	Cementeras con enfoque en biomasa

Nota: Los rangos de PCI son **técnicos**; la aplicabilidad depende de especificaciones del horno y contratos de calidad

8.3.3. Obtención desde RSM y rendimientos

La obtención de CDR/SRF a partir de RSM es una ruta madura: recepción con control de calidad, trituración primaria, cribado/tromel, separación magnética y por aire/densidad, refinado y homogeneización para estabilizar granulometría y PCI; cuando se requiere elevar el poder calorífico o mejorar la consistencia, se incorpora secado y eventualmente densificación (pellet/briqueta). En la región ya operan capacidades comerciales, y los rendimientos dependen de la composición local de residuos y del grado tecnológico (MRS, MBT, MBT+secado/pelletizado).

Como referencia técnica orientativa, la recuperación de reciclables en MRS puede situarse en 20–40% del flujo de entrada, mientras que la fracción combustible recuperable desde RSU bruto suele estar en 10–30% (instalaciones bien diseñadas $\geq 15\%$ y, con secado/densificación, $\sim 20\%$ en escenarios favorables). El PCI del CDR estándar se ubica típicamente entre 12–18 MJ/kg, con fracciones plásticas por encima de 20 MJ/kg. A efectos de especificación contractual, una ficha técnica representativa incluiría, a modo de ejemplo, un RDF de 15 MJ/kg (≈ 3.585 kcal/kg), humedad $\leq 15\%$, $Cl^- \leq 0,7\%$, $S \leq 0,3\%$, cenizas $\leq 12\%$, $Hg < 0,05$ mg/kg, tamaño < 30 mm y densidad aparente 250–450 kg/m³, con garantía mensual de PCI $\pm 5\%$, en presentación a granel/silo/contenedor y uso recomendado en hornos rotatorios de cemento.

8.3.4. Sustitución térmica en Boyacá y dimensionamiento

En Colombia, la sustitución térmica en cementeras se impulsa por señales ambientales y económicas. Se proyectan TSR regionales del orden de 25–35% hacia 2030 (proyección sectorial), con plantas europeas ya por encima del 60% (dato sectorial general) A modo ilustrativo (*dato comunicado por empresa, 2025*), en Medellín se ha reportado la transformación de >13.000 t/año de residuos en CA, señal de tracción del mercado. Para Boyacá, los hitos divulgados por operadores son relevantes: Holcim–Nobsa ha comunicado 29% TSR (2024) a nivel país y la modernización de su plataforma de coprocesamiento para >100.000 t/año, con metas de $\sim 40\%$ en el corto plazo y $>70\%$ a 2030 (datos comunicados); Argos–Sogamoso reporta 4,10% TSR (Colombia, 2024) y una meta corporativa de 33% a 2030 (datos comunicados). Para dimensionar órdenes de magnitud, si se trabaja con PCI contractual de 15 MJ/kg, un TSR 40% implicaría ≈ 104 kt de CDR por cada 1 Mt de clínker/año; a $>70\%$, ≈ 182 kt/Mt. En un escenario intermedio para Sogamoso, $>20\%$ TSR sería ≈ 52 kt/Mt y 33% ≈ 86 kt/Mt (cálculos proporcionales orientativos que dependen del output real de clínker y la eficiencia térmica). La Tabla 45 consolida estos resultados para distintos TSR y PCI, por 1 Mt de Clínker/año.

Tabla 45. Demanda estimada de CDR por 1 Millón de toneladas de clínker

TSR Tasa de Sustitución Térmica (%)	PCI RDF (MJ/kg)	PCI RDF (kcal/kg)	RDF requerido (kg/t clínker)	RDF requerido por 1 Mt clínker (kt)
30	12	2.868,1	974,0	974,0
30	15	3.585,1	779,0	779,0
30	18	4.302,1	649,0	649,0
40	12	2.868,1	1.299,0	1.299,0
40	15	3.585,1	1.039,0	1.039,0
40	18	4.302,1	866,0	866,0



TSR Tasa de Sustitución Térmica (%)	PCI RDF (MJ/kg)	PCI RDF (kcal/kg)	RDF requerido (kg/t clínker)	RDF requerido por 1 Mt clínker (kt)
70	12	2.868,1	2.272,0	2.272,0
70	15	3.585,1	1.817,0	1.817,0
70	18	4.302,1	1.516,0	1.516,0

8.3.5. Costos de referencia y paridad energética

En el plano de costos de referencia, el precio base en boca de mina para carbón térmico de consumo interno en 2T-2025 se sitúa en \$234.762,20 COP/Ton con variación -8,46% frente a 1T-2025, calculado a partir de compras reales, deducibles de transporte (\$57.779,55 COP/Ton) y manejo (\$10.423,74 COP/Ton) sobre un volumen analizado de 2.859.356,95 t (dato reportado). La demanda interna se concentra en termoeléctricas (1,8–2,1 Mt), cemento (1,4–1,6 Mt) y otras industrias; además, desde 2025 aplica un impuesto al carbono de \$52.215 COP/Ton, creciente hasta 2028, que presiona al alza los costos en escenarios de alta demanda (p. ej., El Niño con consumos cercanos a 500 kt/mes en termoeléctricas). Con base en ese precio, y tomando un PCI típico del carbón de 24 MJ/kg (24 GJ/Ton), el costo energético implícito es ≈\$9.782 COP/GJ (cálculo intermedio). La Tabla 46 utiliza ese valor para construir paridades energéticas teóricas de distintos RDF respecto al carbón (50%, 70%, 90% y 100%); es una herramienta comparativa, no un listado comercial.

Tabla 46. Comparativa RDF vs Carbón (UPME 2025 – \$234.762,20 COP/Ton)

Tipo de RDF	PCI (MJ/kg)	PCI (kcal/kg)	50 % (COP/Ton)	70 % (COP/Ton)	90 % (COP/Ton)	100 % (COP/Ton)
RDF Urbano (RSU)	10–16	2.390–3.824	48.910– 78.255	68.474– 109.557	88.038– 140.859	97.820– 156.510
RDF Industrial/Comercial (C&I)	15–20	3.585–4.780	73.365– 97.820	102.711– 136.948	132.058– 176.076	146.730– 195.640
RDF Grueso (Shredder)	12–18	2.868–4.302	58.692– 88.038	82.169– 123.253	105.646– 158.468	117.384– 176.076
RDF Fino (Fluff)	14–20	3.346–4.780	68.474– 97.820	95.863– 136.948	123.253– 176.076	136.947– 195.640
RDF Pelletizado (SRF)	16–22	3.824–5.258	78.256– 107.602	109.558– 150.643	140.860– 193.684	156.512– 215.204
RDF Plásticos no reciclables	20–30	4.780–7.170	97.820– 146.730	136.948– 205.422	176.076– 264.114	195.640– 293.460
RDF Biomasa seca	12–18	2.868–4.302	58.692– 88.038	82.169– 123.253	105.646– 158.468	117.384– 176.076

La lectura es inmediata: un RDF urbano de 12 MJ/kg tendría una referencia de ~\$88.038 COP/Ton al 50% de paridad, mientras que un RDF de plásticos de 30 MJ/kg alcanzaría ~\$293.460 COP/Ton al 100%; esto último puede superar el carbón, pero aporta valor estratégico por descarbonización y cumplimiento ambiental. En general, los RDF de baja calidad quedan por debajo del carbón en paridad, y los densificados o ricos en plásticos se aproximan o superan la equivalencia.

8.3.6. Actores y capacidades en Colombia

Para cerrar el mapeo de actores, la Tabla 47 resume empresas con actividad declarada en producción/coprocesamiento de CDR/SRF en Colombia. Esta información es de carácter público/comercial y los volúmenes dependen de contratos y ampliaciones.

Tabla 47. Productores/operadores de CDR en Colombia.

Empresa	Ciudad/Planta	Actividad	Volumen informado	Fuente
Geocycle (Holcim)	Nobsa / Nacional	Coprocesamiento y producción SRF/CDR	>100.000 t/año Nobsa	Holcim/Geocycle (2025)
ATICA	Bogotá	Producción de CDR y soluciones integradas	No pública (comercial)	ATICA (web)
CDR Combustibles	Planta piloto	Combustibles líquidos/sólidos de residuos	Planta inicial (2022)	CENTRORS (2022)
Sistemaverde / MRS	Varias	Transformación mecánica → CDR/CSR	Comercial según contratos	Sistemaverde (2025)
GEP Ecotech / Aishred	Varias	Consultoría / servicios CDR	Variable	Aishred (2024)

En conjunto, el encaje para Sogamoso–Boyacá pasa por garantizar calidad consistente (PCI, finura, humedad, Cl/Hg), trazabilidad y contratos por desempeño energético; aprovechar la capacidad cementera regional; y optimizar la logística (secar donde haga falta y densificar cuando aporte más que lo que cuesta). Las tablas incluidas permiten dimensionar requerimientos energéticos, comparar paridades frente al carbón e identificar demandantes y operadores para articular oferta local de CDR/SRF con las rutas de coprocesamiento existentes.

8.4. Estudio de mercado: Generación de energía eléctrica a partir de digestión anaerobia (DA)

8.4.1. Contexto y alcance

El aprovechamiento energético de la digestión anaerobia de residuos orgánicos es una opción técnicamente probada en Colombia, con referencias en proyectos agroindustriales y plantas de tratamiento de aguas residuales. En el marco de la transición energética, combina retornos económicos (monetización de la energía generada a partir de un flujo estable de residuos orgánicos), ambientales (reducción de metano emitido a la atmósfera) y sociales (empleo local y encadenamientos productivos). La Ley 1715 de 2014, que regula la integración de energías renovables no convencionales al Sistema Energético Nacional, junto con los instrumentos de promoción de Fuentes No Convencionales de Energía (FNCE), habilitan incentivos tributarios y operativos. Adicionalmente, los mercados de carbono, tanto voluntarios como sujetos a regulación futura, pueden aportar ingresos complementarios, aunque con volatilidad en precios y marcos regulatorios. En este contexto, y con foco en Sogamoso y Boyacá, este apartado describe el encaje de mercado, los precios de referencia, el marco eléctrico, los costos y rendimientos típicos, y las implicaciones operativas para proyectos del orden de 1–3 MW (estimación orientativa).

8.4.2. Mercado y estructura eléctrica (ventas, contratos y precios)

La electricidad generada a partir de digestión anaerobia puede inyectarse al Sistema Interconectado Nacional vía bolsa o contratos bilaterales (PPA), o autoconsumirse en instalaciones municipales o industriales. El mercado opera en eslabones de generación, transmisión, distribución y comercialización bajo las reglas de la CREG. La viabilidad depende en la práctica del precio captado (spot o PPA), de los costos de conexión y de la estabilidad del flujo de residuos que alimenta el proceso. Como referencia, en 2024 la SSPD reportó tarifas promedio de 314,15 COP/kWh para el mercado regulado y 304,20 COP/kWh para el no regulado; en enero de 2025 el spot promedió 532,49 COP/kWh, con picos de 759,54 COP/kWh bajo condiciones de El Niño. Estos valores se utilizan como contexto de referencia para contrastar los PPA frente a los costos nivelados de generación.

8.4.3. Enfoque local: Sogamoso y Boyacá

En Sogamoso, EBSA concentra la distribución/comercialización regulada. La base industrial local y el entorno regional ofrecen condiciones para explorar contratos PPA locales y esquemas de autoconsumo. A escala municipal, proyectos de 1–3 MW son plausibles siempre que se garantice un suministro estable de fracción orgánica, con una adecuada separación en fuente, un pretratamiento eficiente y un plan de operación y mantenimiento robusto. La aceptación social es un vector crítico en la región, por lo que la viabilidad requiere un plan de relacionamiento comunitario y beneficios locales explícitos.

8.4.4. Costos, rendimientos e ingresos (lectura práctica)

Para plantas de digestión anaerobia, el CAPEX referencial se sitúa en el rango de USD 2.500–3.500/kW (rango técnico orientativo), con O&M anual equivalente al 3–6% del CAPEX. El rendimiento eléctrico neto se adopta entre 25–35% para motores de combustión interna alimentados con biogás, considerando el autoconsumo de la planta. El LCOE típico se sitúa en el rango de USD 0,06–0,10/kWh. En ingresos, un rango comercial observado para renovables y PPAs se ubica entre 200–1.000 COP/kWh, según año, plazo e indexación. La estrategia prudente es anclar el caso de negocio en un PPA indexado y considerar los créditos de carbono como un complemento, no como el único impulsor.

8.4.5. Incentivos y fiscalidad aplicable

La Ruta FNCE (UPME/MinEnergía) es el procedimiento oficial para que los proyectos de Fuentes No Convencionales de Energía en Colombia accedan a los incentivos tributarios y aduaneros establecidos en la Ley 1715 de 2014. Estos incluyen deducciones en renta sobre la inversión (hasta el 50% bajo condiciones), depreciación acelerada y exclusiones de IVA y arancel para equipos calificados. La aplicación depende de la estructuración tributaria de cada proyecto. En mercados de carbono, los proyectos de digestión anaerobia pueden registrar reducción de emisiones de metano, aunque los precios y marcos evolucionan.

8.4.6. Potencial y riesgos específicos

La digestión anaerobia de residuos sólidos municipales aporta reducción de GEI, generación de energía renovable y producción de compost o digestato estabilizado. Entre los riesgos se incluyen:

- Dependencia de la calidad y cantidad de fracción orgánica recibida.
- Variabilidad en la separación en la fuente.
- Necesidad de infraestructura de pretratamiento adecuada.
- Riesgos de operación asociados al control de humedad, temperatura y composición del biogás.
- La mitigación requiere un programa de educación ciudadana en separación, contratos claros de suministro de residuos, O&M especializado y monitoreo continuo de la calidad del biogás.

8.4.7. Inventario y lecciones de proyectos de digestión anaerobia

Aunque no existe un inventario nacional consolidado de plantas de digestión anaerobia para RSU, experiencias en agroindustria, PTAR y proyectos piloto en ciudades colombianas confirman la viabilidad técnica. Entre las lecciones destacan: la importancia de garantizar un suministro estable de materia prima, la necesidad de esquemas contractuales robustos con los municipios para la fracción orgánica, el control de impurezas que afectan a los digestores y la relevancia de contar con O&M especializado.

8.4.8. Conclusiones y hoja de ruta para Sogamoso

Desde el punto de vista técnico, proyectos de 1–3 MW de digestión anaerobia son ejecutables siempre que exista garantía de suministro de fracción orgánica con pretratamiento adecuado. En lo económico, la bancabilidad depende de asegurar un PPA o esquema de compra equivalente y complementarlo con incentivos FNCE y posibles ingresos de carbono. En el plano social y regulatorio, la prioridad es consolidar la licencia social, el licenciamiento ambiental y la gestión de permisos (ANLA/Corpoboyacá, según aplique).

Hoja de ruta inmediata:

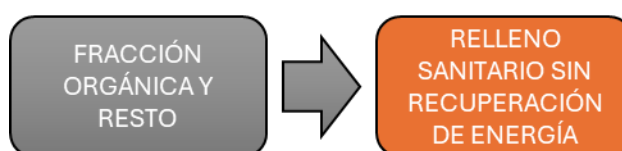
1. Campaña de caracterización de residuos (mínimo 12 meses) que registre caudal y composición de la fracción orgánica.
2. Obtener ofertas de CAPEX/OPEX con alcance claro (digestores, equipos de generación, conexión a red).
3. Estructurar un PPA indexado con parámetros de plazo y precio.
4. Pactar cláusulas contractuales que cubran variaciones en cantidad y calidad de los residuos.
5. Cerrar un plan de O&M con inventario de repuestos críticos, protocolos de seguridad y métricas de disponibilidad.

Con estos elementos, el proyecto puede avanzar hacia ingeniería de detalle y cierre financiero con criterios de viabilidad claramente definidos.

9. DEFINICIÓN DE ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS

La definición de alternativas de gestión planteada en este capítulo se fundamenta directamente en los escenarios de recolección previamente analizados. Estos escenarios han permitido establecer una base metodológica clara, en la que cada alternativa tecnológica constituye un paso incremental respecto a la situación actual, introduciendo mejoras tanto en la eficiencia operativa como en la reducción de los impactos ambientales.

El punto de partida corresponde al Escenario 0, que refleja el modelo actual de disposición en relleno sanitario, es decir, sin desgasificación y, por tanto, sin recuperación de energía, aunque con una optimización en la planificación de rutas de recolección que ya se encuentra en desarrollo. Este escenario inicial sirve como línea base o referencia bajo el principio de “no hacer nada”, mostrando las limitaciones técnicas y ambientales de un sistema que depende casi exclusivamente del vertimiento directo de los residuos. A partir de esta situación, se generan alternativas orientadas a mejorar progresivamente el desempeño del sistema.



En la medida en que los escenarios incorporan la recolección diferenciada de la fracción orgánica, emergen procesos de tratamiento específicos para esta corriente, tales como el compostaje, la digestión anaerobia o su integración en plantas de valorización energética. Cada nueva configuración de recolección habilita, por tanto, alternativas tecnológicas adicionales que no solo incrementan el aprovechamiento de los residuos reciclables y orgánicos, sino que también mitigan los problemas asociados al relleno sanitario, como la generación de lixiviados y emisiones de gases de efecto invernadero.

El diseño de estas alternativas responde a una lógica de mejora continua, donde cada una se construye como una evolución coherente frente al escenario anterior. Además, su desarrollo se ha acompañado de un análisis económico y un análisis de ciclo de vida (ACV) que permiten valorar de manera integrada la viabilidad y sostenibilidad de las opciones planteadas.

Antes de detallar las alternativas propuestas, se presenta la nomenclatura que se utilizará a lo largo de este capítulo para identificar los procesos considerados (Tabla 48):

Tabla 48. Procesos considerados para las diferentes alternativas.

PROCESO DE TRATAMIENTO	ABREVIATURA (DENOMINACIÓN)
Relleno Sanitario	RS
Pretratamiento o tratamiento mecánico	TM
Tratamiento biológico	TB
Gasificación	GF
Incineración con recuperación de energía	IRE
Digestión anaeróbica de materia orgánica (Biometanización)	DA
Producción de combustible sólido recuperado	CSR
Gestión de cenizas de proceso térmico	GC

Una vez aclaradas las abreviaturas, la Tabla 49 sintetiza la relación entre los escenarios de recolección y los procesos unitarios de tratamiento y eliminación que configuran cada alternativa de estudio.

Con la presentación de estas tablas se establece el marco de referencia técnico que permitirá, en las siguientes secciones, describir en detalle cada alternativa. En todas las alternativas, exceptuando las alternativas B y C cuyo residuo final requiere de una gestión diferencial, se incluye la disposición final en el relleno sanitario.

Tabla 49: Relación entre escenarios y alternativas

ESCENARIOS DE RECOLECCIÓN	ALTERNATIVAS DE GESTIÓN	PROCESO
Escenario 0	Alternativa A	TM + TB + RS Implantación de un TM y un TB que permitan derivar residuos del relleno sanitario. El TB se orienta a la bioestabilización de la fracción orgánica mezclada o procedente de la fracción resto.
	Alternativa B	TM + GF + GC Implantación de un TM junto con una instalación de GF. Requiere de un gestor autorizado para la gestión de cenizas (GC).
	Alternativa C	TM + IRE+ GC Implantación de una incineración con recuperación de energía (IRE), precedida por un TM y complementada con gestión de cenizas (GC).
Escenario 1	Alternativa D	TM + TB + CSR + RS Implantación de un TM y un TB junto con una planta de producción de CSR.
Escenario 2	Alternativa E	TM + TB + CSR+ DA + RS Implantación de un TM, acompañado de DA y producción de CSR. La producción de CSR irá disminuyendo progresivamente en favor de la DA, en la medida en que se consolide la recolección selectiva. El TB se encarga de estabilizar el digestato generado.
Escenario 3	Alternativa F	TM + DA + TB + RS Implantación de un TM, combinado con DA y un TB para la estabilización del digestato.

9.1. Alternativa A

Esta alternativa corresponde a un Tratamiento Mecánico -Biológico (Imagen 12). En primer lugar, los RSM se someten a un tratamiento mecánico cuyo objetivo es separar y acondicionar el flujo de residuos. De esta etapa se obtienen:

- **Materiales reciclables aprovechables** (plásticos, metales, papel, cartón, vidrio), que se desvían hacia canales de aprovechamiento.
- Una **fracción orgánica/finos** adecuada para tratamiento biológico.
- Un **rechazo mecánico** (impropios, inertes, sanitarios o voluminosos fuera de especificación), destinado a disposición final en relleno sanitario.

La fracción orgánica resultante del TM pasa a un tratamiento biológico (TB), basado en procesos controlados de compostaje o digestión anaerobia. De este proceso se obtienen tres posibles flujos:

- **Material estabilizado** (compost o digestato), con potencial de uso en suelos agrícolas, forestales o urbanos, según su adecuación a la normativa nacional.
- **Pérdidas inevitables** durante el proceso (agua evaporada y CO₂ por mineralización), que no requieren disposición final.
- **Rechazos biológicos**, que no pueden ser estabilizados (cribados, impropios residuales o material no conforme) y se envían a relleno sanitario.

En síntesis, los rechazos procedentes tanto del tratamiento mecánico como del biológico se destinan a disposición final en el relleno sanitario.

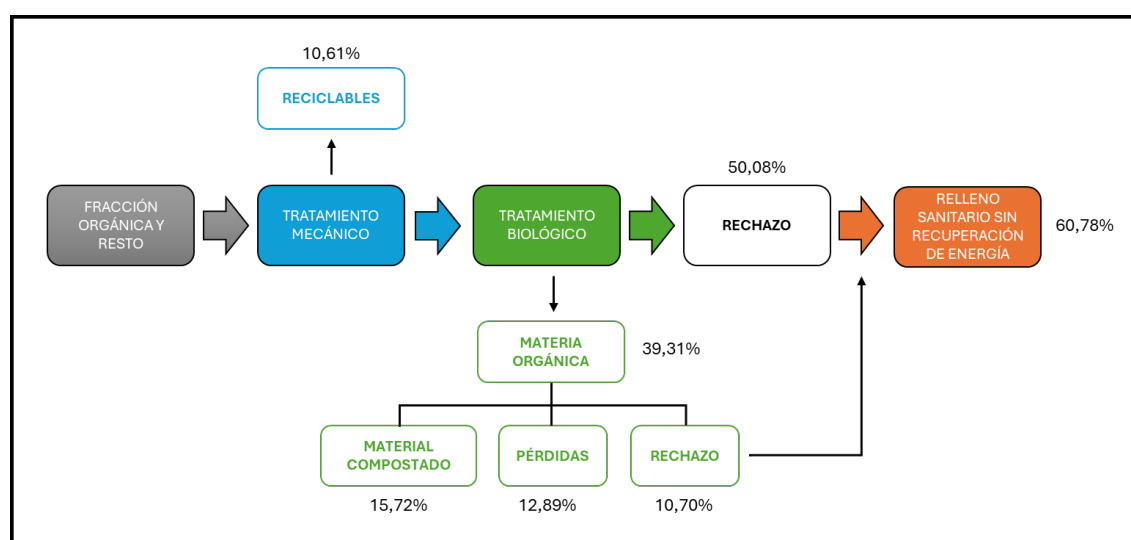


Imagen 12. Planta de tratamiento mecánico-biológico.

Desde el punto de vista operativo, esta alternativa combina el aprovechamiento de materiales reciclables con el aprovechamiento de la fracción orgánica mediante compostaje, en concordancia con la jerarquía de la gestión integral de residuos establecida en la normativa nacional. Con ello se logra una reducción significativa del volumen destinado a disposición final y una mejora en la eficiencia ambiental del sistema.

En el contexto local, esta alternativa cobra especial relevancia por dos factores:

1. **La alta proporción de residuos orgánicos en la composición municipal**, lo que garantiza un flujo constante de materia prima para el tratamiento biológico y la generación de biogás.
2. **La presencia de un tejido industrial diverso en la región**, con potencial de beneficiarse de los productos derivados de la gestión de residuos, como el compost en programas de recuperación de suelos, favoreciendo su integración en un esquema de simbiosis industrial local.

Para completar el análisis de la Alternativa A, se señalan los condicionantes y riesgos operativos más relevantes:



- **Calidad del flujo de entrada.** El rendimiento del tratamiento biológico depende de una fracción orgánica con baja presencia de impropios (plásticos, textiles, metales finos) y humedad controlada. Es imprescindible asegurar la eficacia del cribado y la separación previa en el TM, junto con un programa de control de impropios en puntos de generación para evitar que el compost/digestato salga no conforme.
- **Capacidad, tiempos de proceso y control de olores en el TB.** El dimensionamiento debe cubrir picos estacionales y contemplar tiempos de residencia suficientes (maduración incluida). Se requieren medidas de bioseguridad y control de olores (encapsulamiento, captación y biofiltración) y un sistema de gestión de lixiviados con almacenamiento, tratamiento y recirculación cuando proceda.
- **Mercado y calidad del producto.** El compost/digestato debe cumplir los criterios de calidad aplicables (contenido de metales, impurezas, patógenos, estabilidad/madurez). Sin un plan de salida (acuerdos con sectores agrícola, forestal o urbano y certificaciones), existe riesgo de acumulación de inventario y sobrecostos.
- **Gestión de rechazos.** Tanto el TM como el TB generan rechazos que requieren transporte y disposición segura. Es necesario prever su trazabilidad, costes asociados y monitoreo de composición para no degradar la operación del relleno.
- **Requisitos ambientales.** La instalación demanda permisos para emisiones atmosféricas, vertimientos de lixiviados y ruidos/olores. Es clave definir responsabilidades y protocolos de cumplimiento y reporte.
- **Logística y localización.** Los costos de transporte y la proximidad a los principales generadores condicionan la viabilidad. Se requiere un esquema de rutas y horarios compatible con la operación del TM–TB y la del relleno, evitando cuellos de botella.
- **Gobernanza, costos y KPI.** Se recomienda una matriz de indicadores (impropios, rendimiento de cribado, estabilidad del compost, toneladas a relleno, costos OPEX/ton) y revisiones periódicas para corregir desvíos. El CAPEX de pretratamiento y las exigencias operativas (energía para aireación/volteo, manejo de lixiviados) deben estar reflejados en la estructura tarifaria/contractual.
- **Resiliencia operativa.** Lluvias intensas elevan humedad y lixiviados, alargando los tiempos de proceso, paradas eléctricas afectan aireación y captación. Son necesarios planes de contingencia (almacenamiento temporal, redundancias, respaldo eléctrico).

Atendiendo estos condicionantes desde el diseño y la operación, el esquema TM–TB puede ofrecer resultados estables y alineados con la jerarquía de gestión, evitando sobrecostos y problemas de calidad en el tiempo.

9.2. Alternativa B

La Alternativa B al igual que en la Alternativa A, parte del RSM mezclado y se somete en primera instancia a un tratamiento mecánico, cuya finalidad, además de retirar los reciclables valorizables, es la de acondicionar el flujo que se va a destinar a valorización energética, formado por la fracción orgánica y el residuo no valorizable.

Las fases previas a la gasificación consisten en un proceso de secado y acondicionamiento para reducir humedad y estabilizar el poder calorífico del residuo, y por una trituración, mezcla y briquetado con el fin de obtener un material homogéneo. Este flujo pretratado se dirige a una unidad de gasificación, donde en condiciones de oxígeno limitado se transforma en un gas de síntesis con capacidad energética (Syngas). Tras su depuración (retención de partículas, alquitranes y compuestos ácidos), el gas puede emplearse en turbinas, motores de combustión o calderas, permitiendo la generación de energía eléctrica y, en algunos casos, de calor útil para procesos industriales (cogeneración).

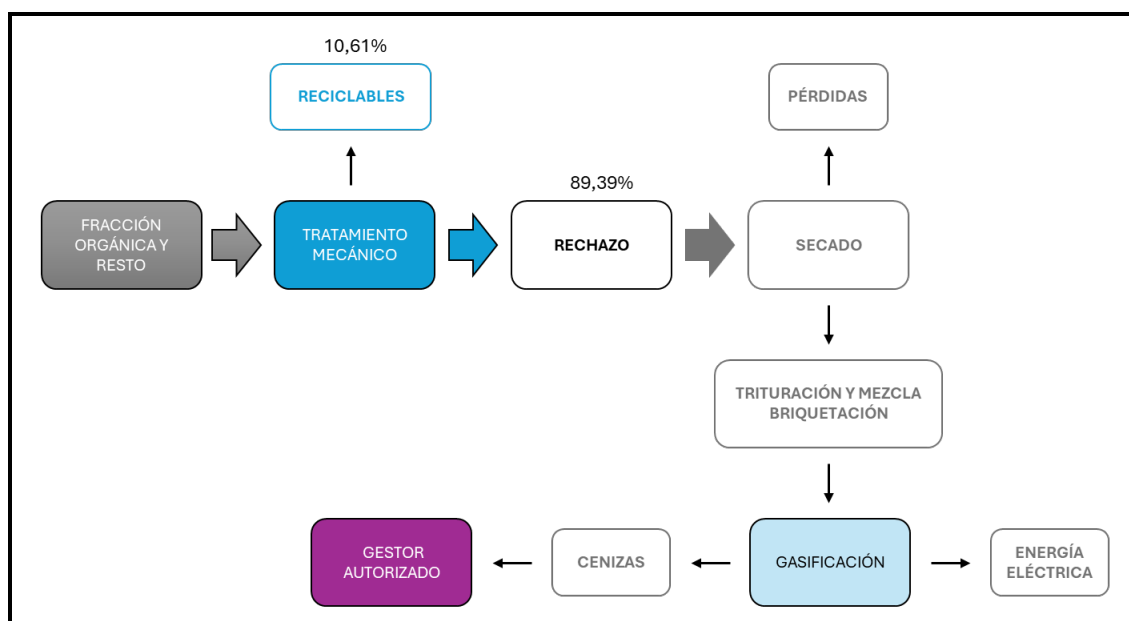


Imagen 13. Planta de tratamiento mecánico, gasificación y gestión de cenizas por parte de gestor autorizado

El proceso de gasificación, sin embargo, no convierte la totalidad del material de entrada, por lo que genera cenizas, escorias e inertes que deben gestionarse adecuadamente. En este esquema, la disposición final de estas cenizas se realiza a través de un gestor autorizado, asegurando un tratamiento ambientalmente seguro de un residuo que puede contener elementos contaminantes y que, por tanto, requiere control especializado.

Desde el punto de vista técnico y ambiental, esta alternativa introduce un nivel de valorización energética más avanzado en comparación con la alternativa anterior, al sustituir de manera más directa el consumo de combustibles fósiles mediante el uso del gas de síntesis. Además, reduce de manera importante la fracción de residuos enviada al relleno sanitario, limitando con ello los impactos asociados a emisiones de gases de efecto invernadero y a la generación de lixiviados. Para asegurar su desempeño, resulta clave el control de calidad del combustible, la depuración del gas y el cumplimiento de los estándares de emisiones atmosféricas aplicables.

En el contexto local, esta alternativa resulta atractiva al integrar un proceso innovador de valorización energética que puede alimentar las necesidades de diversos sectores industriales de la región, contribuyendo a diversificar la matriz energética con fuentes renovables y de origen residual. No obstante, para una decisión informada conviene explicitar sus principales objeciones y condicionantes:

- **Exigencia de calidad del combustible:** el rechazo municipal tiene humedad y variabilidad altas; si no hay separación en la fuente de orgánicos o un secado eficaz, el poder calorífico es insuficiente y el OPEX se dispara;
- **Masa crítica y regularidad del suministro:** el proceso requiere un caudal estable y contratos de largo plazo; fluctuaciones en la generación o en la logística comprometen disponibilidad y rendimiento;
- **Pretratamientos intensivos:** secado, trituración y mezcla/briquetado añaden costos energéticos y operativos y pueden reducir el balance neto de energía si se alimentan con energía externa;
- **Complejidad del gas:** el Syngas contiene alquitranes, partículas, compuestos ácidos y clorados que exigen sistemas de depuración costosos y mantenimiento especializado para evitar corrosión, incrustaciones y paradas;
- **Emisiones y permisos:** impone estándares estrictos de control atmosférico y un licenciamiento ambiental más exigente, con inversiones en monitoreo continuo y garantías de cumplimiento;
- **Gestión de residuos secundarios:** cenizas/escorias con potencial contenido de metales pesados deben manejarse como residuo controlado, con costos de transporte y disposición en gestor autorizado;
- **Riesgo tecnológico y de disponibilidad:** la operación continua demanda personal altamente capacitado, repuestos importados y protocolos de confiabilidad que elevan los tiempos y costos de parada;
- **Riesgo comercial:** se requieren contratos de venta de energía (o calor) y condiciones de conexión a red claras; volatilidad de precios y de tipo de cambio afecta la financiación del proyecto;
- **Coherencia con la jerarquía de residuos:** si no se protege la separación y el tratamiento biológico de los orgánicos, existe el riesgo de “canibalizar” esfuerzos de prevención y reciclaje; y
- **Aceptación social y localización:** el secado y la gasificación demandan control riguroso de ruidos y olores, y distancias de seguridad para minimizar impactos en el entorno.

En síntesis, la opción es técnicamente viable y con potencial energético, pero su éxito depende de asegurar combustible con PCI y humedad adecuados, de una operación altamente profesional, y de una estructura financiera y regulatoria que mitigue los riesgos mencionados.

9.3. Alternativa C

La Alternativa C también apuesta por la valorización energética del RSM, pero mediante incineración con recuperación de energía (WtE). Al igual que la Alternativa B el RSM mezclado pasa primero por tratamiento mecánico para retirar reciclables valorizables y acondicionar el flujo combustible que alimentará la planta (eliminación de voluminosos, ajuste de humedad y granulometría).

En la unidad de incineración, los residuos son sometidos a combustión controlada en presencia de exceso de oxígeno, típicamente en parrilla, a altas temperaturas (≥ 850 °C), lo que reduce el volumen hasta alrededor del 90 % y el peso en torno al 70–75 %. El calor generado se transfiere a una caldera de recuperación para producir vapor, que acciona turbinas y genera electricidad; cuando es viable, puede aprovecharse también calor útil (cogeneración).

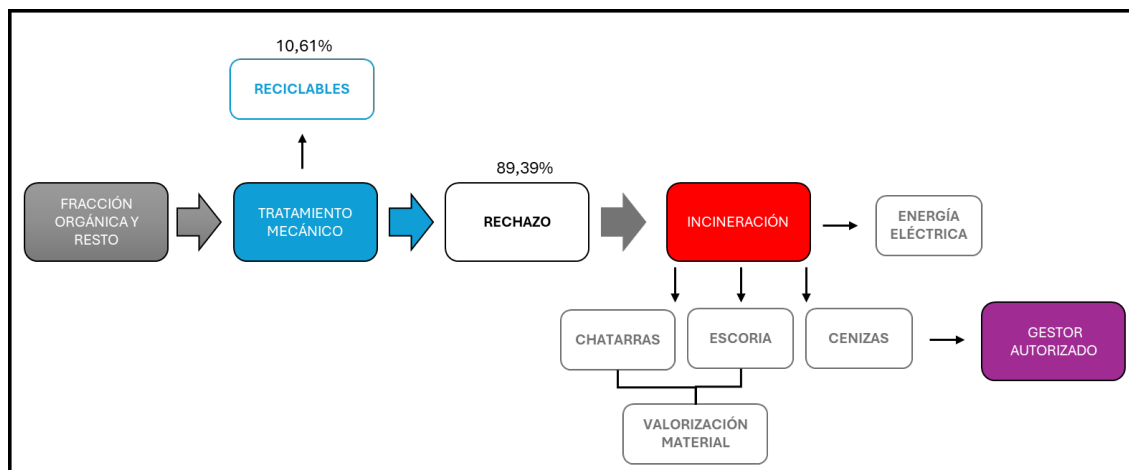


Imagen 14. Planta de tratamiento mecánico, incineración con recuperación de energía y gestión de cenizas por parte de gestor autorizado

El proceso genera también subproductos sólidos:

- **Chatarras metálicas** recuperables que pueden reincorporarse a circuitos de aprovechamiento de materiales si se separan de la escoria mediante separadores magnéticos (para férricos) y separadores por corrientes de Foucault (para no férricos).
- **Escorias o cenizas de fondo**, que puede emplearse como material en construcción/rellenos si cumple criterios ambientales y de calidad; en caso contrario, se dispone en relleno controlado.
- **Cenizas volantes y residuos de depuración de gases**, que requieren gestión especializada dada la posible presencia de contaminantes; en este esquema se entregan a gestor autorizado para su tratamiento/disposición segura.

Desde una perspectiva técnica y ambiental, esta alternativa combina la recuperación de materiales reciclables con la valorización energética del rechazo, reduciendo de manera significativa la cantidad de residuos enviados a disposición final. El sistema, sin embargo, implica inversiones elevadas en infraestructura y operación, así como un control estricto de las emisiones atmosféricas, que deben cumplir con los límites normativos en cuanto a partículas, óxidos de nitrógeno, dióxidos de azufre, dioxinas y metales pesados.

En el contexto local, esta alternativa ofrece una oportunidad de aprovechar la fracción no reciclable mediante la generación de energía eléctrica, que puede ser destinada tanto a la red pública como a necesidades de la industria local, reduciendo la presión sobre el relleno sanitario y mejora la resiliencia del sistema de gestión. Al mismo tiempo, contribuye a la mitigación de gases de efecto invernadero al reducir las emisiones de metano asociadas a la disposición en rellenos sanitarios y al sustituir fuentes fósiles para la generación de energía.

Más allá de su potencial energético, la incineración con recuperación de energía impone condicionantes técnicos, ambientales y sociales que deben resolverse antes de su implantación. En primer término, la coherencia con la jerarquía de residuos exige priorizar la prevención y el reciclaje, y por tanto las tecnologías de tratamiento frente a las de eliminación. En segundo lugar, la aceptación social requiere procesos participativos, transparencia de datos (idealmente monitoreo continuo en línea) y planes de relacionamiento comunitario, pues suelen existir preocupaciones por emisiones y tráfico asociado. En el plano técnico-ambiental,

la instalación demanda depuración multietapa de gases (partículas, NO_x , SO_2 /HCl/HF, metales, dioxinas/furanos) y gestión rigurosa de residuos secundarios: cenizas volantes y residuos de APC con trazabilidad y disposición en gestor autorizado; la escoria sólo puede valorizarse si acredita el cumplimiento de criterios ambientales. La viabilidad energética exige un PCI suficiente y un suministro regular; las variaciones de humedad y composición incrementan los consumos auxiliares y reducen el rendimiento neto. En ningún caso estas condiciones deben justificar el desvío de fracciones reciclables hacia la planta para sostener su régimen operativo. A ello se suman CAPEX y OPEX elevados, necesidad de personal especializado, licenciamiento complejo, interconexión a red (y, si hay cogeneración, demanda térmica cercana) y contratos de largo plazo tanto para el suministro de residuo como para la venta de energía, que reduzcan riesgo financiero. La localización debe respetar criterios de ubicación y características geográficas y ambientales del emplazamiento (distancias, vientos dominantes, accesos logísticos) y contemplar planes de contingencia frente a paradas programadas o imprevistas.

9.4. Alternativa D

La **Alternativa D** integra las etapas previamente descritas de tratamiento mecánico (TM) y tratamiento biológico (TB), y centra su valor añadido en una planta de Combustible Sólido Recuperado (CSR). En este esquema, el TM retira los materiales reciclables aprovechables y acondiciona el flujo; el TB procesa la fracción orgánica mediante compostaje (u otras variantes aeróbicas), obteniendo un material estabilizado y generando una corriente de rechazo que no puede ser compostada con garantías.

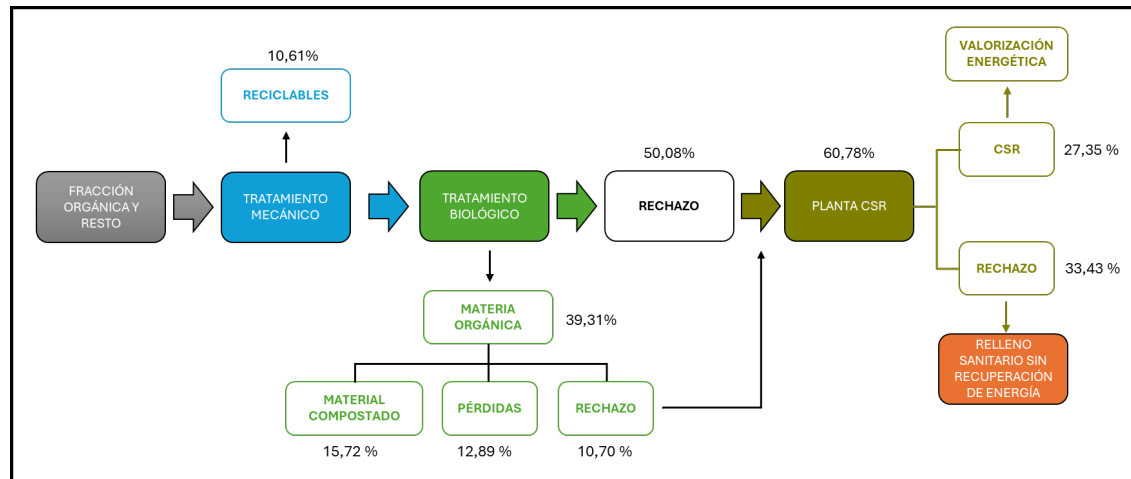


Imagen 15. Planta de tratamiento mecánico-biológico y planta de producción de CSR.

El rechazo del TB, junto con la fracción no reciclable que supera el cribado del TM, se dirige a la planta de Combustible Sólido Recuperado (CSR). En esta instalación, los residuos se someten a operaciones de trituración, clasificación y acondicionamiento (separación de inertes y metales remanentes, ajuste de humedad y granulometría) con el fin de concentrar el poder calorífico y obtener un combustible sólido homogéneo, adecuado para su uso en hornos de cemento u otros usos industriales como sustituto de combustibles fósiles.

De este modo, el CSR otorga un aprovechamiento energético a fracciones que de otra manera se destinarían directamente al relleno sanitario, proporcionando un destino útil y estable para dichos rechazos.



La fracción no apta para su conversión en CSR, junto con los rechazos finales del sistema, se dispone en el relleno sanitario.

Desde una perspectiva técnica y ambiental, la Alternativa D integra de manera equilibrada el aprovechamiento de materiales reciclables del TM, la valorización biológica (compost del TB) y la valorización energética (CSR). Con ello, se reduce de manera significativa la cantidad de residuos destinados a disposición final y se mejora la sostenibilidad del sistema de gestión al sustituir parte de los combustibles fósiles en procesos industriales, manteniendo a la vez la prioridad de separación y tratamiento de la fracción orgánica.

En el contexto local, esta alternativa resulta particularmente interesante, ya que el CSR puede convertirse en un insumo energético estable para la industria regional, disminuyendo la dependencia de combustibles fósiles convencionales y generando sinergias productivas entre la gestión de residuos y el sector industrial. Asimismo, el aprovechamiento del compost favorece la recuperación de suelos y el cierre de ciclos de nutrientes.

Esta alternativa presenta una serie de condicionantes asociados a la fabricación y uso de CSR que conviene tener en cuenta:

1. **Calidad del CSR:** El receptor industrial (p. ej., un horno cementero) exige especificaciones estrictas de poder calorífico inferior, humedad, contenido de cloro/halógenos y metales, además de una granulometría y estabilidad mecánica que aseguren una combustión homogénea. Cumplir estos requisitos implica pretratamientos adecuados (separación de PVC e impropios, secado-acondicionamiento, control de finos) y un sistema de aseguramiento de la calidad con muestreo periódico y trazabilidad de lotes.
2. **Estabilidad del suministro:** La viabilidad del esquema depende de entregar volúmenes regulares durante todo el año. La estacionalidad de la composición, las lluvias (que elevan la humedad) o incidencias operativas pueden afectar el PCI y la continuidad. Es recomendable cerrar contratos de offtake de medio y largo plazo, con planes de contingencia ante interrupciones y parámetros contractuales que definan tolerancias y penalizaciones.
3. **Jerarquía de residuos:** La producción de CSR no debe desplazar la prevención ni el aprovechamiento de materiales reciclables. Los acuerdos operativos y contractuales deben incluir cláusulas de no regresividad e indicadores de desempeño que aseguren el mantenimiento o mejora de las tasas de reciclaje, evitando que el combustible se “alimente” con fracciones reciclables.
4. **Exigencias ambientales:** Tanto la planta de CSR como el coprocesamiento en las instalaciones receptoras requieren licenciamiento, monitoreo y reporte. Deben acreditarse controles de emisiones, trazabilidad de residuos y cumplimiento de las condiciones de operación que establezca la autoridad ambiental, incluida la gestión adecuada de polvo, olores y ruido en el pretratamiento.
5. **Logística y localización:** El beneficio energético del CSR se diluye con radios de transporte largos. La ubicación de la planta respecto del receptor, la capacidad de las vías, los horarios de circulación y los costos logísticos pueden determinar la viabilidad



económica. Conviene evaluar escenarios con varios receptores potenciales para reducir el riesgo de dependencia geográfica.

6. **Gestión de rechazos y subproductos:** Siempre quedarán fracciones no aptas para CSR ni compost que deberán ir a disposición segura. Además, el uso del CSR en el receptor genera escorias y cenizas que han de gestionarse conforme a normativa. Estos costos y responsabilidades deben estar claros en los acuerdos entre las partes.
7. **Mercado del compost** (derivado del tratamiento biológico). Para cerrar el ciclo, es imprescindible asegurar salidas estables del compost con certificaciones de calidad y planes de uso (suelo agrícola, forestal o urbano). Sin demanda sostenida, el sistema puede acumular inventario y tensionar la operación.
8. **Gobernanza y riesgos:** El esquema requiere CAPEX/OPEX relevantes en pretratamiento, así como una gestión profesional de riesgos: volatilidad de precios energéticos, variaciones del PCI, paradas del receptor, y dependencia de un único comprador. Es clave establecer KPI operativos (calidad del CSR, tasas de recuperación, toneladas a relleno, emisiones, cumplimiento contractual) y mecanismos de revisión periódica para corregir desvíos.

Con estas condiciones claras desde el diseño, el CSR puede convertirse en un vector energético fiable sin comprometer los objetivos de circularidad ni la sostenibilidad económica del sistema.

9.5. Alternativa E

La Alternativa E integra y secuencia las lógicas descritas en las Alternativas D y F: parte de un Tratamiento Mecánico–Biológico (TM–TB) con producción de CSR y, a medida que exista materia orgánica separada en la fuente suficiente y estable, incorpora la digestión anaerobia (biometanización) como vía prioritaria de valorización de esa fracción.

En una primera etapa, el TM separa los reciclables con valor comercial y acondiciona los flujos restantes. La fracción orgánica obtenida en planta se conduce al TB (compostaje aeróbico) para su estabilización y obtención de un material compostado utilizable en suelos; los rechazos e impropios se registran y derivan a disposición final. En paralelo, el rechazo no reciclable/no compostable alimenta una planta de Combustible Sólido Recuperado (CSR), donde se tritura, clasifica y acondiciona para generar un combustible alternativo que sustituye fósiles en procesos industriales (véase detalle en Alternativa D).

Conforme avanza la separación en origen y mejora la calidad y el caudal de orgánicos limpios, se activa la fase de biometanización (véase detalle en Alternativa F), la fracción orgánica separada en la fuente se envía a digestores anaerobios para producir biogás y digestato. El biogás se valoriza en cogeneración eléctrica/térmica o, si procede, mediante upgrading a biometano; el digestato se poscomposta hasta cumplir los requisitos de calidad para su uso agronómico. Mientras esa oferta de orgánicos aún es limitada, la corriente se mantiene en compostaje, de modo que la implantación de DA sea gradual y segura, sin sobredimensionar activos.

Los rechazos finales del sistema, provenientes del TM, del TB y de la línea CSR, se disponen en el relleno sanitario.

En conjunto, la Alternativa E ofrece un camino evolutivo y flexible: comienza con compostaje y producción de CSR, para asegurar el aprovechamiento de materiales y fracciones orgánicas desde el arranque, y migra progresivamente a un esquema con digestión anaerobia a medida que la separación en la fuente lo permite. Así, incrementa el aprovechamiento de la fracción orgánica, diversifica las salidas energéticas y minimiza el flujo a relleno, alineándose con objetivos de economía circular y transición energética, y manteniendo coherencia operativa con lo expuesto en las Alternativas D y F.

9.6. Alternativa F

La Alternativa F sitúa a la digestión anaerobia (biometanización) como eje principal de valorización de la fracción orgánica. En este esquema, los RSM son sometidos inicialmente a un tratamiento mecánico, que permite la separación de materiales reciclables con valor de mercado, así como la extracción de la fracción orgánica que constituye la corriente de entrada a los procesos biológicos. El rechazo mecánico (impropios, inertes, sanitarios o voluminosos fuera de especificación) se deriva a disposición final (Imagen 16).

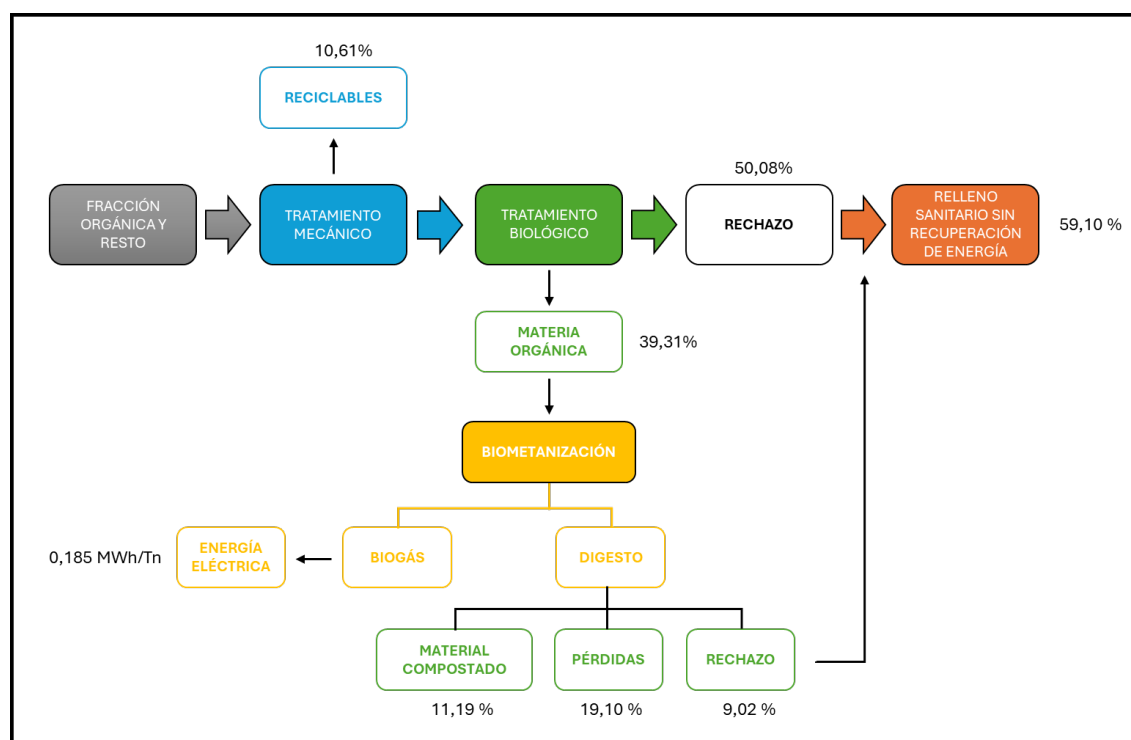


Imagen 16. Planta de tratamiento mecánico-biológico y digestión anaerobia (biometanización).

La materia orgánica recuperada en el tratamiento mecánico es conducida a biometanización, donde, en ausencia de oxígeno, los microorganismos degradan la materia biodegradable y generan dos corrientes principales: biogás y digestato. El biogás (mayoritariamente CH₄ y CO₂), se aprovecha como fuente energética renovable, ya sea para la generación de energía eléctrica o, en casos más avanzados, para su depuración y uso como biometano en redes de gas. El digestato, por su parte, se somete a un proceso de estabilización mediante tratamiento biológico aeróbico, lo que permite transformarlo en un material compostado aprovechable en suelos agrícolas, forestales o en programas de recuperación ambiental, siempre que cumpla los criterios de calidad aplicables. De forma inherente al proceso se producen pérdidas (agua



evaporada y CO₂ por mineralización) y una fracción de rechazo (cribados, impropios residuales o material no conforme) que debe gestionarse de manera segura.

Los rechazos procedentes del TM y del tratamiento biológico, junto con los residuos no valorizables, se envían a relleno sanitario.

La combinación de digestión anaerobia y compostaje ofrece una doble ventaja: por un lado, maximiza la recuperación de energía renovable a partir de los residuos; por otro, garantiza el retorno de nutrientes al suelo mediante la valorización agrícola del digestato compostado. Desde una perspectiva ambiental, la alternativa permite reducir de manera sustancial las emisiones de metano asociadas al vertimiento directo de la fracción orgánica en rellenos sanitarios y disminuye la cantidad de residuos enviados a disposición final.

En el contexto local, esta alternativa resulta coherente con la tendencia hacia sistemas de gestión más sostenibles y con el fortalecimiento de programas de separación en la fuente. La consolidación de la biometanización como tecnología central ofrece beneficios energéticos, ambientales y sociales, al mismo tiempo que genera oportunidades de articulación con el sector agrícola y con la industria local a través de la producción de energía y el aprovechamiento de subproductos.

Esta alternativa presenta una serie de condicionantes que conviene tener en cuenta para su toma de decisiones y diseño definitivo:

- **Escala mínima y estabilidad del sustrato.** La viabilidad técnica y económica de la biometanización depende de asegurar caudales sostenidos y una fracción orgánica con baja presencia de impropios. Variaciones fuertes de humedad o composición reducen el rendimiento del biogás, elevan consumos auxiliares y pueden afectar la estabilidad biológica; por ello es clave consolidar la separación en la fuente, pretratamientos eficaces (desarenado, desbaste, cribado) y contratos de suministro con generadores relevantes.
- **Calidad y salidas del digestato/compost.** El digestato requiere poscompostaje y control de metales pesados, patógenos y trazas (plásticos finos) para cumplir los estándares de calidad aplicables y disponer de salidas agronómicas reales. Es imprescindible prever mercado, logística de distribución y superficies de maduración, así como un plan B (almacenamiento temporal o disposición segura) ante contingencias de demanda.
- **Gestión del biogás y aprovechamiento energético.** Se debe seleccionar y dimensionar la ruta de valorización (cogeneración eléctrica, térmica o upgrading a biometano) en función del perfil de carga, la posibilidad de conexión a red/el comprador de energía y los precios esperados. La instalación debe incluir desulfuración, deshumidificación, antorcha de seguridad y sistemas de monitoreo continuo.
- **Olores, vectores y efluentes.** La recepción y el pretratamiento de orgánicos, así como las áreas de digestión y poscompostaje, requieren control de olores (captación y tratamiento de aire), manejo de lixiviados/aguas de proceso y planes de control de vectores. Deben preverse sistemas de contención, impermeabilización, drenajes y tratamiento previo a vertimiento conforme a la normativa aplicable.
- **Licenciamiento y cumplimiento regulatorio.** Se debe contemplar el trámite ambiental y sanitario ante la autoridad competente (ANLA/CAR y sector salud), requisitos del RAS–



Título F para instalaciones de aprovechamiento, criterios de calidad del compost/digestato (normas técnicas vigentes), así como permisos de emisiones, vertimientos y conexión eléctrica. La trazabilidad del rechazo y de los impropios debe quedar documentada.

- **CAPEX, OPEX y capacidades operativas.** La biometanización implica inversiones superiores a un compostaje simple y demanda personal cualificado (operación biológica, mantenimiento de equipos, laboratorio). Es necesario un plan de repuestos críticos, contratos de mantenimiento y esquema tarifario/financiación que cubra costos de operación y renovación de activos.
- **Riesgos de seguridad industrial.** El biogás es inflamable; se requieren diseños donde aplique, detección de gases, planes de emergencia, capacitación y seguros. El manejo de H₂S y espumas en digestores debe contemplarse desde la ingeniería.
- **Sinergias y flexibilidades.** Explorar codigestión con lodos procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) o corrientes orgánicas industriales compatibles puede mejorar el balance energético, pero exige ensayos de compatibilidad y acuerdos de suministro. La planta debe poder modular su operación ante estacionalidades o crecimientos de la oferta de orgánicos.
- **Comunicación y aceptación social.** El éxito depende de mantener la participación ciudadana en la separación en la fuente y de una gestión proactiva de expectativas con comunidades cercanas (especialmente en temas de olores, tránsito y paisajismo), con indicadores públicos de desempeño ambiental y energético.

En síntesis, la Alternativa F es técnicamente sólida y alineada con un modelo circular, pero exige asegurar volumen y calidad del sustrato, salidas garantizadas para digestato y energía, control ambiental robusto y capacidades operativas acordes al nivel tecnológico propuesto.

9.7. Comparación de las alternativas de gestión de residuos sólidos municipales

La evaluación de las seis alternativas propuestas permite identificar las diferencias clave entre ellas en términos de aprovechamiento de materiales, valorización energética, complejidad tecnológica y reducción de residuos enviados a disposición final. A continuación, se presenta una síntesis comparativa:

- **Alternativa A (TM + TB):** combina reciclaje y compostaje. Es la opción más próxima a la situación actual, con un nivel de complejidad bajo y mejoras inmediatas en el aprovechamiento de materiales reciclables y de la fracción orgánica. Sin embargo, mantiene una alta dependencia del relleno sanitario.
- **Alternativa B (TM + Gasificación + GC):** introduce la gasificación como vía de valorización energética avanzada, con menor volumen de residuos destinados a disposición final. Presenta un alto potencial de generación eléctrica, pero requiere inversiones elevadas y un manejo especializado de cenizas.
- **Alternativa C (TM + Incineración + GC):** se centra en la incineración con recuperación de energía, garantizando una reducción significativa del volumen de residuos y un



aporte estable de electricidad. Genera escorias y cenizas que deben gestionarse adecuadamente y demanda un estricto control de emisiones y costos operativos altos.

- **Alternativa D (TM + TB + CSR):** integra aprovechamiento de materiales, aprovechamiento biológico y valorización energética mediante la producción de CSR. Representa un modelo equilibrado en el que se aprovechan múltiples corrientes residuales, con posibilidad de sustituir combustibles fósiles en la industria local, aunque mantiene cierta dependencia del relleno sanitario.
- **Alternativa E (TM + TB + CSR + DA):** constituye la configuración más avanzada, al integrar en un solo esquema todas las líneas de aprovechamiento: materiales reciclables, fracción orgánica, rechazos con potencial de CSR y biogás. Es un modelo integral y flexible que maximiza tanto el aprovechamiento material como el energético, aunque depende de la consolidación de hábitos de separación en la fuente y requiere alta inversión tecnológica.
- **Alternativa F (TM + DA + TB):** modelo centrado en la biometanización como eje de aprovechamiento de la fracción orgánica, complementada con compostaje. Permite un alto aprovechamiento energético a partir del biogás y la obtención de compost estabilizado, reduciendo significativamente los residuos destinados a disposición final. Exige, sin embargo, un sistema robusto de separación en origen y mayor inversión tecnológica.

En síntesis, las alternativas A, B y C representan opciones de transición, con distintos grados de complejidad tecnológica y valorización energética, mientras que las alternativas D, E y F responden a un enfoque más integral y circular, donde se prioriza la recuperación de recursos y se reduce progresivamente la disposición en relleno sanitario. La elección de cada alternativa dependerá de las condiciones locales, de la capacidad institucional y tecnológica, y del nivel de madurez en la separación en origen y participación ciudadana.

10. PRESELECCIÓN DE ALTERNATIVAS A ANALIZAR

A partir de un análisis preliminar de las alternativas propuestas, considerando criterios clave como la viabilidad técnica, económica, operativa y ambiental, es posible justificar una preselección fundamentada de las opciones más adecuadas para avanzar hacia una gestión sostenible.

Este análisis permite identificar que las alternativas A, D, E y F presentan condiciones favorables para continuar con la etapa de prefactibilidad, mientras que las alternativas B, C (gasificación e incineración) se descartan en esta fase inicial.

10.1. Alternativa B: Gasificación

La gasificación de RSM es un proceso de conversión termoquímica que transforma la fracción combustible de los residuos en un gas de síntesis mediante altas temperaturas en condiciones controladas de oxígeno. Aunque existen experiencias positivas en biomasa o carbón, su aplicación directa a RSM mezclados sigue considerándose no consolidada. A escala internacional, las referencias en operación continua con RSU real son limitadas y con resultados heterogéneos, lo que no ha permitido consolidar un modelo comercial estable.

La principal limitación frente a RSU es la heterogeneidad y humedad de la corriente de entrada (inertes, orgánicos e impropios), que compromete la estabilidad del proceso. Para operar con garantías, la gasificación exige una alimentación homogénea y constante, objetivo que, en la práctica, solo se alcanza con pretratamiento intensivo para producir CSR. Este requisito eleva sustancialmente los costes y la complejidad del sistema (pretratamiento, secado, suministro de oxígeno, y limpieza profunda del syngas).

Desde la economía de escala, los costes específicos (COP/Ton) descienden al aumentar la capacidad (t/día), porque diluyen CAPEX (gasificador, planta de oxígeno, tren de limpieza) y OPEX fijos. En tamaños medios como Sogamoso, el proyecto parte con desventaja estructural: no alcanza la escala en la que esta tecnología puede competir en coste unitario frente a opciones más maduras (digestión de FO/biometanización, compostaje, incineración convencional con recuperación de energía, etc.).

En los documentos de referencia internacionales (p. ej., Mejores Técnicas Disponibles para la incineración de residuos²⁵), la gasificación se menciona como técnica complementaria, pero no se reconoce como MTD generalizada para RSM mezclado. Además, dentro de la jerarquía de gestión de residuos, la gasificación se sitúa en la parte baja (recuperación energética/eliminación), por debajo de prevención, preparación para la reutilización, reciclaje y valorización orgánica (compostaje/digestión). En contextos donde las políticas públicas priorizan soluciones probadas y orientadas a economía circular, esta opción no resulta prioritaria.

Operativamente, las plantas de gasificación requieren inversiones elevadas, personal especializado y un riguroso control de alquitranes y contaminantes del syngas. En América Latina, las experiencias a escala industrial con RSM son muy escasas y no han alcanzado madurez comercial. Abordar un proyecto de este tipo en una ciudad de tamaño medio implica riesgos financieros y operativos significativos, sin garantías de desempeño estable ni de sostenibilidad a largo plazo. Por ello, su implantación en el municipio se desaconseja frente a alternativas más maduras, adaptables al contexto local y mejor alineadas con la jerarquía y la economía de escala disponibles.

Aunque los motivos técnicos y económicos que se exponen descartan la gasificación como alternativa seleccionable, atendiendo a la solicitud de la interventoría para la inclusión metodológica de la gasificación en el estudio, hemos analizado la documentación presentada para evaluar la viabilidad de esta tecnología de tratamiento de residuos sólidos para el municipio de Sogamoso.

Tras un riguroso análisis, debemos informar que, en base a los datos proporcionados, esta tecnología no es seleccionable como alternativa viable en esta fase.

²⁵ Comisión Europea. (2019). Conclusiones MTD para la incineración de residuos. Directiva 2010/75/UE relativa a las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación). Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.



Unidades y comparabilidad. El documento presenta sus costos en unidades de energía (COP/MW y COP/MWh), lo que impide una comparación directa con el resto de las alternativas, evaluadas en costo por tonelada tratada (COP/Ton). Para convertir a la métrica requerida sería necesario aceptar supuestos de rendimiento eléctrico que, según el propio dossier, resultan autocontradictorios.

Incoherencias técnicas y contradicciones internas. La propuesta contiene varias inconsistencias: se declara un factor de operación del 80% (7.008 h/año) y, simultáneamente, 7.500 h/año; ambos valores no pueden ser correctos a la vez y vician los cálculos de OPEX. Asimismo, los rendimientos eléctricos asignados a gasificación y digestión anaerobia son incompatibles con los supuestos de biogás del propio documento: con 12 m³/t de biogás, aun asumiendo 40% de eficiencia, la producción sería del orden de 30 kWh/t, lejos de los ~82 kWh/t implícitos para digestión. Adicionalmente, se sobredimensiona la potencia de gasificación ($\approx 1,25$ MW por cada t/h de RSU) y se infravalora la de digestión ($\approx 0,082$ MW por t/h), lo que sesga la comparativa.

Omisiones de costos críticos. No se cuantifican partidas imprescindibles para esta tecnología: pretratamiento y secado del residuo (consumo térmico, kWh/t), provisión de oxígeno para el gasificador, limpieza profunda del gas de síntesis (alquitranes, H₂S, NH₃, cloruros), reactivos y disposición de escorias/cenizas (kg/t y COP/Ton). La ausencia de estos conceptos hace incompleto el modelo económico.

Falta de referencias operativas en RSU. No se aportan referencias de plantas de gasificación de RSU en operación comercial; la evidencia gráfica y técnica remitida corresponde a biomasa forestal, con propiedades sustancialmente distintas a los RSU, lo que impide validar desempeño y disponibilidad para el caso objeto.

Datos desactualizados. Los valores de inversión (CAPEX) reconocen haber sido calculados en 2020 y requieren actualización. A efectos de 2025, la inflación, los tipos y las condiciones de suministro pueden alterar significativamente CAPEX y OPEX.

Lagunas de diseño y cumplimiento regulatorio. Falta una base de diseño con RSU real de **Sogamoso** (composición, humedad, PCI del rechazo, impropios y esquema de pretratamiento), así como balances trazables de masa y energía (kWh/t netos), garantías de disponibilidad y límites de emisión alineados con las Mejores Técnicas Disponibles (MTD/BAT).

La documentación también contiene una propuesta que plantea enriquecer el syngas/biogás con hidrógeno para mejorar la calidad del combustible; sin embargo, la oferta no incorpora el CAPEX/OPEX del bloque de H₂ (producción o compra, compresión, almacenamiento e integración), ni aporta balances de masa y energía, condiciones de operación o garantías de desempeño.

En consecuencia, la información disponible no permite una evaluación completa ni comparable, presenta inconsistencias técnicas, omisiones de costos y bases de diseño esenciales, datos desactualizados y carece de referencias operativas en RSM; además, su encaje en economía de escala y en la jerarquía de gestión de residuos no la sitúa como opción prioritaria. Por todo ello, esta alternativa no es seleccionable en esta fase del estudio y se mantiene únicamente como inclusión metodológica.

10.2. Alternativa C: Incineración (Waste-to-Energy)

A diferencia de la gasificación, la incineración con recuperación de energía (Waste-to-Energy, WtE) es una tecnología madura y consolidada a nivel internacional. Actualmente existen más de 2.200 plantas en operación en al menos 45 países, que procesan más de 255 millones de toneladas de residuos al año, generando electricidad y calor a partir de la fracción combustible de los RSM. Se trata de una opción validada en contextos urbanos de alta densidad, con disponibilidad de recursos financieros y con limitaciones severas de espacio para la disposición final.

Ahora bien, su viabilidad depende de forma determinante de la economía de escala: a mayor capacidad anual tratada, mejor se diluyen el CAPEX (caldera, tratamiento de gases, manejo de escorias) y los OPEX fijos, reduciendo el coste específico (COP/Ton). Con un flujo estimado para Sogamoso del orden de 70–90 t/día ($\approx 25\text{--}33$ kt/año), el proyecto queda muy por debajo de los rangos en los que WtE suele resultar competitivo frente a alternativas más adecuadas al contexto local (digestión/compostaje de la fracción orgánica y refuerzo del reciclaje). La experiencia internacional muestra que estas instalaciones requieren grandes volúmenes de tratamiento para alcanzar economías de escala, por ejemplo, sin considerar las normativas, y recomendaciones técnicas (IDAE, BREF, guías europeas) y pliegos para proyectos de valorización energética en la UE se consideran 100.000 t/año como el umbral de referencia mínimo recomendado para asegurar competitividad a largo plazo y reducción de costes unitarios, ya que, en condiciones de menor escala, los costos por tonelada tratada se disparan y las plantas tienden a prescindir de sistemas avanzados de control de emisiones, comprometiendo su cumplimiento con normativas ambientales estrictas.

En segundo lugar, la incineración directa de residuos urbanos sin separación previa contradice el marco normativo y de política pública en Colombia, que establece la jerarquía de residuos en la Política Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Esta jerarquía prioriza la prevención, la reutilización, el reciclaje y el aprovechamiento material sobre la valorización energética. Además, la implementación de una planta incineradora limitaría la actividad de los recicladores de oficio, quienes dependen del acceso al material recuperable, generando conflictos sociales y contradicciones con las políticas de inclusión productiva actualmente vigentes.

Por último, desde la perspectiva del cambio climático, la incineración representa una fuente neta de emisiones de gases de efecto invernadero, debido a la combustión de plásticos y fracciones no biodegradables. Si bien evita la emisión de metano asociada al vertimiento en rellenos sanitarios, su huella de carbono es significativamente mayor que la de tecnologías como el compostaje o la digestión anaerobia, que permiten reducir emisiones al tiempo que recuperan materia orgánica y energía de manera más sostenible, siendo necesarias unas exigencias muy estrictas para las emisiones de las plantas WtE, estándares que difícilmente podrían cumplirse en una instalación de escala reducida y sin un fuerte respaldo financiero externo.

En conclusión, aunque la incineración con recuperación de energía es una tecnología consolidada en países con gran densidad poblacional y recursos disponibles, no resulta técnica, económica ni ambientalmente viable para Sogamoso. Su implementación contradiría el marco normativo nacional, afectaría la inclusión de los recicladores y supondría un riesgo de



emisiones elevadas, por lo que se descarta como opción para la gestión de residuos en el municipio.

10.3. Tecnologías preseleccionadas.

Una vez descartadas las tecnologías de gasificación e incineración con valorización energética, las alternativas seleccionadas para el análisis y a las que se aplicará la metodología de evaluación y priorización, son las que se recogen en la siguiente tabla:

Tabla 50. Alternativas seleccionadas

Escenario	Alternativa	Descripción de la alternativa
ESCENARIO 0	ALTERNATIVA A	Implantación de un TM y un TB que permita derivar residuos del relleno sanitario. El TB es una bioestabilización de la materia orgánica mezclada o procedente de la fracción resto.
ESCENARIO 1	ALTERNATIVA D	Implantación de un TM y TB con planta de fabricación de CSR. En esta alternativa el TB es doble; bioestabilizado para MOR y compostaje para FORS.
ESCENARIO 2	ALTERNATIVA E	Contempla la implantación de un TM y la coexistencia de la DA y la fabricación de CSR, de forma que irá disminuyendo la fabricación de CSR a favor del incremento de la DA conforme se va implantando la recolección selectiva. En esta alternativa el TB se encarga de estabilizar el digestato procedente de la biometanización.
ESCENARIO 3	ALTERNATIVA F	Implantación de un TM con DA y TB para estabilización del digestato.

En el caso de la Alternativa E, como se ha descrito previamente, esta opción plantea una integración progresiva entre dos rutas ya consideradas en el estudio: por un lado, un esquema de tratamiento mecánico-biológico con producción de CSR, y por otro, la incorporación de digestión anaerobia de la fracción orgánica separada en origen. La lógica de esta alternativa consiste en iniciar con el modelo de la Alternativa D y evolucionar hacia la configuración más avanzada de la Alternativa F conforme aumente el volumen de materia orgánica disponible para biometanización.

Sin embargo, este planteamiento tiene un carácter metodológicamente redundante, dado que sus componentes principales ya se encuentran analizados de manera individual en las alternativas D y F. Incluir un análisis técnico, económico y ambiental independiente de la Alternativa E supondría una duplicación de esfuerzos sin aportar información adicional significativa para la toma de decisiones. Por ello, se ha optado por considerar esta alternativa como una combinación de los resultados de las alternativas D y F, atribuyendo su comportamiento final a la suma de ambas rutas.

Desde el punto de vista metodológico, este enfoque resulta adecuado porque al evaluar de forma separada la valorización biológica y la producción de CSR se cubren las implicaciones operativas, ambientales y económicas que tendría su integración. Además, la evolución progresiva de las infraestructuras, desde un tratamiento mecánico-biológico simple hasta la



incorporación de digestión anaerobia, ya se contempla en los escenarios de escalamiento incluidos en el análisis de las alternativas D y F.

En consecuencia, se justifica la exclusión de la Alternativa E de los análisis detallados, asumiendo que sus resultados se corresponden con la combinación de las alternativas D y F. Este procedimiento evita redundancias y permite centrar el análisis comparativo en las configuraciones que aportan información diferenciada y relevante para la selección de la mejor alternativa de gestión.

11. MARCO GENERAL DE DISEÑO DE LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS

En la etapa anterior se realizó una preselección de alternativas tecnológicas, considerando criterios técnicos, económicos, operativos y ambientales. Como resultado, se descartaron las opciones basadas en gasificación e incineración con valorización energética, al no ajustarse a los objetivos del proyecto.

A continuación, se presentan las tecnologías seleccionadas como base de las alternativas viables: tratamiento mecánico (TM), tratamiento biológico (TB), digestión anaerobia (DA), y producción de combustible sólido recuperado (CSR). Cada una de ellas se describe de forma sistemática en cuanto a infraestructuras generales, maquinaria de proceso y equipos de explotación, con especial atención a la sostenibilidad, la seguridad laboral, el control ambiental y la modularidad.

De este modo, este apartado ofrece un marco técnico unificado, que servirá de referencia para contextualizar las inversiones, los costes de operación y los criterios de evaluación económica, ambiental y territorial desarrollados en los apartados posteriores.

En este contexto, resulta necesario establecer primero las condiciones generales de diseño que comparten todas las tipologías seleccionadas; capacidad de tratamiento, localización estratégica, criterios de ingeniería y principios de sostenibilidad, las cuales constituyen la base común sobre la que se desarrollan posteriormente las especificidades de cada tecnología.

Las plantas consideradas se han diseñado para una capacidad de 25.500 toneladas anuales de residuos, dimensionada conforme a las necesidades de la zona de estudio y con ubicación estratégica en las inmediaciones del relleno sanitario. Esta localización permite optimizar los flujos logísticos, reducir costes de transporte y minimizar la huella de carbono asociada al traslado de rechazos.

El desarrollo de las instalaciones se ha realizado aplicando criterios de ingeniería y operación reconocidos a nivel internacional, garantizando la eficacia de los procesos, la sostenibilidad ambiental y la fiabilidad operativa a largo plazo. Todas las tipologías analizadas (tratamiento mecánico, tratamiento biológico, digestión anaerobia y producción de CSR) comparten un mismo enfoque: priorizar la valorización y recuperación de recursos frente a la eliminación, en línea con los principios de la economía circular.

Se han considerado infraestructuras y sistemas orientados a la minimización de riesgos ambientales, incluyendo impermeabilización de superficies, gestión integral de lixiviados y sistemas avanzados de captación y filtración de aire para reducir emisiones difusas de polvo y olores. En paralelo, se ha dado prioridad a los criterios de seguridad y salud laboral, mediante

la adecuada separación de zonas limpias y de proceso, la dotación de espacios auxiliares al personal y la integración de medidas preventivas en el diseño constructivo.

Un aspecto clave del planteamiento es la flexibilidad y modularidad de las instalaciones, que permite:

- Adaptarse a cambios normativos y a la evolución de los sistemas de recogida selectiva.
- Integrar tecnologías adicionales (p. ej., separadores ópticos, digestores, bioreactores, líneas de producción de CSR) sin necesidad de rediseñar la infraestructura básica.
- Ampliar la capacidad de tratamiento en caso de incrementos de generación de residuos o incorporación de nuevos municipios al área de servicio. Esta modularidad asegura una respuesta escalonada y eficiente frente a variaciones en el flujo de entrada.

Con estas condiciones generales como referencia, en los apartados siguientes se desarrolla la caracterización específica de cada tipología de planta incluida en el estudio. Esta descripción se organiza en tres bloques; infraestructuras generales, maquinaria de proceso y equipos de explotación, con el fin de asegurar un análisis homogéneo y facilitar la comparabilidad técnica y económica entre tecnologías.

11.1. Planta de tratamiento mecánico (TM).

La planta de tratamiento mecánico (TM) responde a un modelo estándar de separación de materiales valorizables, combinando procesos automáticos (tromeles, cintas transportadoras, sistemas de aspiración y filtración) con operaciones manuales en cabinas de triaje. Su diseño se centra en maximizar la recuperación de fracciones reciclables y reducir el volumen de residuos destinados a eliminación.



Imagen 17. Interior planta tratamiento mecánico (TM).

Entre sus características específicas destacan:

- Sistemas avanzados de aspiración y filtración, que mejoran la calidad del aire en el interior de las naves y limitan la dispersión de partículas y olores hacia el exterior.



- Cabinas de triaje acondicionadas, con ventilación y ergonomía adecuadas para garantizar la seguridad y salud laboral de los operarios.
- Infraestructuras eléctricas y de control robustas, que aseguran la continuidad operativa y permiten la futura incorporación de tecnologías ópticas o automatizadas en la línea de clasificación.
- Proximidad al relleno sanitario, lo que facilita la gestión de rechazos y reduce los impactos asociados al transporte.

En conjunto, se trata de una instalación de dimensión intermedia y alta fiabilidad operativa, orientada a la eficiencia en la clasificación mecánica y preparada para integrar mejoras tecnológicas que optimicen su rendimiento a lo largo de su vida útil.

11.1.1. Obra civil e infraestructuras generales

Movimiento de tierras y adecuación del terreno: Incluye las labores de excavación, nivelación y compactación necesarias para preparar el terreno donde se va a ubicar la planta. Este trabajo es clave para garantizar estabilidad estructural y un drenaje adecuado, evitando asentamientos diferenciales que puedan afectar a las naves y equipos.

Cimentación y estructura de la nave de recepción y pretratamiento: Se trata de la estructura principal donde se descargan los residuos y se ubican las primeras fases de clasificación. Está diseñada para soportar cargas dinámicas de la maquinaria pesada y permite una ventilación adecuada para mitigar riesgos de emisiones.

Cerramientos y cubierta: Elementos constructivos que protegen al personal y equipos de las inclemencias meteorológicas, además de contribuir al control de polvo y olores. El diseño contempla materiales metálicos resistentes y un cerramiento hermético para limitar las emisiones difusas.

Urbanización interior y redes: Red de viales, canalizaciones y acometidas internas que garantizan la accesibilidad, el suministro de agua, electricidad y sistemas de comunicación. Asegura una operación continua y ordenada en todo el complejo.

Fosos, muelles y losas de equipo: Infraestructuras de apoyo donde se ubican las tolvas, tromeles y prensas. Los muelles facilitan la descarga de camiones y la transferencia directa de residuos a la línea de proceso, reduciendo tiempos de operación.



Imagen 18. Interior foso descarga residuos.

Subdivisión de oficinas y vestuarios: Zonas administrativas y de servicios para los trabajadores. Incluyen vestuarios diferenciados, oficinas de control y espacios de descanso, cumpliendo las normativas de higiene y seguridad laboral.

Báscula y caseta de control: Punto de control donde se pesan todos los vehículos de entrada y salida, garantizando la trazabilidad de los residuos gestionados. La caseta incluye sistemas informáticos de registro para facilitar reportes de gestión.



Imagen 19. Báscula y caseta de control.

Centro de transformación: Instalación eléctrica destinada a transformar la tensión de suministro en niveles adecuados para la operación de maquinaria pesada. Dispone de protecciones contra sobretensiones y sistemas redundantes para evitar interrupciones.

Protección contra incendios: Conjunto de sistemas de detección, alarma y extinción (hidrantes, rociadores, bocas de incendio equipadas) distribuidos en naves y oficinas. Su

disposición asegura tiempos de respuesta rápidos en caso de incidentes, minimizando riesgos para el personal y los equipos.

Gestión de materiales e infraestructuras menores: Incluye almacenes, zonas de acopio temporal y cerramientos internos. Son espacios auxiliares que contribuyen a un manejo seguro de repuestos, consumibles y residuos secundarios.

11.1.2. Maquinaria de proceso

Sistema eléctrico de control: Red de automatización basada en PLCs y sistemas SCADA, que supervisa los equipos en tiempo real. Permite una operación centralizada, reduce el riesgo de errores humanos y asegura eficiencia en el consumo energético.

Tromel: Criba rotatoria que separa los residuos por tamaño, diferenciando fracciones finas de materiales voluminosos. Esta operación inicial mejora la eficiencia de las etapas posteriores y reduce la carga en las cabinas de triaje.



Imagen 20. Tromel de cribado.

Cabinas de triaje: Espacios cerrados y climatizados en los que los operarios realizan la separación manual de materiales valorizables. Están diseñadas con sistemas de aspiración localizada para mejorar la calidad del aire y con medidas ergonómicas que reducen la fatiga laboral.



Imagen 21. Interior cabina de triaje.

Transportes (cintas, tolvas y transferencias): Red de cintas transportadoras y tolvas que conecta todos los equipos del proceso. Permiten un flujo continuo de residuos, reduciendo la manipulación manual y optimizando el rendimiento global de la planta.

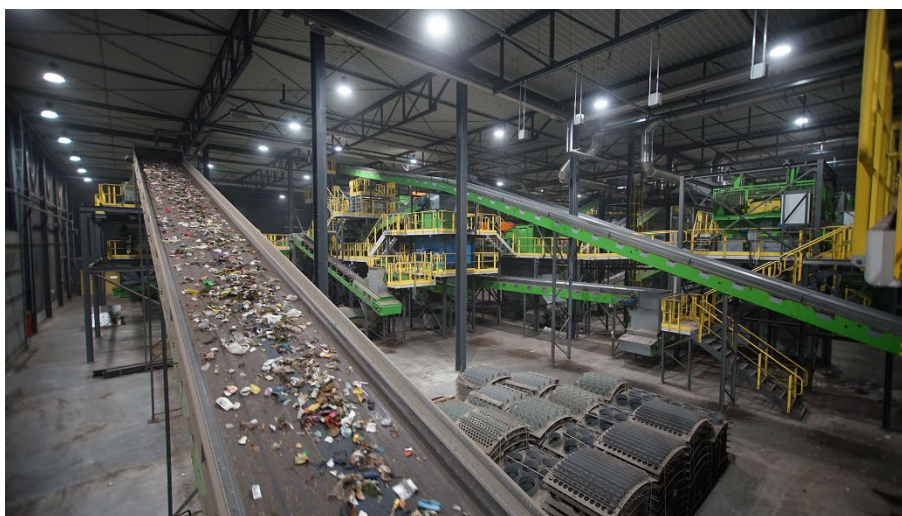


Imagen 22. Interior de una planta de tratamiento mecánico (cintas transportadoras).

Prensa embaladora: Equipo que compacta materiales reciclables como papel, plásticos o metales ligeros en balas de alta densidad. Facilita el almacenamiento y transporte, asegurando homogeneidad en el producto final.



Imagen 23. Prensa embaladora.

Sistemas de aspiración y filtración: Instalación de captación de aire con filtros que retienen partículas y controlan olores. Contribuyen al cumplimiento de estándares de calidad ambiental y mejoran el entorno de trabajo para el personal.



Imagen 24. Sistema de aspiracion y filtracion.

Instalación de aire comprimido: Proporciona energía neumática a distintos equipos, como sistemas de separación automática o limpieza de filtros. Es una red auxiliar indispensable para garantizar la operatividad de la planta.

Báscula puente interna: Complementaria a la báscula de acceso, permite controlar flujos internos de materiales y rechazos, mejorando la trazabilidad y el control estadístico de los procesos.

Recambios de operación: Stock de elementos de desgaste (rodillos, cribas, cuchillas) necesarios para asegurar continuidad de servicio. Disponer de ellos en planta reduce tiempos de parada en mantenimientos correctivos.

11.1.3. Maquinaria de explotación

Manipulador telescópico: Vehículo versátil que permite alimentar tromeles y tolvas, manipular materiales a diferentes alturas y realizar tareas de apoyo en mantenimiento.



Imagen 25. Manipulador telescópico.

Cargadora sobre ruedas: Máquina de gran capacidad para acopiar residuos, mover fracciones separadas y alimentar la línea de proceso. Su uso es fundamental en la gestión de grandes volúmenes.



Imagen 26. Cargadora sobre ruedas.

Carretilla elevadora: Facilita la manipulación de balas prensadas y otros materiales en palets, agilizando las operaciones logísticas dentro de la planta.



Imagen 27. Carretilla elevadora.

Miniexcavadora con martillo: Equipo ligero utilizado para operaciones puntuales de limpieza, fragmentación de rechazos voluminosos o trabajos auxiliares en mantenimiento.



Imagen 28. Miniexcavadora con martillo.

Camión ligero de caja abierta: Vehículo de apoyo para transporte interno de fracciones, herramientas o residuos secundarios. Garantiza flexibilidad operativa en el recinto.



Imagen 29. Camión ligero de caja abierta.

Implementos y accesorios: Conjunto de herramientas intercambiables (cazos, pinzas, cucharas) que amplían la versatilidad de los equipos móviles de la planta.

Taller móvil y herramientas: Unidad de apoyo equipada con herramientas y repuestos básicos que permite realizar mantenimientos preventivos y correctivos rápidos sin detener la operación principal.



Imagen 30. Taller móvil (interior).

11.2. Planta de tratamiento biológico

La planta de tratamiento biológico (TB) está concebida para el aprovechamiento de la fracción orgánica de los residuos municipales, mediante procesos controlados de compostaje y estabilización. El objetivo principal es reducir la cantidad de materia biodegradable destinada a relleno sanitario y generar un producto valorizable en forma de compost.



Imagen 31. Interior planta de compostaje (pilas alargadas de residuo orgánico en tratamiento y puente grúa automatizado)

Entre sus características específicas destacan:

- **Naves de recepción y pretratamiento** dimensionadas para la manipulación inicial de la fracción orgánica, incluyendo tromeles y cabinas de triaje que permiten separar impropios antes del proceso biológico.
- **Instalación de gestión de lixiviados**, formada por conducciones sistemas de bombeo y dispositivos de control que permiten la reinyección de los lixiviados en las pilas de tratamiento biológico, favoreciendo el mantenimiento de la humedad óptima y la homogeneización del proceso de degradación.

Estas instalaciones se complementan con balsas o depósitos de acumulación, cuya función principal es la gestión del excedente de lixiviados generado en situaciones de saturación del sistema o de caudal excesivo debido a precipitaciones intensas o desequilibrios temporales en la operación. De esta forma, se asegura la retención temporal y el tratamiento posterior de los líquidos, minimizando los riesgos de contaminación de suelos y aguas superficiales, y garantizando el cumplimiento de los parámetros ambientales establecidos en la normativa vigente.

- **Sistemas de ventilación, aspiración y filtración** adaptados al manejo de materia orgánica, con biofiltración para la reducción de emisiones odoríferas y mejora de las condiciones ambientales internas.
- **Equipos específicos para compostaje**, como la volteadora de pilas, que asegura una aireación homogénea, control de humedad y temperatura, favoreciendo la estabilización biológica del material.
- **Zonas auxiliares de apoyo operativo**, incluyendo espacios impermeabilizados para el acopio temporal de compost en distintas fases y áreas de curado al aire libre o semicubiertas, según las condiciones climáticas de la zona.

En conjunto, se trata de una instalación diseñada para maximizar la valorización de la fracción biodegradable, con infraestructuras orientadas al control ambiental y equipos especializados que garantizan la calidad del compost producido y la reducción efectiva de los impactos asociados al vertido de materia orgánica.

11.2.1. Obra civil e infraestructuras generales

Movimiento de tierras y adecuación del terreno: Preparación inicial de la parcela mediante excavaciones, rellenos y nivelación, garantizando estabilidad estructural y un drenaje adecuado frente a la generación de lixiviados.

Cimentación y estructura de la nave de recepción y pretratamiento: Alberga la descarga de residuos y el inicio del proceso de cribado y triaje. La estructura está reforzada para soportar vibraciones y equipos de gran peso, además de permitir ventilación y control de emisiones.

Cerramientos y cubierta: Sistemas metálicos de protección que aíslan el proceso frente a agentes externos y reducen emisiones al entorno. La cubierta incluye aberturas técnicas para ventilación controlada de biofiltración.

Urbanización interior y redes: Conjunto de viales, canalizaciones y redes de servicios que facilitan accesibilidad, suministro de agua, energía y evacuación de pluviales. Incluye la integración de tuberías específicas para la recogida de lixiviados.



Fosos, muelles y losas de equipo: Elementos de soporte para la instalación de maquinaria, muelles de descarga de camiones y superficies de operación, diseñados con revestimientos impermeables para prevenir infiltraciones.

Subdivisión de oficinas y vestuarios: Espacios para gestión administrativa, áreas de descanso y servicios al personal. Disponen de circuitos diferenciados para personal técnico y operativo, minimizando riesgos de contaminación cruzada.

Báscula y caseta de control: Infraestructura de pesaje y registro de entradas y salidas, con sistemas informatizados que garantizan la trazabilidad de los residuos tratados.

Centro de transformación: Instalación eléctrica destinada a asegurar un suministro estable y continuo a los equipos de proceso, con protecciones frente a picos de tensión.

Protección contra incendios: Red de hidrantes, detectores y sistemas de extinción diseñados para prevenir incidentes en áreas críticas, especialmente en naves de almacenamiento de material orgánico seco.

Gestión de materiales e infraestructuras menores: Incluye almacenes y espacios auxiliares para repuestos y consumibles, así como cerramientos interiores para operaciones logísticas de apoyo.

Instalación de gestión de lixiviados: Red de bombeo y conducciones impermeabilizadas destinadas a la recogida, recirculación y gestión del exceso de lixiviados generados durante el proceso de tratamiento biológico.

Tal como se describe en el marco general de diseño, el sistema permite la reinyección controlada de los lixiviados en las pilas para mantener la humedad y la homogeneidad del proceso, disponiendo además de balsas o depósitos de acumulación para la gestión temporal del excedente en condiciones de saturación o caudal elevado.

Su funcionamiento garantiza la protección del suelo y de las aguas subterráneas frente a posibles episodios de contaminación, optimizando el equilibrio hídrico del sistema y asegurando la conformidad con la normativa ambiental aplicable.

11.2.2. Maquinaria de proceso

Sistema eléctrico de control: Plataforma de automatización y control centralizado mediante software SCADA, que supervisa todos los equipos de la línea y permite una operación eficiente y segura.

Tromel: Criba rotativa que separa fracciones finas y gruesas, optimizando la alimentación hacia el proceso biológico. Su función es clave para aislar impropios y garantizar la calidad del compostaje.

Cabinas de triaje: Espacios acondicionados donde se retiran manualmente materiales no biodegradables. Están dotadas de sistemas de ventilación y ergonomía laboral para asegurar condiciones adecuadas al personal.

Transportes (cintas, tolvas y transferencias): Conjunto de sistemas mecánicos que garantizan la continuidad del flujo de residuos desde la recepción hasta las áreas de compostaje. Reducen la manipulación manual y mejoran la eficiencia.

Sistemas de aspiración y filtración: Equipos que captan y depuran aire de proceso, limitando la emisión de partículas y olores. Contribuyen a cumplir estándares ambientales de calidad del aire.

Instalación de aire comprimido: Red auxiliar utilizada para accionar compuertas, sistemas neumáticos y limpieza de filtros, indispensable para la fiabilidad del proceso.

Recambios de operaciones: Componentes de desgaste como rodillos, cribas o piezas móviles que aseguran continuidad operativa y reducen tiempos de parada.

Planta de gestión de lixiviados (bombas y conducciones): Instalación hidráulica complementaria a la obra civil, formada por sistemas de bombeo y tuberías que permiten una vacuación controlada de lixiviados hacia balsas de tratamiento.



Imagen 32. Planta de tratamiento de lixiviados.

Sistema de transporte interno: Equipos móviles y mecanismos de traslado que facilitan la circulación de materiales dentro de la planta, optimizando los tiempos de operación y reduciendo esfuerzos logísticos.

11.2.3. Maquinaria de explotación

Vehículo auxiliar: Se ha incluido un vehículo tipo UTV 4x4 ligero con tolva basculante, adecuado para recorridos internos entre las pilas de compost y las naves de proceso. Permite transportar herramientas, sacos de estructurante y material de muestreo de manera ágil, adaptándose a firmes irregulares y garantizando maniobrabilidad en espacios reducidos.



Imagen 33. Vehículo auxiliar

Manipulador telescópico: Equipo de carga y manipulación de residuos y fracciones, esencial para alimentar procesos y mover materiales voluminosos.

Cargadora sobre ruedas: Máquina de gran capacidad para la gestión de acopios de fracción orgánica, que asegura un suministro constante al área de compostaje.

Implementos y accesorios: Herramientas y dispositivos intercambiables que aumentan la versatilidad de la maquinaria principal (balde, pinzas, cucharas).

Taller móvil y herramientas: Unidad equipada para el mantenimiento preventivo y correctivo inmediato en campo, reduciendo el tiempo de inactividad de los equipos.

Volteadora de compost: Equipo específico de esta tipología de planta, encargado de airear y homogeneizar las pilas de compost. Su uso asegura una degradación biológica uniforme, controlando la humedad y la temperatura del material.



Imagen 34. Volteadora de compost

11.3. Planta de digestión anaerobia

La planta de digestión anaerobia (DA) está concebida para el tratamiento de la fracción orgánica biodegradable en ausencia de oxígeno, con un doble objetivo: la producción de biogás como fuente de energía renovable y la estabilización de la materia orgánica mediante la obtención de un digestato que, tras su tratamiento, puede emplearse como enmienda agrícola o destinarse a otros usos.



Imagen 35. Planta de digestión anaerobia.

Entre sus características específicas destacan:

- **Digestores anaerobios de gran capacidad**, contruidos en obra civil y equipados con sistemas de agitación y homogeneización, que garantizan condiciones estables de operación (temperatura, mezcla y tiempo de residencia).



- **Instalaciones de cogeneración de biogás**, que permiten transformar la energía contenida en el gas en electricidad y calor, dotando a la planta de autosuficiencia energética parcial. Incluyen antorcha de seguridad y grupo generador.
- **Tanques y sistemas de gestión del digestato**, impermeabilizados y diseñados para facilitar su almacenamiento, tratamiento y valorización posterior, reduciendo riesgos ambientales.
- **Infraestructuras auxiliares de gas** (regulación, soplantes, compresores), que garantizan la conducción y aprovechamiento del biogás en condiciones seguras.
- **Sistemas de aspiración y filtración**, adaptados al manejo de materia orgánica en descomposición, que minimizan emisiones de olores y mejoran la calidad ambiental del entorno.
- **Automatización y control avanzado del proceso**, con sistemas que monitorizan parámetros críticos como pH, carga orgánica y producción de biogás, incrementando la seguridad y fiabilidad operativa.

En conjunto, se trata de una instalación orientada a la valorización energética de la fracción orgánica, reduciendo emisiones de gases de efecto invernadero y contribuyendo a los objetivos de transición energética mediante la generación de energía renovable a partir de residuos.

11.3.1. Obra civil e infraestructuras generales

Movimiento de tierras y adecuación del terreno: Trabajos iniciales de excavación, relleno y nivelación que garantizan la estabilidad del complejo y la impermeabilización de la base frente a posibles infiltraciones.

Cimentación y estructura de la nave de recepción y pretratamiento: Zona de entrada de residuos, donde se descargan y someten a operaciones previas de homogeneización. Diseñada para soportar maquinaria pesada y con sistemas de ventilación.

Digestores y tanque de almacenamiento de digestato: Obras civiles específicas que constituyen el núcleo del proceso. Los digestores, de gran volumen y herméticos, aseguran la fermentación controlada, mientras que los tanques almacenan el digestato para su tratamiento posterior.



Imagen 36. Digestores y tanques de almacenamiento.

Cerramientos y cubierta: Protecciones metálicas que garantizan condiciones controladas de operación, limitan el impacto de agentes externos y contribuyen a reducir emisiones difusas.

Urbanización interior y redes: Red de accesos, canalizaciones y acometidas que permiten la circulación interna y el suministro de servicios básicos (agua, electricidad, comunicaciones). Incluye redes específicas de gestión de lixiviados.

Subdivisión de oficinas y vestuarios: Instalaciones auxiliares para el personal técnico y operativo, cumpliendo normativas de higiene y seguridad laboral.

Báscula y caseta de control: Infraestructura destinada al pesaje y registro de residuos en la entrada y salida, garantizando trazabilidad y control administrativo.

Instalación de gestión de lixiviados: Sistemas de recolección y bombeo que conducen los líquidos generados hacia balsas o plantas de tratamiento, reduciendo riesgos de contaminación de suelos y aguas.

11.3.2. Maquinaria de proceso

Pretratamiento y homogeneización: Conjunto de equipos destinados a acondicionar la fracción orgánica antes de su entrada al digestor, asegurando una alimentación uniforme.

Bombas y mezcladores: Elementos esenciales para mantener la agitación y la recirculación del sustrato en el interior de los digestores.

Digestores anaerobios: Equipos principales donde se produce la degradación biológica de la materia orgánica y la generación de biogás.

Cogeneración de biogás: Sistema que incluye motores de combustión y generadores eléctricos, aprovechando el gas producido para generar electricidad y calor de manera eficiente.

Tratamiento del digestato: Instalaciones destinadas a deshidratar, higienizar o compostar el digestato, preparándolo para su uso agrícola o su eliminación segura.

Antorcha y grupo generador: Equipos de seguridad y respaldo para la quema controlada del exceso de gas y para asegurar suministro energético estable en caso de contingencia.



Imagen 37. Antorcha de biogás

Soplantes y sistemas de regulación de gas: Aseguran el transporte, la presurización y la distribución del biogás con los parámetros adecuados de seguridad.

Sistema eléctrico de control: Red de automatización con PLCs y SCADA que permiten controlar en tiempo real el rendimiento de los digestores y de la cogeneración.

Transportes internos (cintas, tolvas y transferencias): Facilitan la manipulación de materiales y fracciones asociadas al proceso.

Sistemas de aspiración y filtración: Reducen olores y emisiones, manteniendo condiciones ambientales óptimas para el personal y el entorno.

Instalación de aire comprimido: Proporciona energía a compuertas, válvulas y equipos auxiliares del proceso.

Recambios de operación: Conjunto de repuestos críticos para garantizar continuidad operativa y reducir tiempos de parada por mantenimiento.

11.3.3. Maquinaria de explotación

Vehículo auxiliar: Vehículo tipo Pickup compacta de platón o estacas, destinada a la logística general dentro del recinto, para el traslado de herramientas, repuestos y consumibles hacia las áreas de digestores, tanques y cogeneración. Se prioriza un modelo sencillo y robusto, apto para trayectos cortos y con la seguridad necesaria para operar fuera de las zonas con riesgo de atmósfera explosiva.

Cargadora sobre ruedas: Equipo fundamental para manipular fracciones sólidas asociadas al proceso y gestionar acopios de materiales.



Carretilla elevadora: Facilita la logística interna de consumibles, recambios y subproductos acondicionados.

Taller móvil y herramientas: Unidad de apoyo que permite realizar mantenimientos preventivos y correctivos rápidos, reduciendo los tiempos de inactividad de la planta.

11.4. Planta de producción de CSR

La planta de producción de Combustible Sólido Recuperado (CSR) está diseñada para la valorización energética de la fracción no reciclable de los residuos municipales, transformándola en un combustible alternativo de alto poder calorífico que puede emplearse en procesos industriales, principalmente en hornos de cemento o plantas de generación. Su configuración combina procesos mecánicos de trituración, cribado, refinado y prensado, orientados a obtener un producto homogéneo y con propiedades combustibles estables.

Entre sus características específicas destacan:

- Líneas de trituración primaria y secundaria, que reducen el tamaño de los residuos y eliminan impropios, asegurando una granulometría adecuada para el CSR.
- Sistema de cribado y separación, que mejora la calidad del producto al retirar materiales inertes o no combustibles.
- Prensa embaladora, utilizada para compactar y embalar el CSR en balas que facilitan su transporte y almacenamiento.
- Sistemas de aspiración y filtración, que reducen polvo y partículas generadas en los procesos de trituración y manipulación, garantizando condiciones seguras y ambientales.
- Apoyo logístico interno, mediante vehículos auxiliares, cargadoras, carretillas y camiones ligeros que facilitan los movimientos de fracciones y la expedición del producto final.

En conjunto, se trata de una instalación enfocada en la producción de un combustible alternativo estable y competitivo, contribuyendo a reducir la fracción destinada a relleno sanitario y a sustituir combustibles fósiles en procesos industriales intensivos en energía.

11.4.1. Obra civil e infraestructuras generales

Movimiento de tierras y adecuación del terreno: Obras iniciales de excavación y nivelación para garantizar estabilidad estructural y un drenaje adecuado del recinto.

Cimentación y estructura de la nave de recepción y pretratamiento: Espacio donde se descargan los residuos a tratar y se realiza la primera etapa de acondicionamiento. Diseño para soportar vibraciones y cargas dinámicas de equipos de trituración.

Viales, muelles de carga y redes básicas: Infraestructuras que aseguran accesibilidad a vehículos de entrada y salida, incluyendo muelles para la carga del CSR enfardado.

Zona de proceso: Naves destinadas a los equipos de trituración, separación y prensado, con disposición lineal que optimiza el flujo de materiales.

Cerramientos y cubierta: Elementos de protección que aíslan el proceso de las condiciones exteriores y contribuyen al control de emisiones difusas.

Subdivisión de oficinas y vestuarios: Instalaciones auxiliares para el personal de operación, incluyendo espacios administrativos y de descanso.

Báscula y caseta de control: Punto de pesaje y registro para garantizar la trazabilidad del residuo entrante y del CSR expedido.

Centro de transformación: Instalación eléctrica para el suministro de energía a los equipos de trituración y prensado, con protecciones frente a sobretensiones.

Protección contra incendios: Sistemas de detección y extinción diseñados para un entorno con riesgo por material combustible en manipulación.

11.4.2. Maquinaria de proceso

Triturador primario: Reduce el tamaño de los residuos voluminosos, preparando la fracción para las etapas posteriores.



Imagen 38. Triturador.

Triturador secundario/refinador: Asegura una granulometría homogénea, fundamental para la calidad del CSR.

Sistema de cribado y separación: Retira fracciones no combustibles como metales, vidrios o inertes, mejorando el poder calorífico del producto final.



Imagen 39. Equipo de separación de gran tamaño con tolvas inclinadas, conductos de aspiración y plataformas de acceso.

Transportes (cintas, tolvas y transferencias): Permiten el flujo continuo de material entre las distintas fases de trituración, cribado y prensado.

Prensa embaladora: Compacta y embala el CSR en balas estables, optimizando su logística de almacenamiento y transporte.



Imagen 40. Prensa embaladora.



Sistemas de aspiración y filtración: Reducen las emisiones de polvo y partículas generadas durante el triturado y transporte interno.

Instalación de aire comprimido: Proporciona energía neumática para accionar compuertas, válvulas y sistemas auxiliares de los equipos de proceso.

11.4.3. Maquinaria de explotación

Vehículo auxiliar: UTV ligero o pickup compacta, destinada al transporte interno de herramientas, repuestos y pequeñas cargas, facilitando las rondas de operación y mantenimiento.

Cargadora sobre ruedas: Equipo clave para alimentar los trituradores y gestionar los acopios de material previo al proceso de refinado.

Carretilla elevadora: Destinada a la manipulación de balas de CSR y palets en la zona de expedición y almacén cubierto.

Camión ligero de caja abierta: Vehículo de apoyo para movimientos internos de fracciones y transporte de consumibles, con alta versatilidad en la logística de planta.

Taller móvil y herramientas: Unidad equipada para intervenciones rápidas de mantenimiento, reduciendo tiempos de parada de equipos críticos.

12. METODOLOGÍA DE SELECCIÓN DE MEJOR ALTERNATIVA

Es complicado determinar, a priori, las mejores tecnologías para el tratamiento y eliminación de los residuos, independientemente de la composición, el tamaño de la planta y la ubicación en el territorio.

Un análisis ambiental ayuda a definir qué tecnologías en conjunto tienen un impacto menor. Un análisis de energía ayuda a determinar la forma más eficiente para recuperar la energía contenida en los residuos y un análisis de masas es necesario para determinar las dimensiones correctas de las diversas plantas. Por lo tanto, todos estos análisis (junto con la viabilidad económico-financiera) son necesarios para determinar el mejor sistema de gestión de RSM.

Además, el sistema propuesto debe tener en cuenta criterios sociales y el contexto geográfico.

Se han de evaluar, por tanto, una serie de condicionantes económicos, tecnológicos, ambientales, sociales jurídicos e institucionales para tener todo el espectro de variables que permitan tomar la decisión más acertada.

La siguiente figura presenta el esquema de la metodología seguida en el desarrollo de la presente investigación, en ella pueden verse las fases seguidas para el análisis y selección de la mejor alternativa para el territorio en estudio, considerando los criterios económicos, ambientales y territoriales (sociales, jurídicos e institucionales).

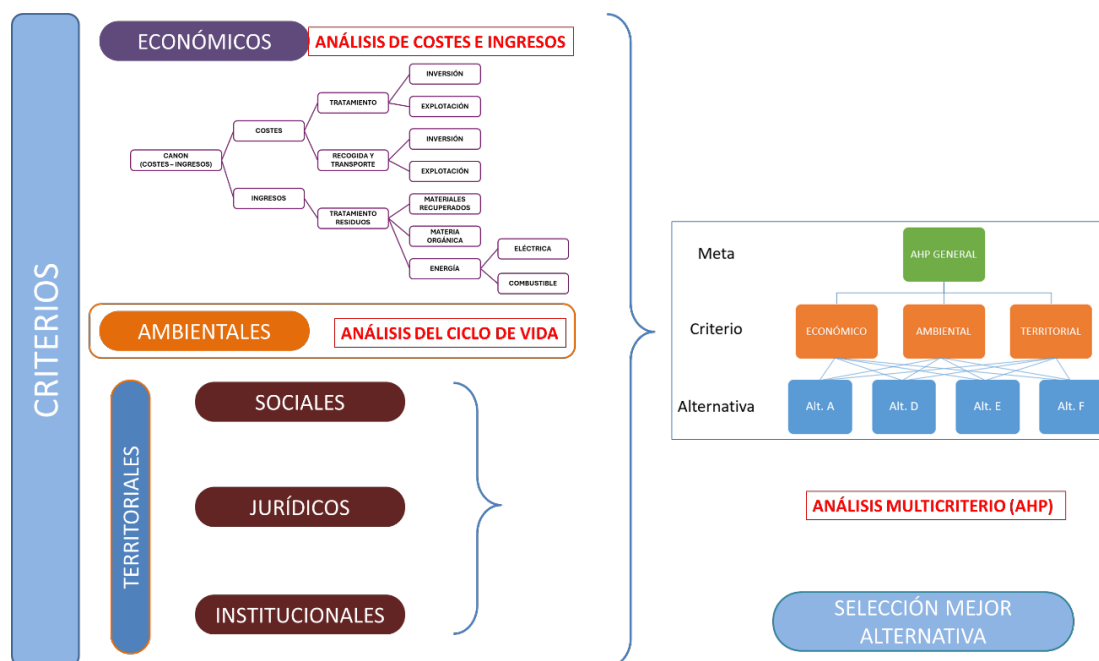


Imagen 41: Propuesta metodológica para selección de mejor alternativa.

Se propondrá como mejor solución aquella que sea mejor valorada según la ponderación de los citados criterios.

En el presente trabajo se ha optado por llevar a cabo una combinación de diferentes herramientas de decisión para conocer la mejor alternativa de una forma científica, holística y objetiva. La siguiente tabla resume las herramientas seleccionadas y la aplicación a criterios efectuada.

Tabla 51: Herramientas de decisión utilizadas y aplicación a criterios de selección.

HERRAMIENTA DE DECISIÓN	APLICACIÓN A CRITERIOS
Análisis Económico-Financiero	Criterios Económicos
Análisis del Ciclo de Vida	Criterios Ambientales
Análisis Multicriterio	Criterios Territoriales
Análisis Multicriterio Final	Todos

Para la aplicación de la metodología, en primer lugar, se analizan las distintas alternativas de recolección, transporte, tratamiento y eliminación de RSM, ya expuestas con anterioridad, y que son susceptibles de ser aplicadas en la zona de estudio.

Posteriormente se analizan los criterios que deben tenerse en cuenta a la hora de tomar la decisión de la elección de la mejor alternativa que se adapta al territorio en estudio, estos criterios son:

12.1. Definición de criterios de selección

12.1.1. Criterios Económicos

El componente económico se operacionaliza mediante el cálculo del canon de cada alternativa, obtenido a partir de un estudio económico-financiero que integra los costes de implantación



y operación y los ingresos por venta de subproductos y energía. Obtendrá la máxima puntuación la alternativa que consiga el menor canon y la menor puntuación la que arroje el canon más alto. A efectos de este estudio, se entiende el canon como la cantidad de recursos públicos por tonelada que debe aportar la administración para cerrar el círculo económico de la gestión de los Residuos Sólidos Municipales.

Dado el estado de desarrollo del proyecto, este análisis económico se entiende como un análisis de prefactibilidad financiera. Esta consideración es adecuada por tratarse de una fase en la que:

- La ingeniería está definida a nivel conceptual/básico y los costes se estiman mediante factores y ratios de referencia;
- Las señales de mercado para subproductos y CSR se toman de bandas observadas y supuestos prudentes (sin cerrar aún contratos definitivos);
- Existen elementos regulatorios y permisos en tramitación que pueden afectar la estructura de ingresos y costes;
- Persisten incertidumbres operativas (calidad del flujo, rendimientos, logística) que aconsejan modelar escenarios y sensibilidades.

En consecuencia, el canon calculado en esta etapa proporciona una base consistente para comparar alternativas y jerarquizarlas dentro del análisis multicriterio, dejando para la fase de factibilidad el refinamiento con cotizaciones vinculantes, diseños de detalle y contratos de suministro/venta (PPA, acuerdos de recepción de materiales y especificaciones comerciales).

12.1.2. Criterios Ambientales

Se aplica el método del Análisis del Ciclo de Vida (ACV) a las alternativas en estudio y el Cálculo de Huella de Carbono para los escenarios de recolección planteados, para, en función del inventario y evaluación de impactos, decidir la alternativa más respetuosa con el medio ambiente, teniendo en cuenta las emisiones de CO₂ equivalentes.

12.1.3. Criterios Territoriales

Se aplica el método del Proceso Analítico Jerárquico (AHP) a las alternativas en estudio para los escenarios de recolección planteados para decidir la alternativa más respetuosa a nivel territorial, teniendo en cuenta criterios sociales, requerimientos jurídicos y criterios institucionales.

Finalmente, se realiza un análisis AHP a nivel general, considerando las conclusiones y resultados obtenidos del análisis económico, ambiental y territorial, en el que se obtendrá la alternativa más adecuada desde el punto de vista de estos tres ámbitos.

12.2. Análisis Económico

En los siguientes apartados, se propone una fórmula diseñada para el cálculo del canon, determinado como diferencia entre los costes e ingresos que se generan en cada una de las alternativas estudiadas. Para la obtención de los ingresos, se desarrollan a su vez unas fórmulas



que cuantifican la energía producida en las alternativas que contemplan esta posibilidad, lo que permite a su vez monetizar el ingreso por este concepto.

12.2.1. Metodología para el análisis económico

El análisis económico se estructura para estimar el canon de tratamiento como diferencia entre los costes y los ingresos de cada alternativa (gate fee neto). Esta definición permite jerarquizar alternativas de gestión con un indicador homogéneo y comparable.

La fórmula base del canon es:

Ecuación 2: Fórmula abreviada de cálculo del canon.

$$CAi = C_i - I_i$$

Donde:

CAi = Canon de la Alternativa i

C_i = Costes de la Alternativa i

I_i = Ingresos de la Alternativa i

y se desagrega por **procesos/fases** para reflejar la realidad operativa de cada alternativa (tratamiento mecánico, biológico, digestión anaerobia, CSR, etc.). Así, el canon de una alternativa resulta del **sumatorio de costes e ingresos de sus procesos unitarios** (

Ecuación 3). Este enfoque por procesos evita solapes, facilita la trazabilidad de hipótesis y permite adaptar el modelo a configuraciones tecnológicas diferentes.

Ecuación 3. Desarrollo de ecuación de canon en procesos de tratamiento de cada alternativa.

$$CAi = \sum^n C_n - \sum^n I_n$$

12.2.1.1. Costes

En coherencia con la práctica de ingeniería económica, el **coste de cada proceso** (

Ecuación 4) se descompone en **costes de inversión** (amortizaciones anuales de obra civil y maquinaria) (

Ecuación 5) y **costes de explotación**, estos últimos detallados en: **personal, mantenimiento y conservación, gestión (consumos y servicios), financieros y estructura (gastos generales, beneficio industrial y know-how)** (Ecuación 6). Cuando no se dispone de partidas desagregadas, varios de estos conceptos se **estiman como porcentajes** de la inversión o de la suma de costes previos, lo que permite mantener consistencia entre procesos y tecnologías.



Finalmente, para obtener **valores unitarios por tonelada**, los sumatorios se **normalizan por la generación anual tratada 1/G**

Ecuación 4. Fórmula de cálculo de costes de cada proceso de tratamiento.

$$C_n = C_{inv} + C_{exp}$$

Donde:

C_n = Costes del proceso n

C_{inv} = Costes de inversión del proceso n

C_{exp} = Costes de explotación del proceso n

12.2.1.1.1. Costes de inversión

Los **costes de inversión** de cada línea o proceso de tratamiento considerado se calculan a partir de la siguiente expresión:

Ecuación 5. Fórmula de cálculo de costes de inversión de cada proceso de tratamiento.

$$C_{inv} = \left[\frac{In_{toc}}{P_{toc}} + \frac{In_{mp}}{P_{mp}} + \frac{In_{mex}}{P_{mex}} \right] * \frac{1}{G} = [A_{toc} + A_{mp} + A_{mex}] * \frac{1}{G}$$

Donde:

In_{toc} = Inversión en terrenos y obra civil del proceso n (COP)

In_{mp} = Inversión en maquinaria de planta del proceso n (COP)

In_{mex} = Inversión en maquinaria de explotación del proceso n (COP)

P_x = Periodos de amortización de toc, mp y mex del proceso n (años)

A_{toc} = Costes de amortización en terrenos y obra civil del proceso n (COP/año)

A_{mp} = Costes de amortización en maquinaria de planta del proceso n (COP/año)

A_{mex} = Costes de amortización en maquinaria de explotación del proceso n (COP/año)

G = Toneladas de residuo tratadas anualmente en la instalación (25.500 Tn/año).

En el presente cálculo de costes no se han considerado inversiones ni amortizaciones relacionadas con la adquisición de terreno, ya que se cuenta con superficie disponible dentro de las instalaciones existentes. La ubicación y extensión de dicha superficie han sido previamente determinadas dentro de los límites del relleno sanitario de terrazas del Porvenir en la actividad 1.

Los periodos de amortización empleados en este estudio (20, 15 y 12 años) responden a la naturaleza y vida útil esperada de los diferentes componentes de las plantas de tratamiento

de residuos, de acuerdo con criterios de ingeniería, referencias sectoriales y prácticas habituales en proyectos de infraestructura ambiental.

- **20 años para terrenos y obra civil:** Corresponde a la vida útil de edificaciones, naves, cimentaciones y urbanización interior, cuya durabilidad se extiende en el tiempo y requiere únicamente mantenimientos periódicos. Este valor es coherente con las recomendaciones internacionales para infraestructuras industriales pesadas y con la normativa contable aplicable a obras civiles de larga duración.
- **15 años para maquinaria de proceso:** Refleja la vida útil estimada de equipos de clasificación, tromeles, cabinas de triaje, cintas transportadoras, sistemas eléctricos y de control, entre otros. Estos equipos presentan un ciclo de renovación intermedio, condicionado por la intensidad de uso, la obsolescencia tecnológica y las necesidades de actualización para mantener niveles adecuados de eficiencia y seguridad.
- **12 años para maquinaria de explotación:** Se aplica a vehículos, cargadoras, manipuladores telescópicos, carretillas y demás equipos móviles, cuyo desgaste es más rápido debido al uso intensivo y a las condiciones de operación en entornos exigentes. Este horizonte es consistente con la práctica contable para equipos móviles y garantiza la reposición oportuna antes de que su deterioro afecte a la operatividad del sistema.

En conjunto, estos plazos de amortización permiten reflejar de manera realista la vida económica de los activos, asegurando que los costes anuales asignados a cada línea de tratamiento se ajusten a su ciclo operativo y a las exigencias de renovación tecnológica del sector.

12.2.1.1.2. Costes de explotación

Ecuación 6. Fórmula de cálculo de costes de explotación de cada proceso de tratamiento.

$$C_{exp} = C_p + C_{mq} + C_g + C_F + C_{est}$$

Donde:

C_p = Costes de personal del proceso n (COP/año)

C_{mq} = Costes de mantenimiento y conservación maquinaria del proceso n (COP/año)

C_g = Costes de gestión del proceso n (COP/año)

C_F = Costes financieros (COP/año)

C_{est} = Costes de estructura (COP/año)

A continuación, se presentan las expresiones empleadas para cuantificar cada uno de estos conceptos, acompañadas de una breve explicación de su alcance y modo de aplicación.

12.2.1.1.2.1. Costes de personal

Los costes de personal recogen la **remuneración del personal necesario para operar las distintas líneas de tratamiento**, incluyendo salarios, cargas sociales y demás conceptos



laborales asociados. Su estimación depende del número de puestos asignados, la categoría profesional y el régimen de turnos requerido en la planta.

El cálculo se realiza mediante la

Ecuación 7, como la sumatoria de los costes salariales anuales por categoría, multiplicados por el número de operarios correspondientes, normalizado por la capacidad de tratamiento.

Ecuación 7. Fórmula de cálculo de costes de personal de cada proceso de tratamiento.

$$C_p = \frac{1}{G} * \sum (\alpha_y * p_y)$$

Donde:

α_y = N° de trabajadores por categoría por cada proceso n (uds)

p_y = Costes salariales por categoría de cada proceso (COP/año)

Los costes salariales se han estimado a partir de la información suministrada por COSERVICIOS S.A. E.S.P., que incluye cargos y niveles salariales vigentes. Para cargos del proyecto que no existen actualmente en la estructura interna, se establecieron **equivalencias con puestos de funciones homólogas**, a fin de garantizar coherencia con las tareas previstas. El tamaño de la plantilla se ha dimensionado de acuerdo con las necesidades operativas de cada línea de tratamiento y su régimen de trabajo. En la estimación se ha considerado la presencia de un **jefe de unidad**, imputado al tratamiento mecánico (TM), dado que esta línea constituye el **denominador común** de todas las configuraciones tecnológicas evaluadas. Su rol es supervisar integralmente las operaciones, coordinar al personal y garantizar la comunicación con la gerencia.

La asignación de personal por línea se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 52. Asignación de personal por línea de tratamiento.

Línea	Jefe de unidad	Operario planta	Auxiliar de planta
TM	1	2	12
TB	–	1	4
DA	–	1	2
CSR	–	1	2

Justificación de la asignación por línea:

Tratamiento Mecánico (TM):

- Operarios de planta: 2 encargados de la operación directa de tromeles, cabinas de triaje, prensas y sistemas de transporte.
- Auxiliares de planta: 12 operarios-auxiliares apoyan en la clasificación manual de residuos, mantenimiento básico de equipos y operaciones de carga/descarga en cintas y cabinas. El número elevado responde a la intensidad de mano de obra requerida en el triaje.



- Jefe de unidad: 1 responsable de la coordinación general, control de operación, supervisión del personal y reporte a la gerencia.

Tratamiento Biológico (TB):

- Operario de planta: 1 encargado de la gestión del sistema de compostaje, volteadoras y monitoreo de parámetros (temperatura, humedad).
- Auxiliares de planta: 4 operarios que apoyan en la recepción de la fracción orgánica, manejo de pilas, adición de estructurantes y control de procesos.

Digestión Anaerobia (DA):

- Operario de planta: 1 supervisor la alimentación de digestores, control de caudales y parámetros operativos de los motores generadores.
- Auxiliares de planta: 2 operarios que apoyan en la carga de material, limpieza de equipos y operaciones rutinarias en la zona de digestores y de tratamiento de digestato.

Combustible Sólido Recuperado (CSR):

- Operario de planta: 1 operario responsable de la operación de trituradoras, separadores y prensa hidráulica.
- Auxiliares de planta: 2 operarios que realizan apoyo en alimentación de equipos, clasificación de materiales y acondicionamiento de producto final.

Con esta estructura de personal se asegura la continuidad operativa de las líneas, la cobertura de tareas críticas y el cumplimiento de requisitos de seguridad y calidad del proceso.

12.2.1.1.2.2. Costes de mantenimiento y conservación de maquinaria:

Representan los gastos destinados a mantener en condiciones óptimas los equipos del proceso, asegurando su fiabilidad, seguridad y continuidad operativa. Estos costes abarcan una serie de actividades recurrentes, entre las que destacan:

- **Mantenimiento preventivo**, que incluye revisiones periódicas, lubricación de componentes, calibraciones, ajustes y sustitución programada de piezas de desgaste.
- **Mantenimiento correctivo**, derivado de averías o fallos puntuales, que implica reparaciones, sustitución de repuestos y contratación de servicios técnicos especializados.
- **Mantenimiento predictivo**, basado en el seguimiento de parámetros operativos (vibraciones, consumos energéticos, temperaturas) para anticipar fallos y optimizar los tiempos de parada.
- **Conservación general**, como limpieza de instalaciones, pintura protectora, reacondicionamiento de superficies y renovación de consumibles.

El cálculo de estos costes se realiza normalmente como un porcentaje de la inversión en maquinaria (Ecuación 8).

Ecuación 8. Fórmula de cálculo de costes de mantenimiento y conservación de maquinaria de cada proceso de tratamiento.

$$C_{mq} = \frac{1}{G} * \beta * (In_{mp} + In_{mex})$$

Donde:

β = Coeficiente de mantenimiento y conservación de maquinaria (%).

La literatura técnica especializada sitúa este coeficiente entre el 5 % y el 10 % anual, en función de la complejidad tecnológica y el nivel de desgaste asociado al tratamiento de residuos. Valores bajos (≈ 5 %) suelen aplicarse a instalaciones con bajo grado de mecanización, mientras que valores altos (≈ 10 %) se asocian a sistemas altamente automatizados y con mayor desgaste mecánico.

En este estudio se ha adoptado un coeficiente del 8 %, por considerarse representativo de instalaciones de tratamiento mecánico-biológico y valorización de residuos que presentan:

- Alta intensidad de operación en equipos críticos (tromeles, cintas, cabinas de triaje, prensas, volteadoras).
- Necesidad de asegurar un stock permanente de repuestos y consumibles para minimizar paradas.
- Complejidad creciente en sistemas eléctricos, de control y aspiración, que requieren servicios técnicos especializados.
- Condiciones de operación exigentes (alto nivel de abrasión, humedad, materiales heterogéneos).

La adopción de este valor intermedio garantiza una cobertura adecuada de los costes reales de mantenimiento, evitando tanto la infraestimación —que podría comprometer la fiabilidad de los equipos— como la sobrestimación, que sobredimensionaría los costes de operación y distorsionaría el análisis económico.

12.2.1.1.2.3. Costes de gestión

Los costes de gestión recogen los **gastos asociados al funcionamiento ordinario de las plantas**, vinculados directamente al nivel de actividad y al uso de infraestructuras y equipos. Incluyen tanto consumos como servicios auxiliares, indispensables para mantener la operación en condiciones seguras, eficientes y conformes con la normativa.

Entre los principales conceptos que se agrupan en esta partida destacan:

- **Consumos energéticos:** electricidad para sistemas de clasificación, ventilación, aspiración, bombeo de lixiviados y cogeneración auxiliar en el caso de la digestión anaerobia.
- **Consumo de agua:** utilizada en limpieza de equipos, procesos de compostaje y en servicios generales (sanitarios, oficinas, vestuarios).



- **Reactivos y aditivos:** productos químicos o biológicos necesarios para el acondicionamiento de lixiviados, el control de olores, la higienización del digestato o la mejora de procesos de compostaje.
- **Otros consumibles:** lubricantes, repuestos menores de uso recurrente, filtros y elementos auxiliares de operación.
- **Servicios auxiliares:** gestión de residuos secundarios, monitoreo ambiental, seguros operativos, asistencia técnica externa y servicios de apoyo logístico.

El cálculo se realiza de acuerdo con la Ecuación 9, que relaciona los costes de gestión con la inversión instalada:

Ecuación 9. Fórmula de cálculo de costes de gestión de cada proceso de tratamiento.

$$C_g = \gamma * C_{inv}$$

Donde:

γ = Coeficiente de costes de gestión (%)

La literatura técnica especializada sitúa este coeficiente en un rango del **10 % al 20 % de la inversión**, dependiendo de factores como:

- **Complejidad tecnológica:** procesos con alto grado de automatización, numerosos equipos eléctricos y sistemas de control presentan mayores requerimientos energéticos.
- **Intensidad de consumos:** el tratamiento de la fracción orgánica (TB y DA) demanda mayores volúmenes de agua, aireación y reactivos, frente a plantas mecánicas más centradas en separación física.
- **Condiciones operativas locales:** disponibilidad de agua, costos unitarios de energía eléctrica y precios de insumos inciden directamente en este valor.
- **Nivel de exigencia ambiental:** instalaciones con sistemas avanzados de tratamiento de emisiones (biofiltros, lavadores de gases, plantas de lixiviados) presentan costes de gestión más elevados.

En este estudio se ha adoptado un coeficiente del **17 %**, por ser un valor **intermedio-alto dentro del rango** que:

- Refleja de manera realista la **intensidad de consumos energéticos y químicos** propia de instalaciones de tratamiento de residuos con múltiples líneas tecnológicas.
- Garantiza un **enfoque conservador**, evitando infraestimaciones que puedan comprometer la viabilidad económica.
- Es consistente con referencias sectoriales de proyectos de tratamiento mecánico-biológico y digestión anaerobia en contextos similares, donde se reportan valores promedio entre el 15 % y el 18 %.

De esta forma, el coeficiente seleccionado asegura una cobertura adecuada de los **costes recurrentes de operación**, manteniendo coherencia con los criterios de dimensionamiento aplicados al resto de partidas económicas del estudio.

12.2.1.1.2.4. Costes financieros

Los costes financieros corresponden a los **gastos derivados de la financiación del proyecto**, fundamentalmente intereses y cargos asociados al capital utilizado para cubrir las inversiones iniciales en terrenos, obra civil y maquinaria. Su cálculo se realiza habitualmente como un **porcentaje de la inversión**, lo que permite reflejar de manera simplificada el coste medio de los recursos financieros aplicados al proyecto.

La estimación se formula mediante la Ecuación 10:

Ecuación 10. Fórmula de cálculo de costes financieros de cada proceso de tratamiento.

$$C_F = \omega * C_{inv}$$

Donde:

ω = Coeficiente de costes financieros (%)

Estos costes incluyen, de manera general:

- **Intereses de deuda:** derivados de créditos bancarios, préstamos de entidades multilaterales o emisiones de deuda.
- **Cargos financieros adicionales:** comisiones de apertura, gastos de estructuración, seguros asociados al financiamiento.
- **Coste de oportunidad del capital propio:** cuando parte de la inversión se cubre con recursos propios, se considera un rendimiento exigido mínimo al capital invertido.

La literatura técnica y los estudios de viabilidad en instalaciones de tratamiento de residuos sitúan este coeficiente entre el **3 % y el 7 %**, en función de las condiciones de mercado y del perfil de riesgo del proyecto.

En el contexto colombiano, este rango es coherente con:

- Las **tasas de interés de referencia** (DTF, IBR) que oscilan entre el 7 % y el 12 % en términos nominales anuales, dependiendo del ciclo económico y la política monetaria del Banco de la República.
- Las **condiciones de financiación de proyectos de infraestructura pública y de servicios públicos domiciliarios**, donde es común acceder a esquemas de crédito de mediano y largo plazo con tasas ajustadas al riesgo y al respaldo institucional.
- La posibilidad de contar con **apoyo de banca multilateral o fondos de cooperación internacional**, que suelen ofrecer condiciones más favorables, reduciendo el coste financiero efectivo frente al mercado local.



En este estudio se ha adoptado un **coeficiente del 5 %**, considerado **representativo y prudente**, ya que:

- Se ubica en el centro del rango de referencia internacional y nacional.
- Permite reflejar un **coste medio de financiación realista** sin sobrecargar el cálculo del canon tarifario.
- Introduce un **enfoque conservador**, adecuado en proyectos de residuos sólidos, donde la estabilidad de ingresos depende de la tarifa y de la continuidad del flujo de residuos.

Por tanto, la aplicación del 5 % como coeficiente financiero ofrece un equilibrio entre realismo y prudencia, asegurando que los costes de capital queden reflejados sin generar una sobreestimación que distorsione la viabilidad económica del proyecto en Colombia.

12.2.1.1.2.5. Costes de estructura

Los costes de estructura agrupan los **gastos generales de administración y gestión de la planta**, así como el **beneficio industrial** y, en su caso, pagos asociados a licencias tecnológicas, royalties o know-how. Este componente funciona como un **recargo sobre los demás costes de explotación**, reflejando la estructura organizativa y empresarial necesaria para operar el sistema de tratamiento de residuos.

Su cálculo se realiza de acuerdo con la Ecuación 11:

Ecuación 11. Fórmula de cálculo de costes de estructura de cada proceso de tratamiento.

$$C_{\text{exp}} = \delta * (C_{\text{inv}} + C_{\text{p}} + C_{\text{mq}} + C_{\text{g}} + C_{\text{F}})$$

Donde:

δ = coeficiente de costes de estructura (%)

Dentro de esta partida se incluyen conceptos como:

- **Gastos de administración general:** gestión contable, financiera y administrativa.
- **Seguros generales:** pólizas multirriesgo, responsabilidad civil, riesgos laborales.
- **Beneficio industrial o margen empresarial:** retorno asociado a la gestión privada o mixta de la instalación.
- **Asistencia técnica externa:** servicios de ingeniería, consultoría, auditorías y apoyo jurídico.
- **Licencias tecnológicas y royalties:** en caso de que la tecnología empleada requiera derechos de uso específicos.

La literatura técnica en proyectos de gestión de residuos sólidos urbanos sitúa este coeficiente en un rango del **10 % al 20 %** de los costes de explotación, en función de factores como:

- **Tamaño de la planta:** instalaciones de mayor escala diluyen los gastos estructurales, mientras que plantas medianas o pequeñas tienden a coeficientes más altos.

- **Modelo de gestión:** la gestión pública suele reflejar márgenes más ajustados, mientras que en modelos privados o concesionados se incorpora un beneficio empresarial explícito.
- **Exigencias normativas y de aseguramiento:** en contextos con mayores requerimientos de seguridad laboral y ambiental, el peso de seguros y servicios de apoyo puede elevar este coeficiente.
- **Complejidad organizativa:** proyectos que combinan varias líneas de tratamiento requieren una mayor estructura de coordinación administrativa y técnica.

En este estudio se ha adoptado un **valor del 16 %**, por considerarse:

- **Representativo** de proyectos de mediana escala con múltiples líneas de tratamiento (TM, TB, DA, CSR).
- **Conservador**, ya que se aproxima al rango alto sin llegar al 20 %, asegurando la cobertura de gastos generales y beneficios razonables sin sobredimensionar los costes.
- **Coherente con la práctica en Colombia**, donde los proyectos de servicios públicos domiciliarios incorporan beneficios empresariales regulados, en torno al 12 %-18 % en contratos de concesión y asociaciones público-privadas.

La adopción del 16% garantiza una estimación prudente y realista de los costes de estructura, reflejando la carga administrativa y empresarial propia de este tipo de instalaciones en el contexto colombiano, y asegurando consistencia con las prácticas del sector de servicios públicos.

La combinación de las distintas partidas de costes expuestas se sintetiza en la siguiente expresión general (Ecuación 12). Esta ecuación integra los componentes detallados en las ecuaciones previas y constituye la herramienta con la que se calcula el coste total asociado a cada proceso de tratamiento.

Ecuación 12. Fórmula de cálculo de los costes de cada proceso.

$$C_n = \frac{1}{G} * [(1 + \delta) * (1 + \gamma + \omega) * (A_{toc} + A_{mp} + A_{mex})] + \beta * (In_{mp} + In_{mex}) * \sum (\alpha_y * p_y)$$

De este modo, la ecuación refleja la suma de los principales costes de explotación imputables a cada proceso, garantizando una valoración homogénea y comparable entre alternativas de gestión.

12.2.1.2. Ingresos

los ingresos (Ecuación 12) se calculan como suma de: venta de materiales reciclables aprovechables, venta de subproductos (p. ej., bioestabilizado o CSR), la venta de energía eléctrica generada en el proceso de digestión anaerobia y, en su caso, subvenciones o ayudas (Ecuación 13).



Al igual que en los costes, estos ingresos se expresan por tonelada a través de la división entre la generación anual GGG. Esta desagregación permite reflejar correctamente el aprovechamiento material y energético de cada proceso y su traslación en ingresos monetarios.

Ecuación 13. Fórmula de cálculo de ingresos de cada alternativa.

$$I_i = \frac{1}{G} * \sum_{i=0}^n I_n$$

Ecuación 14. Fórmula de cálculo de ingresos por procesos de tratamiento

$$I_n = [(I_{rec} + I_{sub} + I_{en}) + I_s]$$

Donde:

I_i = Ingresos de la alternativa i (COP/año)

I_n = Ingresos del proceso n (COP/año)

I_{rec} = Ingresos por venta de material recuperable del proceso n (COP/año)

I_{sub} = Ingresos por venta de subproductos del proceso n (COP/año)

I_{en} = Ingresos por venta de energía del proceso n (COP/año)

I_s = Ingresos por subvenciones y ayudas (COP/año)

En el presente estudio se han desestimado los ingresos procedentes de subvenciones y ayudas. De igual modo, los créditos de carbono, que podrían incluirse en este apartado, no se han considerado en ninguna de las alternativas, adoptando así una postura conservadora al calcular menores ingresos

A continuación, se presentan las expresiones utilizadas para cuantificar cada una de estas partidas:

Ingresos por materiales recuperados:

Corresponden a la venta de los materiales reciclables aprovechables generados en los procesos de tratamiento (plásticos, metales, papel, cartón, entre otros). Su cálculo se realiza como el sumatorio del producto entre la cantidad recuperada de cada fracción y su respectivo precio de venta (Ecuación 15).

Ecuación 15. Fórmula de cálculo de ingresos por venta de material recuperable.

$$I_{rec} = \sum (\varphi_i * P_i)$$

Donde:



φ_i = Toneladas del material recuperado i (Toneladas)

P_i = Precio de venta por tonelada del material recuperado i (COP/Toneladas)

Los precios de venta del material recuperado han sido proporcionados por la Asociación de Recicladores ECOHORA.

Ingresos por subproductos:

Corresponden a los ingresos derivados de productos intermedios o finales distintos de los materiales reciclables, tales como el compost o el combustible sólido recuperado (CSR). Su cálculo se realiza en función de las cantidades generadas y el precio de venta de cada subproducto (Ecuación 16).

Ecuación 16. Fórmula de cálculo de ingresos por venta de subproductos.

$$I_{sub} = \vartheta * P_{sub}$$

Donde:

ϑ = Toneladas de subproducto (Toneladas)

P_{sub} = Precio de venta por tonelada de subproducto (COP/Toneladas).

Los precios de venta de los subproductos fueron suministrados por empresas especializadas en la producción de Combustible Sólido Recuperado (CSR) y en procesos de compostaje. En el caso del compost, se estableció una diferenciación de precios según su calidad: un valor menor para aquel obtenido a partir de la fracción orgánica recuperada en planta y/o proveniente de la separación en la fuente, y un valor superior para el compost derivado del digestato generado en procesos de digestión anaerobia o biometanización.

Ingresos por energía:

Los ingresos por energía corresponden a la venta de electricidad generada en procesos de digestión anaerobia (Ecuación 17). Se calcula como producto de la energía producida en cada proceso por el precio de venta de dicha energía:

Ecuación 17. Fórmula de cálculo de ingresos por venta de energía producida en cada proceso.

$$I_{en} = E * P_{en}$$

Donde:

E = Energía producida (kWh)

P_{en} = Precio de venta del kWh (COP/kWh)

Los precios de venta de energía se han tomado de fuentes oficiales del mercado colombiano.

La combinación de las distintas partidas de ingresos descritas se sintetiza en la siguiente expresión general (Ecuación 18). Esta ecuación integra los componentes detallados en las ecuaciones previas y constituye la herramienta con la que se determina el ingreso total asociado a cada proceso de tratamiento.”

Ecuación 18. Fórmula de cálculo de los ingresos de cada alternativa.

$$I_i = \frac{1}{G} * \left[\sum (\varphi_i * P_i) + \vartheta * P_{\text{sub}} \right]$$

12.2.1.3. Canon

A partir de la integración de las expresiones de costes e ingresos previamente definidas, se obtiene la formulación desarrollada del canon. La siguiente ecuación (

Ecuación 19) muestra de manera explícita la relación entre ambos componentes, constituyendo la herramienta final para calcular el canon de tratamiento en cada alternativa analizada.”

Ecuación 19. Fórmula desarrollada de cálculo del canon de cada alternativa.

$$CAi = \sum \frac{1}{G} * \left[[(1 + \delta) * (1 + \gamma + \omega) * (A_{\text{toc}} + A_{\text{mp}} + A_{\text{mex}})] + \beta * (In_{\text{mp}} + In_{\text{mex}}) \right. \\ \left. * \sum (\alpha_y * p_y) \right] * 1.19 - \sum \frac{1}{G} * \left[\sum (\varphi_i * P_i) + \vartheta * P_{\text{sub}} + E * P_{\text{en}} \right]$$

En el cálculo de los costes se aplica un factor multiplicador de 1,19, correspondiente al Impuesto sobre el Valor Añadido (IVA) vigente en Colombia en el momento de elaboración del presente estudio. Al tratarse de un servicio público gravado con un 19 %, este valor se incorpora íntegramente a los costes de explotación, dado que la planta lo debe asumir como parte del gasto real de operación.

En el caso de los ingresos no se emplea un único factor global, ya que cada partida está sujeta a un tratamiento tributario diferente. Así, los ingresos por la venta de materiales reciclados y de subproductos se consideran operaciones gravadas con el 19 %, mientras que la energía eléctrica se encuentra excluida del IVA conforme a lo dispuesto en el Estatuto Tributario. El efecto de este impuesto ya se ha considerado en el cálculo individual de cada partida, por lo que no resulta necesario aplicar un ajuste adicional sobre el total de ingresos

12.2.1.4. Costes de recolección y transporte

Además de los costes de inversión y explotación asociados a los procesos de tratamiento y a la evaluación de las distintas alternativas tecnológicas, en este estudio se han considerado de forma independiente los costes de recolección y transporte de residuos. Esta separación responde a la naturaleza diferente de ambos análisis: mientras los costes de inversión y

explotación permiten valorar económicamente cada proceso de tratamiento y, en consecuencia, cada alternativa, los costes de recolección y transporte se relacionan directamente con la planificación operativa del servicio y se evalúan en función de los escenarios definidos (0, 1, 2 y 3). De esta manera se garantiza que ambos bloques de costes sean tratados con el nivel de detalle adecuado a su función en el modelo económico.

Ecuación 20. Fórmula de cálculo de costes de recolección y transporte de cada escenario.

$$C_{RT} = C_{EM} + C_{KK}$$

Donde

C_{EM} = Costes de ejecución material

C_{KK} = Costes de know-how, gastos generales y beneficio industrial.

Los costes de ejecución material comprenden las principales partidas asociadas a la operación del servicio de recolección.

Ecuación 21. Fórmula de cálculo de costes de ejecución material para cada escenario.

$$C_{EM} = C_p + C_{amort} + C_{fin} + C_{mnt} + C_{otros}$$

donde cada término refleja los distintos conceptos de gasto identificados en la prestación del servicio.

Costes de personal (C_p): estimados a partir de las categorías y salarios vigentes proporcionados por COSERVICIOS S.A. E.S.P.

Costes de amortización y financiación ($C_{amort} + C_{fin}$): asociados a la renovación de vehículos y equipos de recolección, calculados con un horizonte de 7 años.

Costes de mantenimiento y reparaciones, combustibles y lubricantes (C_{mnt}): comprenden el funcionamiento y la operatividad de la flota de vehículos.

Otros costes (C_{otros}): incluyen el alquiler de la nave de operaciones, vestuario, seguros e impuestos de los vehículos, y campañas de concienciación.

Costes de know-how, gastos generales y beneficio industrial (C_{KK}): representan la estructura empresarial necesaria para la prestación del servicio. Incluyen tanto los gastos generales como el beneficio industrial, garantizando la cobertura de los aspectos administrativos y organizativos asociados a la recolección y transporte.

La estimación de los costes de recolección y transporte se ha realizado en función de los escenarios de planificación previamente definidos (0, 1, 2 y 3), que determinan las rutas, el personal y la maquinaria requeridos en cada caso. En todos ellos se ha considerado el relleno sanitario de Terrazas del Porvenir como punto de disposición final, en lugar del de Pigua, actualmente operativo. Para el escenario 0 esto supone la optimización de las rutas actuales, mientras que en los escenarios 1, 2 y 3 se han diseñado nuevas configuraciones logísticas tomando igualmente a Terrazas del Porvenir como referencia. Este planteamiento permite

evaluar de forma homogénea las distintas alternativas y refleja una mejora sustancial en los costes de transporte gracias a la mayor proximidad de Terrazas del Porvenir al municipio de **Sogamoso**.

Con este planteamiento, los costes de recolección y transporte se incorporan al análisis económico global de forma diferenciada pero coherente con los de inversión y explotación. De esta manera, el modelo permite valorar de forma integrada el impacto económico tanto de la gestión interna de los procesos de tratamiento como de la logística externa asociada a la prestación del servicio.

12.2.2. Fundamentación de caudales y capacidades de diseño

Este apartado vincula las cantidades iniciales de residuo con el dimensionamiento de cada instalación. A partir del balance de masas por escenario se estiman los caudales de diseño de TM, TB/DA y CSR; estas capacidades sustentan los costos de inversión y operación y permiten proyectar los productos y subproductos valorizables, de donde se derivan los ingresos. El resultado es un modelo técnico-económico coherente que justifica el canon por alternativa.

12.2.2.1. Flujos de entrada y composición

Para dimensionar las líneas de tratamiento e interpretar los costos e ingresos asociados, se adopta como año de referencia el año 2025 (año 0) ya que es el escenario más próximo a la generación real y, por tanto, el de menor incertidumbre: a medida que se proyecta hacia 2052 aumentan las variaciones potenciales en población, PPC y hábitos de separación, lo que distorsiona los caudales de diseño. Con ese criterio operativo se fija una generación total de 29.978 Ton/año (valor redondeado al alza a partir de la generación estimada de residuo 25.446 Ton/año), y se asume la composición base derivada de las caracterizaciones por estratos y grandes productores: 39,31 % de materia orgánica y 60,69 % de fracciones no orgánicas (reciclables potenciales e inertes). Este punto de partida común permite traducir la proyección en caudales de diseño coherentes para cada alternativa tecnológica (TM, TB, DA y CSR) sin depender del ritmo de despliegue de la recolección selectiva, que se analiza en capítulos específicos.

12.2.2.2. Asignación de flujos y balance de masas por línea de tratamiento

12.2.2.2.1. Tratamiento Mecánico (TM).

El Tratamiento Mecánico (TM) se dimensiona para la totalidad del residuo entrante (25.500 Ton/año). Se adopta una recuperación media de reciclables del 10,61% (aproximadamente 2.700 Ton/año de envases, papel-cartón, metales y vidrio), valor intermedio a los rangos de recuperación medios de plantas similares de España y Europa, situados entre un 8 y un 15% dependiendo de la configuración y el equipamiento de la planta, mientras que la fracción orgánica/fino extraída para tratamiento biológico se fija en el 39,31% (aproximadamente 10.000 Ton/año, conforme a la caracterización local). El rechazo mecánico es el remanente, unas 12.750 Ton/año (el 50,1% del RSM). A efectos de dimensionamiento se adopta un supuesto conservador: el TM extrae la totalidad de la fracción orgánica presente en el RSM, de modo que todo el 39,31% se deriva a tratamiento biológico (compostaje o biometanización).

Este criterio sitúa el caudal de las etapas biológicas en un máximo de diseño y, correlativamente, minimiza la orgánica que podría quedar en el rechazo; en operación real, ese caudal podría ser algo menor sin comprometer la capacidad instalada. Los tres flujos resultantes (reciclables, orgánico y rechazo) se mantienen coherentes con los rangos observados en instalaciones de este tipo en España y Europa y constituyen la base de alimentación de las etapas siguientes.

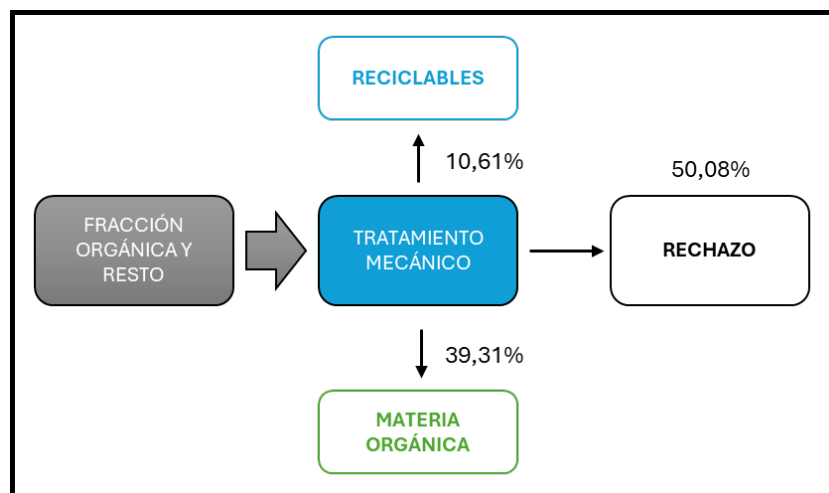


Imagen 42. Diagrama de flujo correspondiente al Tratamiento mecánico (TM).

12.2.2.2.2. Tratamiento Biológico Aeróbico (TB – compostaje).

Para el caudal orgánico de diseño se adopta el mismo criterio conservador del TM: toda la fracción orgánica/finos presentes en el RSM (39,31 % del total, aproximadamente 10.000 Ton/año) se deriva a la etapa biológica. Sobre ese caudal se aplican rendimientos internos prudentes y habituales en plantas municipales: 40 % de material compostado, 33 % de pérdidas (agua evaporada y CO₂ por mineralización) y 27 % de rechazo (impropios y no conformes). En términos absolutos, esto equivale aproximadamente a:

- Compost: 4.000 Ton/año, que representan el 15,7% del RSM.
- Pérdidas: 3.300 Ton/año, coincidente con el 12,9% del RSM.
- Rechazo: 2.700 Ton/año, aproximadamente el 10,7 % del RSM.

Estos coeficientes se sitúan dentro de los rangos operativos reportados para instalaciones de compostaje municipal en Europa (proporciones de 35–45 % de compost estable, 30–35 % de pérdidas y 20–30 % de rechazo, según configuración y control de impropios), por lo que resultan consistentes para efectos de dimensionamiento, costos e ingresos del proceso.

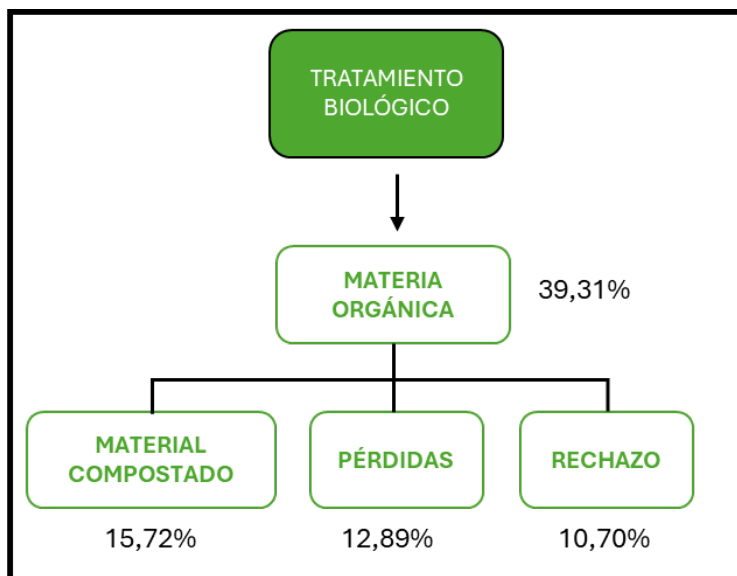


Imagen 43. Diagrama de flujo correspondiente al Tratamiento biológico (TB).

12.2.2.2.3. Producción de Combustible Sólido Recuperado (CSR).

La línea de CSR se alimenta con los rechazos generados en etapas anteriores y se dimensiona con el mismo criterio conservador aplicado al TM/TB. En el esquema TM + TB, la alimentación corresponde al rechazo del TM (12.770 Ton/año) más el rechazo del TB (2.706 Ton/año), lo que suma 15.476 Ton/año (60,7 % del RSM). Sobre esta alimentación se adopta un rendimiento de referencia 45/55 (producto/rechazo), representativo de plantas industriales con pretratamiento y control de impropios; este 45 % se sitúa dentro de los rangos habituales observados para CSR en mezclas municipales preacondicionadas (40–50 % en masa, según calidad del material, humedad y requisitos de PCI). Con ello se obtienen 6.964 Ton/año de CSR (27,3 % del RSM) y 8.512 Ton/año de rechazo (33,4 % del RSM). El rechazo remanente se destina a disposición final, mientras que el CSR se orienta a consumo industrial como sustituto parcial de combustibles fósiles, conforme se recoge en la sección económica del informe.

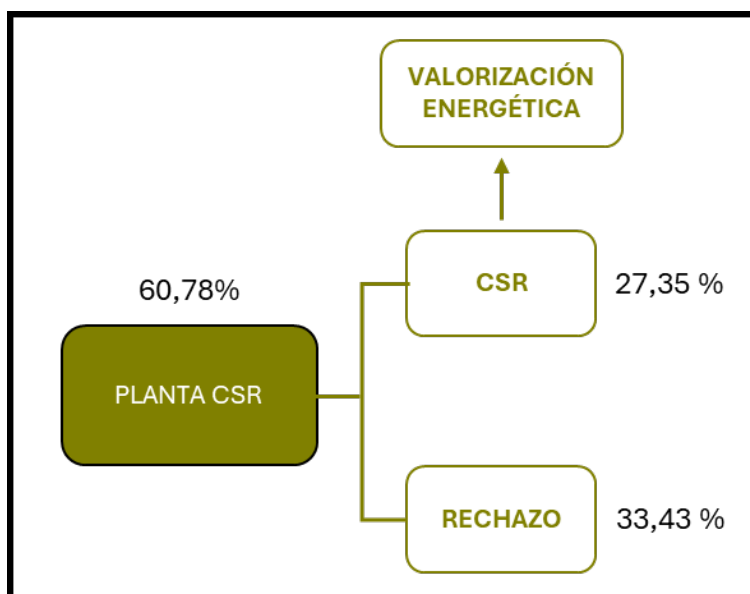


Imagen 44. Diagrama de flujo correspondiente a la producción de CSR.

12.2.2.2.4. Digestión Anaerobia (DA – biometanización).

Para el caudal orgánico de diseño se mantiene el criterio conservador: toda la fracción orgánica/finos presentes en el RSM (39,31 % del total, aproximadamente 10.000 Ton/año) se destina a digestión anaerobia. Sobre ese caudal se aplican coeficientes internos prudentes y compatibles con operación municipal: 28,5 % del orgánico como digestato compostable (material estabilizado que pasa a postratamiento aeróbico/compostaje), 48,6 % como pérdidas de proceso (fundamentalmente humedad retirada y biogás generado) y 22,9 % como rechazo (impropios y no conformes).

En términos absolutos, esto equivale aproximadamente a:

- Digestato compostable: ≈ 2.850 Ton/año, que representan $\approx 11,2$ % del RSM.
- Pérdidas de proceso (humedad + biogás producido): ≈ 4.860 Ton/año, $\approx 19,1$ % del RSM.
- Rechazo: ≈ 2.290 Ton/año, $\approx 9,0$ % del RSM.

Estos valores sitúan la instalación en un tramo operativo medio (eficiencia material del orden del 28–29 % sobre el orgánico tratado), manteniendo la viabilidad técnico-económica y la coherencia con los balances de biogás y energía utilizados en el capítulo económico. El digestato se estabiliza aeróbicamente para su uso como enmienda/compost conforme a la normativa aplicable; el rechazo se envía a disposición final.

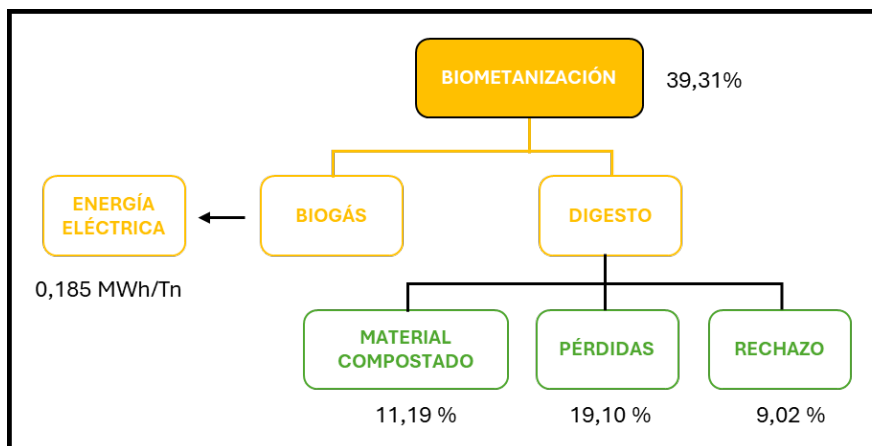


Imagen 45. Diagrama de flujo correspondiente a la Digestión Anaerobia (DA).

12.2.2.3. Capacidades nominales y útiles

Tras analizar los flujos de entrada y los porcentajes de rendimiento definidos en los apartados previos, se establecen las capacidades nominales de diseño que sirven de base para el dimensionamiento de equipos y la estimación de CAPEX/OPEX e ingresos asociados. A continuación, se presenta el cuadro resumen:

Tabla 53. Rendimientos y caudales (capacidades nominales de diseño).

Línea de tratamiento	Caudal de entrada (base de diseño)	Caudal de entrada (Ton/año)	Rendimiento Porcentajes de diseño y salidas de referencia
TM	Totalidad del RSM	≈25.500	Recuperables 10,61 %; (2.700 Ton/año) Orgánico/finos 39,31 %; (10.000 Ton/año) Rechazo ≈50,1 %, (12.750 Ton/año)
TB	Orgánico procedente del TM	≈10.000	Compost 40 %; (4.000 Ton/año) Pérdidas (H ₂ O/CO ₂) 33 %; (3.300 Ton/año) Rechazo 27 % (2.700 Ton/año)
CSR	Rechazos de TM + TB	≈15.500	Producto 45 %; (7.000 Ton/año) Rechazo 55 % (8.500 Ton/año)
DA	Orgánico procedente del TM (100 % del orgánico)	≈10.000	Digestato compostable 28,5 %; (2.700 Ton/año) Pérdidas (humedad + biogás) 48,6 %; (4.900 Ton/año) Rechazo 22,9 % (2.300 Ton/año)
RS	Rechazos finales según configuración	8.500–15.500	Dependiente de la combinación tecnológica (con o sin CSR, con TB o DA)

Las capacidades mostradas en la Tabla 53 se han calculado partiendo de la **totalidad del residuo sólido municipal generado (25.500 t/año)**, asumiendo que todo este caudal ingresa a la línea de tratamiento mecánico y que la fracción orgánica completa (39,31 %, ≈10.000 t/año) se deriva a los procesos biológicos (TB o DA).



Este planteamiento responde a un criterio **conservador y de seguridad**:

- Evita **subdimensionamientos** en caso de que la separación en la fuente o la gestión previa fuera de planta (p. ej., ≈ 2.400 t/año de orgánico directo o ≈ 8.256 t/año de reciclables tratados en ECAs) no se materialicen al nivel esperado.
- Asegura que las instalaciones dispongan de un **margen suficiente de capacidad** para absorber variaciones en la generación, estacionalidad o cambios en los hábitos de separación.
- Mantiene la **comparabilidad entre alternativas** tecnológicas, al aplicar un mismo punto de partida y los mismos porcentajes de rendimiento de referencia.

En la práctica, estos flujos externos reducen el **caudal efectivo tratado en planta**, lo que se traduce en menores consumos y costes variables de operación. No obstante, las **capacidades nominales y rendimientos de referencia permanecen inalterados**, ya que constituyen la base técnica y económica del proyecto y aseguran la coherencia de los balances de masa y energía con el análisis económico.

12.2.2.4. Desglose de costes por línea de tratamiento

De acuerdo con el marco general de diseño de las plantas de tratamiento de residuos presentado en el apartado 11, cada tipología tecnológica (TM, TB, DA y CSR) fue descrita en cuanto a sus infraestructuras generales, maquinaria de proceso y equipos de explotación. Esa caracterización técnica constituye la base sobre la que se estiman los costes de inversión y operación de cada línea, asegurando consistencia entre los criterios de diseño y la modelación económica posterior.

En este apartado se presenta, por tanto, el desglose detallado de costes asociados a cada planta, diferenciando las partidas de inversión en terrenos y obra civil, inversión en maquinaria de proceso y de explotación, así como los costes de amortización correspondientes. Esta desagregación permite trazar una relación directa entre los elementos constructivos y operativos definidos anteriormente y su impacto económico, aportando transparencia y facilitando la comparabilidad entre tecnologías.



Tabla 54. Desglose de costes de inversión de planta de tratamiento mecánico (TM).

Conceptos		COSTES
		TM
	Movimiento de tierras y adecuación Terreno	2.113.065.000,00 COP
	Cimentación y estructura de la nave recep/pre.	3.521.775.000,00 COP
	Cerramientos y cubierta	2.066.108.000,00 COP
	Urbanización interior y redes	1.549.581.000,00 COP
	Fosos, muelles y losas de equipo	2.160.022.000,00 COP
	Subdivisión de Oficinas, vestuarios	1.220.882.000,00 COP
	Bascula: Obra civil y caseta	422.613.000,00 COP
	Centro de Transformación. Obra civil	328.699.000,00 COP
	Protección contra incendios	422.613.000,00 COP
	Gestión de materiales e infraestructuras menores	281.742.000,00 COP
Itoc	<i>Inversión en terrenos y obra civil del proceso</i>	14.087.100.000,00 COP
Ptoc	Periodo de amortización inversión en terrenos y obra civil	20,00
Atoc	<i>Costes de amortización en terrenos y obra civil del proceso</i>	704.355.000,00 COP
	Sistema eléctrico de control	563.484.000,00 COP
	Tromel	1.981.585.400,00 COP
	Cabinas de Triage	2.160.022.000,00 COP
	Transporte (cintas/tolvas/transferencias)	4.047.693.400,00 COP
	Presa embaladora	1.418.101.400,00 COP
	Aspiración y filtración	2.638.983.400,00 COP
	Aire comprimido	1.080.011.000,00 COP
	Basculante Puente	2.113.065.000,00 COP
	Recambios de operaciones	713.746.400,00 COP
Imp	<i>Inversión en maquinaria de planta del proceso</i>	16.716.692.000,00 COP
Pmp	Periodo de amortización inversión en maquinaria de planta del proceso	15,00
Amp	<i>Costes de amortización en maquinaria de planta del proceso</i>	1.114.446.133,33 COP
	Manipulador telescópico	563.484.000,00 COP
	Cargadora sobre ruedas	845.226.000,00 COP
	Carretilla elevadora	281.742.000,00 COP
	Miniexcavadora/Martillo	281.742.000,00 COP
	Camión ligero de caja abierta	211.306.500,00 COP
	Implementos y accesorios	93.914.000,00 COP
	Taller móvil y herramientas	70.435.500,00 COP
Imex	<i>Inversión en maquinaria de explotación del proceso</i>	2.347.850.000,00 COP
Pmex	Periodo de amortización inversión n	12,00
Amex	<i>Costes de amortización en maquinaria de explotación del proceso</i>	195.654.166,67 COP
Cinv	<i>Costes de inversión del proceso</i>	2.014.455.300,00 COP



Tabla 55. Desglose de costes de inversión de planta de tratamiento biológico (TB).

Conceptos		COSTES
		TB
	Movimiento de tierras y adecuación Terreno	1.643.495.000,00 COP
	Cimentación y estructura de la nave recep/pret.	5.071.356.000,00 COP
	Cerramientos y cubierta	1.267.839.000,00 COP
	Urbanización interior y redes	892.183.000,00 COP
	Fosos, muelles y losas de equipo	192.523.700,00 COP
	Subdivisión de Oficinas, vestuarios	727.833.500,00 COP
	Bascula: Obra civil y caseta	277.046.300,00 COP
	Centro de Transformación. Obra civil	281.742.000,00 COP
	Protección contra incendios	422.613.000,00 COP
	Gestión de materiales e infraestructuras menores	516.527.000,00 COP
	Instalación Gestión Lixiviados	446.091.500,00 COP
Itoc	<i>Inversión en terrenos y obra civil del proceso</i>	11.739.250.000,00 COP
Ptoc	Periodo de amortización inversión en terrenos y obra civil	20,00
Atoc	<i>Costes de amortización en terrenos y obra civil del proceso</i>	586.962.500,00 COP
	Sistema electrico de control	563.484.000,00 COP
	Tromel	986.097.000,00 COP
	Cabinas de Triaje	1.925.237.000,00 COP
	Transporte (cintas/tolvas/transferencias)	3.028.726.500,00 COP
	Aspiracion y filtración	2.160.022.000,00 COP
	Aire comprimido	140.871.000,00 COP
	Recambios de operaciones	610.441.000,00 COP
	Planta Gestión Lixiviados (bombas/conducciones)	446.091.500,00 COP
	Sistema de Transporte interno	375.656.000,00 COP
Imp	<i>Inversión en maquinaria de planta del proceso</i>	10.236.626.000,00 COP
Pmp	Periodo de amortización inversión en <i>maquinaria de planta del proceso</i>	15,00
Amp	<i>Costes de amortización en maquinaria de planta del proceso</i>	682.441.733,33 COP
	Vehiculo auxiliar	117.392.500,00 COP
	Manipulador telescópico	563.484.000,00 COP
	Cargadora sobre ruedas	845.226.000,00 COP
	Implementos y accesorios	93.914.000,00 COP
	Taller movil y herramientas	70.435.500,00 COP
	Volteadora de compos	657.398.000,00 COP
Imex	<i>Inversión en maquinaria de explotación del proceso</i>	2.347.850.000,00 COP
Pmex	Periodo de amortización inversión n	12,00
Amex	<i>Costes de amortización en maquinaria de explotación del proceso</i>	195.654.166,67 COP
Cinv	<i>Costes de inversión del proceso</i>	1.465.058.400,00 COP



Tabla 56. Desglose de costes de inversión de planta de digestión anaerobia (DA).

Conceptos		COSTES
		DA
	Movimiento de tierras y adecuación Terreno	1.643.495.000,00 COP
	Cimentación y estructura de la nave recep/pret.	1.972.194.000,00 COP
	Digestor: Obra civil	3.310.468.500,00 COP
	Tanque almacenamiento digestato	568.179.700,00 COP
	Cerramientos y cubierta	375.656.000,00 COP
	Urbanización interior y redes	563.484.000,00 COP
	Subdivisión de Oficinas, vestuarios	234.785.000,00 COP
	Bascula: Obra civil y caseta	277.046.300,00 COP
	Instalación Gestión Lixiviados	446.091.500,00 COP
Itoc	Inversión en terrenos y obra civil del proceso	9.391.400.000,00 COP
Ptoc	Periodo de amortización inversión en terrenos y obra civil	20,00
Atoc	Costes de amortización en terrenos y obra civil del proceso	469.570.000,00 COP
	Pretratamiento y homogeneización	3.427.861.000,00 COP
	Equipo de Bombeo y mezcladores	1.972.194.000,00 COP
	Digestores anaerobios. Equipos	8.546.174.000,00 COP
	Cogeneración biogás	5.536.230.300,00 COP
	Tratamiento digestato	3.052.205.000,00 COP
	Antorcha	375.656.000,00 COP
	Grupo generador	1.643.495.000,00 COP
	Soplante	281.742.000,00 COP
	Regulación Gas	305.220.500,00 COP
	Sistema eléctrico de control	403.830.200,00 COP
	Transporte (cintas/tolvas/transferencias)	1.526.102.500,00 COP
	Aspiración y filtración	586.962.500,00 COP
	Aire comprimido	140.871.000,00 COP
	Recambios de operaciones	375.656.000,00 COP
Imp	Inversión en maquinaria de planta del proceso	28.174.200.000,00 COP
Pmp	Periodo de amortización inversión en <i>maquinaria de planta del proceso</i>	15,00
Amp	Costes de amortización en maquinaria de planta del proceso	1.878.280.000,00 COP
	Vehículo auxiliar	117.392.500,00 COP
	Cargadora sobre ruedas	399.134.500,00 COP
	Carretilla elevadora	117.392.500,00 COP
	Taller móvil y herramientas	70.435.500,00 COP
Imex	Inversión en maquinaria de explotación del proceso	704.355.000,00 COP
Pmex	Periodo de amortización inversión n	12,00
Amex	Costes de amortización en maquinaria de explotación del proceso	58.696.250,00 COP
Cinv	Costes de inversión del proceso	2.406.546.250,00 COP



Tabla 57. Desglose de costes de inversión de planta de producción de CSR (CSR).

Conceptos		COSTES
		CSR
	Movimiento de tierras y adecuación Terreno	1.643.495.000,00 COP
	Cimentación y estructura de la nave recep/pretr.	2.770.463.000,00 COP
	Viales, muelles de carga y redes básicas	1.648.190.700,00 COP
	Zona de Proceso. Obra civil	2.113.065.000,00 COP
	Cerramientos y cubierta	117.392.500,00 COP
	Subdivisión de Oficinas, vestuarios	117.392.500,00 COP
	Bascula: Obra civil y caseta	277.046.300,00 COP
	Centro de Transformación. Obra civil	281.742.000,00 COP
	Protección contra incendios	422.613.000,00 COP
Itoc	Inversión en terrenos y obra civil del proceso	9.391.400.000,00 COP
Ptoc	Periodo de amortización inversión en terrenos y obra civil	20,00
Atoc	Costes de amortización en terrenos y obra civil del proceso	469.570.000,00 COP
	Triturador Primario	422.613.000,00 COP
	Triturador Secundario/refinador	657.398.000,00 COP
	Sistema de Cribado y Separación	375.656.000,00 COP
	Transporte (cintas/tolvas/transferencias)	281.742.000,00 COP
	Presa embaladora	328.699.000,00 COP
	Aspiración y filtración	187.828.000,00 COP
	Aire comprimido	93.914.000,00 COP
Imp	Inversión en maquinaria de planta del proceso	2.347.850.000,00 COP
Pmp	Periodo de amortización inversión en maquinaria de planta del proceso	15,00
Amp	Costes de amortización en maquinaria de planta del proceso	156.523.333,33 COP
	Vehículo auxiliar	46.957.000,00 COP
	Cargadora sobre ruedas	399.134.500,00 COP
	Carretilla elevadora	117.392.500,00 COP
	Camión ligero de caja abierta	211.306.500,00 COP
	Taller móvil y herramientas	70.435.500,00 COP
Imex	Inversión en maquinaria de explotación del proceso	845.226.000,00 COP
Pmex	Periodo de amortización inversión n	12,00
Amex	Costes de amortización en maquinaria de explotación del proceso	70.435.500,00 COP
Cinv	Costes de inversión del proceso	696.528.833,33 COP

12.2.2.5. Productos y subproductos

A partir de la composición media por estratos definida en la Actividad 2 y tomando como caudal de diseño **25.500 Ton/año** (año 0), se estiman los productos recuperables en la etapa de Tratamiento Mecánico (TM). Los porcentajes de captura aplicados se sitúan en rangos habituales de plantas de selección en España y Europa y se han trasladado al total de entrada para obtener cantidades anuales. Con esta hipótesis, los envases ligeros plásticos y multicapa (EELL) alcanzan un 3,23 % de la masa tratada, lo que equivale a 824 Ton/año. El papel y cartón



se recupera en un 2,90 %, es decir 740 Ton/año; el vidrio en un 3,20 % (816 Ton/año); la chatarra ferrosa en un 0,19 % (48 Ton/año); y la chatarra no ferrosa en un 1,08 % (275 Ton/año). En conjunto, la recuperación de materiales reciclables representa 2.706 Ton/año.

Estos rendimientos se han fijado con criterio conservador para reflejar condiciones reales de operación: calidad y estabilidad del flujo, humedad, grado de impropios y configuración tecnológica (separación balística, ópticos, imanes y corrientes de Foucault, entre otros). El resultado proporciona una base robusta para el dimensionamiento económico: por un lado, define los productos susceptibles de venta a mercado (EELL plásticos y multicapa por calidades, papel-cartón, vidrio, chatarras férricas y no férricas) y, por otro, acota los subproductos y fracciones no conformes que permanecen en el rechazo mecánico y que alimentan las líneas posteriores (tratamiento biológico, CSR o disposición final, según la alternativa evaluada).

En síntesis, la combinación de la composición base (25.500 Ton/año; 39,31 % de materia orgánica total) y las eficiencias de captura adoptadas permite justificar las cantidades anuales de materiales valorizables asociadas al TM y, por extensión, sustentar los ingresos vinculados a su comercialización en el análisis económico del proyecto.

12.2.2.6. Generación de energía

A efectos del modelo, la electricidad se genera exclusivamente a partir de la **digestión anaerobia (DA)** de la fracción orgánica. Para garantizar que los resultados sean trazables y comparables, la formulación se realiza con ecuaciones homogéneas, expresadas en MWh/año (empleando la conversión 1 MWh = 3.600 MJ). Los parámetros adoptados son conservadores y se sitúan dentro de los rangos técnicos habituales, expresados siempre por tonelada de residuo gestionado.

Energía potencial a partir de Digestión Anaerobia: La energía eléctrica potencial obtenida a partir de la digestión anaerobia de la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales se calcula mediante la siguiente expresión:

Ecuación 22. Potencial de generación de energía eléctrica a partir de digestión anaerobia

$$E_{DA} = P_C * R_{AR} * F * M_{DA} * Q * \eta$$

Donde:

E_{DA} = Energía potencial a partir de la digestión anaerobia (MJ)

F = Fracción másica de orgánicos en el RSM (adoptada 0,3931, es decir 39,31 %).

M_{DA} = Ratio de generación de metano de la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales (Toneladas), con valores típicos en el rango $67.5 \leq M_{DA} \leq 122$

η = Rendimiento de transformación del biogás en electricidad, que en este caso se adopta como 0,26 para motores de combustión interna, considerando además el descuento del autoconsumo de la planta.

12.2.2.1. Justificación de precios y supuestos de valoración

Todos los precios se entienden **FOB planta**, es decir, precio en puerta de planta: el comprador retira en la instalación del vendedor y el valor no incluye transporte, carga externa ni aplicación en campo. Las cantidades y calidades se refieren a materiales recuperados en líneas TM/TA, por lo que incorporan los descuentos operativos habituales por humedad, impropios y granulometría. En productos orgánicos se adopta un criterio conservador de arranque (antes de certificaciones y posicionamiento comercial), mientras que en CSR y energía la valoración se ancla a la paridad energética frente a carbón (véase apartado 8.3 y 8.4) y a ingresos contratados mediante PPA (**Power Purchase Agreement**, contrato de compra de energía a plazo con precio y condiciones pactadas), conforme al enfoque del Apartado 8.4. Con estas premisas, la tabla refleja un escenario prudente y defendible coherente con el marco técnico-comercial del Apartado 7.

Materiales valorizables inorgánicos (TM). Los precios asignados a envases ligeros (EELL), papel-cartón, vidrio, chatarra férrea y no férrea provienen directamente de la **Asociación de Recicladores ECOHORA** y corresponden a precios reales y vigentes de mercado local, en condición FOB planta para materiales recuperados en TM/TA. Al tratarse de referencias suministradas por el actor con mayor tracción comercial en la zona, se adoptan sin ajuste adicional y se consideran representativas del mix y calidad propios de estas líneas (con los descuentos por humedad e impropios que ya contempla la operativa). Esta decisión es consistente con el Apartado 7, que prioriza precios observados en plaza frente a estimaciones teóricas y usa estas referencias como base conservadora para el flujo de ingresos del TM.

Productos orgánicos (TB y DA). Los importes de 24.000 COP/Ton para el material procedente de Tratamiento Biológico y 36.000 COP/Ton para el digerido de DA se formulan como precios de salida mínimos (“precio sombra”) propios de una fase inicial en la que el material aún no está posicionado como compost agrícola con registro (ICA/NTC 5167) ni como bioestabilizado B-REST con especificación para posclausura. Es coherente con los apartados 8.1 (bioestabilizado categoría B, uso no agrícola) y 8.2 (compost agrícola), donde se documentan rangos de mercado superiores para productos acreditados. Hasta completar trámites, analíticas por lote y posicionamiento, estos valores reflejan colocación local/uso interno y evitan sobreestimar la contribución de esta línea; alcanzadas las condiciones descritas en estos apartados, el proyecto podría migrar a los rangos allí indicados.

Combustible Sólido Recuperado (CSR). El precio de 100.000 COP/Ton se fija con criterio energético-contractual, alineado con la paridad desarrollada en el Apartado 7.3: para un CSR de PCI intermedio ($\approx 14\text{--}16$ MJ/kg) y límites de cloro/mercurio acorde con **EN 15359**, la retribución suele ubicarse en el entorno del 50–70% del valor energético del carbón (boca de mina). En ese marco, 100.000 COP/Ton es un valor conservador y bancable para suministro a cementeras, condicionado al cumplimiento de la calidad mínima (PCI, finura, humedad y traza de halógenos) descrita en dicho apartado.

Energía eléctrica (DA). El precio de referencia adoptado es 350 COP/kWh (DA), formulado bajo un PPA prudente (precio e indexaciones preacordadas), coherente con el apartado 8.4. Este valor se sitúa dentro del corredor observado entre tarifas reguladas y niveles mayoristas en periodos no extremos, con el objetivo de asegurar bancabilidad y desacoplar el caso base de la volatilidad del mercado spot.

12.2.3. Resultados análisis económico

Los resultados del análisis económico se presentan siguiendo la misma secuencia definida en la metodología, con el fin de mantener la coherencia entre el marco teórico y su aplicación práctica. En primer lugar, se analizan los costes asociados a los distintos procesos de tratamiento de residuos, lo que permite identificar el peso relativo de cada operación dentro de las alternativas evaluadas. Posteriormente, se estudian los ingresos derivados de la venta de productos y subproductos generados, destacando el potencial de aprovechamiento material y, en su caso, energético. En tercer lugar, se incorporan los costes de recolección y transporte, calculados a partir de los escenarios de planificación definidos y considerados como un componente esencial de la gestión integral del servicio. Finalmente, se determina el canon de tratamiento para cada escenario-alternativa, integrando los costes e ingresos previamente identificados.

En la Tabla 58 se presentan los resultados del análisis de costes asociados a los diferentes procesos de tratamiento de residuos evaluados en el estudio: Tratamiento Mecánico (TM), Tratamiento Biológico (TB), Digestión Anaerobia (DA) y Combustible Sólido Recuperado (CSR). Para cada proceso se detallan las principales partidas consideradas, inversión, costes de personal, mantenimiento, gestión, financieros y de estructura, así como los costes de ejecución material y los asociados al know-how. Los valores se expresan tanto en términos anuales (COP/año) como unitarios (COP/tonelada), de manera que permiten comparar la magnitud relativa de cada proceso dentro de las alternativas planteadas. Esta información constituye la base para la integración posterior de ingresos y costes de recolección y transporte en el cálculo del canon de cada escenario.

Del análisis comparativo de los resultados se observa que el tratamiento mecánico (TM) presenta el mayor coste unitario por tonelada (287.150 COP/Ton), seguido por la digestión anaerobia (DA) con 262.296 COP/Ton. Estos valores reflejan el peso de la inversión y de los costes operativos en procesos de elevada complejidad tecnológica. En un nivel intermedio se sitúa el tratamiento biológico (TB) con 156.057 COP/Ton, mientras que la producción de CSR (69.672 COP/Ton) muestran los menores costes unitarios. Estos resultados permiten identificar qué procesos concentran la mayor presión económica dentro de las alternativas y sirven de base para valorar posteriormente cómo los ingresos y los costes de recolección y transporte inciden en el canon final de cada escenario.”

En la Tabla 59 se presentan los resultados del análisis de ingresos asociados a los distintos procesos de tratamiento de residuos evaluados. Los ingresos considerados provienen de la venta de materiales reciclables (envases ligeros, papel-cartón, vidrio y metales), del compost, del CSR y de la energía eléctrica generada en el proceso de digestión anaerobia. Para cada flujo se ha aplicado el precio de mercado correspondiente, expresado en COP/tonelada o COP/kWh según el caso. Los resultados se muestran en valores anuales (COP/año) y unitarios (COP/Ton), lo que permite identificar el potencial de valorización económica de cada proceso y su aporte relativo a la reducción del canon.

En términos de ingreso unitario por tonelada, el tratamiento mecánico (TM) es la tecnología que mayores ingresos por tonelada genera, 151.557 COP/Ton, provenientes de la venta de reciclables (envases ligeros, papel-cartón, vidrio y metales), su desempeño depende de la pureza de las corrientes, la eficiencia de clasificación y la estabilidad de los mercados



secundarios. la digestión anaerobia (DA) genera unos 29.170,83 COP/Ton, combinando ingresos energéticos (venta de electricidad o autoconsumo) y valorización del compost del digestato; la productividad de biogás y la certidumbre del offtake eléctrico son determinantes. La producción de CSR registra 27.350 COP/Ton, condicionada al cumplimiento de especificaciones de combustible (PCI, humedad, cloro) y a contratos de suministro con receptores industriales que reduzcan la exposición a penalizaciones y costos logísticos. Por su parte, el tratamiento biológico aeróbico (TB) genera 3.772,80 COP/Ton por venta de compost y, cuando aplica, por ahorro en material de cobertura; requiere mercado cercano y calidad certificada para sostener ese flujo.

Tabla 58. Relación de costes de los procesos que integran las alternativas consideradas.

Conceptos	COSTES			
	TM	TB	DA	CSR
G	25500,00			
Itoc	14.087.100.000,00 COP	11.739.250.000,00 COP	9.391.400.000,00 COP	9.391.400.000,00 COP
Ptoc	20,00	20,00	20,00	20,00
Atoc	704.355.000,00 COP	586.962.500,00 COP	469.570.000,00 COP	469.570.000,00 COP
Imp	16.716.692.000,00 COP	10.236.626.000,00 COP	28.174.200.000,00 COP	2.347.850.000,00 COP
Pmp	15,00	15,00	15,00	15,00
Amp	1.114.446.133,33 COP	682.441.733,33 COP	1.878.280.000,00 COP	156.523.333,33 COP
Imex	2.347.850.000,00 COP	2.347.850.000,00 COP	704.355.000,00 COP	845.226.000,00 COP
Pmex	12,00	12,00	12,00	12,00
Amex	195.654.166,67 COP	195.654.166,67 COP	58.696.250,00 COP	70.435.500,00 COP
Cinv	2.014.455.300,00 COP	1.465.058.400,00 COP	2.406.546.250,00 COP	696.528.833,33 COP
Jefe de Unidad	1,00			
Coste salarial J.U	131.400.751,62			
Operario planta	2,00	1,00	1,00	1,00
Coste salarial O.P.	79.905.368,64 COP	79.905.368,64 COP	79.905.368,64 COP	79.905.368,64 COP
Auxiliar de planta	12,00	4,00	2,00	2,00
Coste salarial A.P	72.444.368,64 COP	72.444.368,64 COP	72.444.368,64 COP	72.444.368,64 COP
Cp	1.160.543.912,58 COP	369.682.843,20 COP	224.794.105,92 COP	224.794.105,92 COP
β	0,08	0,06	0,06	0,06
Cmq	1.525.163.360,00 COP	755.068.560,00 COP	1.732.713.300,00 COP	191.584.560,00 COP
γ	0,25	0,15	0,15	0,20
Cg	503.613.825,00 COP	219.758.760,00 COP	360.981.937,50 COP	139.305.766,67 COP
ω	0,05	0,05	0,05	0,05
CF	100.722.765,00 COP	73.252.920,00 COP	120.327.312,50 COP	34.826.441,67 COP
δ	0,16	0,16	0,16	0,16
Cest	848.719.866,01 COP	461.251.437,31 COP	775.258.064,95 COP	205.926.353,21 COP
Cexp	4.138.763.728,59 COP	1.879.014.520,51 COP	3.214.074.720,87 COP	796.437.227,47 COP
C	6.153.219.028,59 COP	3.344.072.920,51 COP	5.620.620.970,87 COP	1.492.966.060,80 COP
19%IVA	1.169.111.615,43 COP	635.373.854,90 COP	1.067.917.984,46 COP	283.663.551,55 COP
C (COP/año)	7.322.330.644,03 COP	3.979.446.775,41 COP	6.688.538.955,33 COP	1.776.629.612,35 COP
Cn (COP/Tn)	287.150,22 COP	156.056,74 COP	262.295,65 COP	69.671,75 COP



Tabla 59. Relación de ingresos de los procesos que integran las alternativas consideradas.

Concepto	TM	TB	DA	CSR
G	25500			
% Envases ligeros	3,23%			
Precio EELL (COP/Tn)	1.450.000,00 COP			
% Papel-Cartón	2,90%			
Precio Papel-Cartón (COP/Tn)	740.000,00 COP			
%Vidrio	3,20%			
Precio Vidrio (COP/Tn)	190.000,00 COP			
% Metales férricos	0,19%			
Precio metales férricos (COP/Tn)	800.000,00 COP			
% Metales no férricos	1,08%			
Precio metales no férricos (COP/Tn)	7.000.000,00 COP			
% material compostado		15,72%	11,19%	
Precio compost (COP/Tn)		24.000,00 COP	36.000,00 COP	
%CSR				27,35%
Precio CSR (COP/Tn)				100.000,00 COP
F (%)			38,83%	
MDA (Nm3/Tn)			115	
Q (MJ/Nm3)			37,2	
η (%)			30	
Energía (Kwh/año)			1.831.805,25	
Precio energía (COP/Kwh)			350,00 COP	
In (COP/año)	3.864.714.153,25 COP	96.206.400,00 COP	743.856.037,50 COP	697.425.000,00 COP
In (COP/Tn)	151.557,42 COP	3.772,80 COP	29.170,83 COP	27.350,00 COP

En la Tabla 60 se muestran los resultados del análisis de costes de recolección y transporte de residuos correspondientes a los cuatro escenarios de planificación definidos (0, 1, 2 y 3). Tal y como se indicó en la metodología, estos costes se han estructurado en dos grandes bloques: los **costes de ejecución material (CEM)**, que engloban personal, amortización y financiación de vehículos, mantenimiento, reparaciones, combustibles, lubricantes y otros gastos operativos; y los **costes de know-how (Ckk)**, que incluyen los gastos generales y el beneficio industrial asociados al servicio. A partir de la suma de ambas partidas se obtiene el coste total por tonelada de cada escenario, expresado en COP/Ton.



Tabla 60. Relación de costes de recolección y transporte por escenario considerado.

Conceptos	Escenario 0	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
C _p	89.848,53 COP	125.765,42 COP	125.765,42 COP	125.765,42 COP
C _{amort} + C _{fin}	25.349,55 COP	32.804,81 COP	34.615,50 COP	39.142,20 COP
C _{mnt}	15.792,36 COP	21.275,15 COP	21.728,37 COP	22.164,83 COP
C _{otros}	14.572,07 COP	20.481,25 COP	25.102,04 COP	42.611,84 COP
C _{EM}	145.562,50 COP	200.326,63 COP	207.211,33 COP	229.684,29 COP
C _{kk}	29.112,50 COP	40.065,33 COP	41.442,27 COP	45.936,86 COP
C (COP/Ton)	174.675,00 COP	240.391,96 COP	248.653,60 COP	275.621,15 COP

Los resultados evidencian que el **Escenario 0** presenta el menor coste unitario (174.675 COP/Ton), debido a la optimización de las rutas actuales con disposición en el relleno de Terrazas del Porvenir, más próximo al municipio de **Sogamoso**. En los escenarios 1 y 2, con costes muy similares, se produce un incremento considerable con respecto a la planificación planteada para el **Escenario 0**, con 240.391,96 COP/Ton y 248.653,60 COP respectivamente, como consecuencia de la incorporación de nuevas rutas específicas para la recolección diferenciada de materia orgánica, tal y como se definió en la planificación de escenarios. Finalmente, el **Escenario 3** alcanza el valor más elevado (275.621,15 COP/Ton), resultado tanto de esta ampliación logística como del incremento en los costes de personal, amortización y otros gastos operativos vinculados a la nueva configuración. Estos resultados muestran la fuerte incidencia que tiene la introducción de la recolección selectiva de materia orgánica sobre los costes del servicio y refuerzan la importancia de incluir este componente en la evaluación económica global de las alternativas.

En la Tabla 61 se integran los resultados económicos obtenidos, presentando para cada escenario-alternativa los costes de tratamiento (inversión y explotación), los costes de recolección y transporte, los ingresos derivados de la valorización de materiales y energía, y el canon resultante. De esta forma, se ofrece una visión global que permite comparar de manera directa la viabilidad económica de las distintas alternativas.

Tabla 61. Canon de cada escenario-alternativa analizados.

	COSTES			INGRESOS	CANON
	INV.+EXPL.	REC.-TRANSP.	TOTAL		
Escenario 0 Alternativa A	443.206,96 COP	174.675,01 COP	617.881,97 COP	155.330,22 COP	462.551,75 COP
Escenario 1 Alternativa D	512.878,71 COP	240.391,96 COP	753.270,67 COP	182.680,22 COP	570.590,45 COP
Escenario 2 Alternativa E	775.174,35 COP	248.653,60 COP	1.023.827,95 COP	211.851,04 COP	811.976,91 COP
Escenario 3 Alternativa F	705.502,60 COP	275.621,15 COP	981.123,75 COP	184.501,04 COP	796.622,71 COP

Del análisis de los resultados se observa que la mayor parte de los costes se concentra en la inversión y explotación de los procesos de tratamiento, que representan entre el 80% y el 84% del total en todas las alternativas mientras que los costes de recolección y transporte suponen un porcentaje adicional de entre el 20 % y el 16 %, incrementando los costes globales de manera significativa, aunque no determinante.

En la Imagen 46 se representan los costos totales, los ingresos obtenidos y el canon resultante para la alternativa correspondiente. Esta visualización permite apreciar la contribución relativa de cada componente económico y comprobar cómo los ingresos reducen parcialmente el impacto de los costes, determinando el canon final por tonelada.

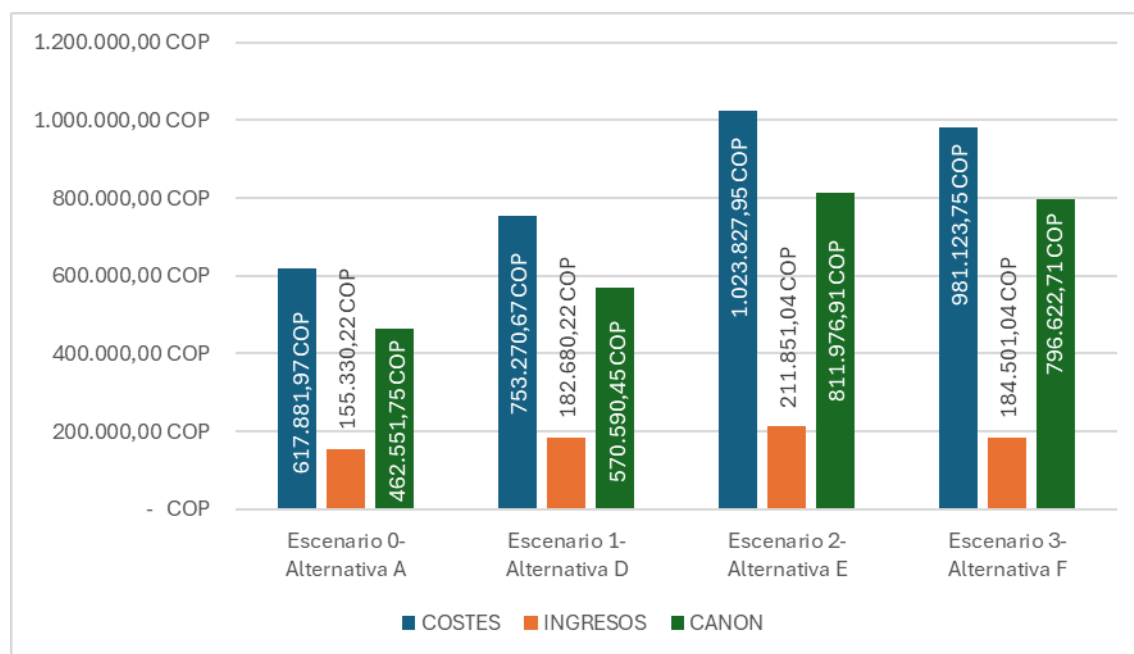


Imagen 46. Costos, Ingresos y Canon de las alternativas analizadas.

Finalmente, en la Imagen 47 se muestra la jerarquía de alternativas en función del canon obtenido. Esta representación facilita la comparación directa entre escenarios y destaca qué opción resulta económicamente más ventajosa dentro del conjunto analizado.

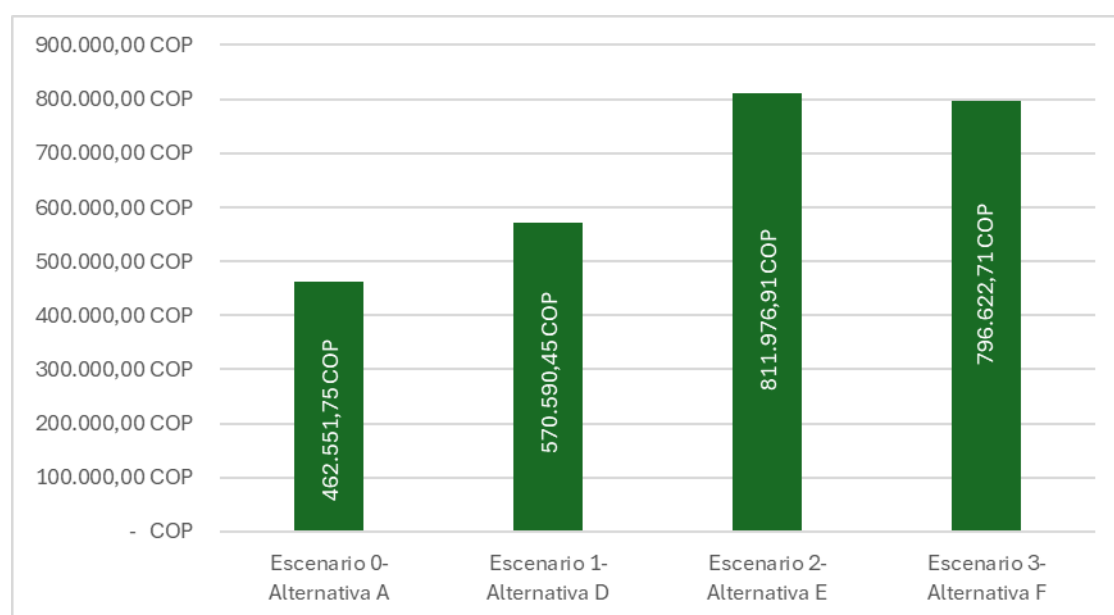


Imagen 47. Jerarquía de alternativas resultante del análisis económico basado en el canon.



12.3. Análisis Ambiental

El presente capítulo desarrolla el análisis ambiental de las alternativas de gestión de residuos sólidos municipales planteadas en el estudio, entendido como un bloque integral que combina distintas aproximaciones metodológicas. La herramienta central empleada ha sido el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), conforme a las normas ISO 14.040 y 14.044, que permite evaluar de manera comparativa los impactos potenciales de cada proceso y alternativa de tratamiento.

Con el fin de complementar la visión proporcionada por el ACV y reforzar el criterio climático en la selección de alternativas, se ha incorporado adicionalmente el cálculo de la huella de carbono del sistema completo de gestión, incluyendo las emisiones derivadas de las rutas de recolección de residuos y las asociadas a los procesos de tratamiento. Este cálculo se ha desarrollado mediante factores de emisión oficiales de la calculadora FECOC de la UPME²⁶, y se presenta como un bloque adicional dentro del Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

De este modo, el capítulo de análisis ambiental integra dos aproximaciones complementarias: por un lado, el ACV, que proporciona una evaluación holística y multicriterio expresada en puntos de impacto (mPt); y por otro, la huella de carbono, que permite disponer de un indicador climático específico en términos de kg CO₂ equivalente, considerando el conjunto recolección separada recolección–tratamiento. La combinación de ambos enfoques proporciona una visión más completa del desempeño ambiental del sistema de gestión de residuos, permitiendo no solo comparar alternativas desde una perspectiva integral, sino también cuantificar con precisión las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a cada escenario. De esta forma, los resultados expuestos en las secciones siguientes constituyen la base para la selección de la alternativa más favorable desde el punto de vista ambiental y climático, en coherencia con los objetivos planteados en el marco del presente estudio.

12.3.1. Introducción al ACV

El **Análisis de Ciclo de Vida (ACV)** es una metodología de gestión ambiental estandarizada que permite evaluar los impactos ambientales potenciales asociados a un producto, proceso o servicio, considerando todas las etapas de su existencia. Dicho ciclo comprende desde la extracción y procesamiento de materias primas, la producción y transporte, el uso y mantenimiento, hasta su fin de vida con el correspondiente tratamiento o disposición final.

La fortaleza del ACV radica en su visión holística, es decir, en la integración de todos los flujos de materia y energía que atraviesan un sistema, tanto de entrada (inputs) como de salida (outputs). Los primeros incluyen materias primas, energía y agua; los segundos abarcan emisiones al aire, agua y suelo, residuos sólidos y subproductos recuperados. La cuantificación

²⁶ https://app.upme.gov.co/Calculadora_Emisiones1/new/calculadora.html



de estos flujos proporciona una base objetiva para estimar los impactos ambientales de un sistema²⁷.

De acuerdo con la Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), el ACV es “un proceso objetivo para evaluar las cargas medioambientales asociadas a un producto, proceso o actividad, identificando y cuantificando la energía y los materiales utilizados y los residuos liberados al entorno, y para evaluar y poner en práctica mejoras ambientales”. Este enfoque ha demostrado ser especialmente útil en la gestión de residuos, donde la complejidad de las mezclas y la diversidad de tecnologías requieren herramientas capaces de integrar múltiples dimensiones ambientales.

Los objetivos principales del ACV son:

- Proporcionar información objetiva y transparente sobre las interacciones entre procesos y medio ambiente.
- Contribuir a entender las consecuencias interdependientes de las actividades humanas.
- Prever impactos negativos de decisiones estratégicas e identificar oportunidades de mejora.
- Facilitar el diálogo entre autoridades, sector privado y sociedad civil en torno a la sostenibilidad ambiental.

De esta manera, el ACV se convierte en una herramienta clave en la planificación y gestión ambiental, al permitir la comparación de alternativas tecnológicas y ofrecer criterios sólidos para la toma de decisiones en contextos municipales.

12.3.2. Marco normativo y metodológico

La aplicación del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) está regulada internacionalmente por la familia de normas **ISO 14.040 y ISO 14.044**, que establecen los principios, el marco metodológico y los requisitos para asegurar la consistencia, transparencia y comparabilidad entre estudios, respondiendo a las exigencias de sectores industriales y alineándose con mejores prácticas internacionales. Entre las principales se destacan:

- **UNE EN ISO 14.040:2.006/A1:2.021 – Gestión ambiental. Principios y marco de referencia.** Última versión vigente con la enmienda 1 (A1:2.021), que incorpora actualizaciones sobre los conceptos básicos, la estructura de fases (definición de objetivo y alcance, inventario, evaluación de impacto e interpretación) y aspectos de transparencia en la comunicación y revisión crítica de los resultados.
- **UNE EN ISO 14.044:2.006/A2:2.021 – Requisitos y directrices.** Esta norma sustituye a las anteriores ISO 14.041, 14.042 y 14.043. Las enmiendas A1:2.018 y A2:2.021 introducen criterios más detallados sobre la recopilación y la calidad de los datos, el análisis de incertidumbre, los requisitos de revisión externa y los procedimientos para la interpretación

²⁷ Guinée, J., Huppes, G., Zamagni, A., & Masoni, P. (2011). Life Cycle Assessment: Past, Present, and Future. *Environmental Science & Technology*, 45(1), 90-96.

y comunicación de los resultados, reforzando el rigor científico y la utilidad para la toma de decisiones sostenibles.

- **UNE EN ISO/TS 14.048:2.002 – Formato de datos de inventario.** Norma técnica que establece el formato estructurado para documentar los inventarios del ciclo de vida, lo que facilita el intercambio de información y la interoperabilidad entre herramientas software.
- **UNE EN ISO/TR 14.049:20.00 – Ejemplos de aplicación en definición de objetivos, alcance y análisis de inventario.** Más que una norma es una guía complementaria que proporciona ejemplos para la definición de los objetivos y alcance, así como pautas en el análisis de inventario.

Estas normas definen los principios fundamentales del ACV, las fases metodológicas (definición de objetivo y alcance, análisis de inventario, evaluación de impacto e interpretación), los requerimientos para recopilación y formato de los datos, y los criterios para la revisión crítica y comunicación de resultados. Su cumplimiento garantiza que el estudio de ACV sea transparente, repetible, científicamente robusto y comparable internacionalmente.

12.3.3. Fases del ACV según ISO

El marco metodológico establecido por las normas ISO 14.040 (2.006) y ISO 14.044 (2.006) define al ACV como un proceso estructurado en cuatro fases interrelacionadas, que deben aplicarse de forma iterativa y coherente. (ver Figura adjunta). La finalidad de este esquema es garantizar la consistencia y la validez de los resultados, en función de los objetivos definidos.

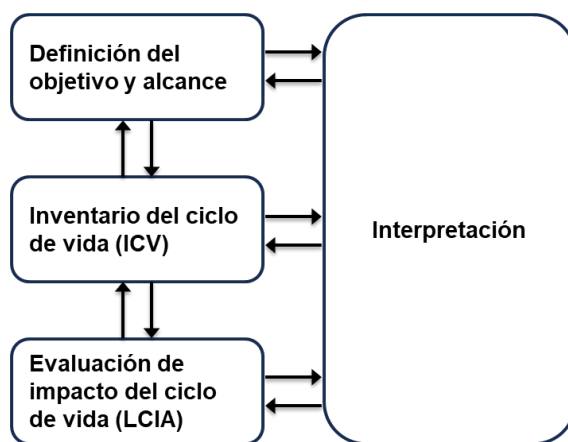


Figura 1. Diagrama ACV (ISO 14040)

1. Definición de objetivos y alcance

Es la primera fase del estudio y constituye la base para la validez de los resultados posteriores. La norma establece que deben definirse de forma explícita:

- **Objetivo del estudio:** indica el propósito del ACV (comparación de alternativas, soporte a políticas públicas, mejora de procesos, etc.) y el público destinatario (autoridades, gestores de residuos, ciudadanía).



- **Unidad funcional (UF):** representa el servicio cuantificado que proporciona el sistema, y sirve de base para asegurar comparabilidad entre escenarios. En gestión de residuos, la UF más utilizada es el tratamiento de 1 tonelada de residuos sólidos municipales (RSM). La elección de la UF es crucial, pues condiciona los resultados y su interpretación.
- **Límites del sistema:** definen qué procesos se incluyen y cuáles se excluyen del análisis. Estos pueden adoptar diferentes enfoques:
 1. De la cuna a la tumba (cradle-to-grave): incluye desde la generación del residuo hasta su disposición final.
 2. De la cuna a la puerta (cradle-to-gate): se limita hasta la salida de un producto intermedio.
 3. De la puerta a la puerta (gate-to-gate): contempla únicamente una etapa del proceso.
 4. De la cuna a la cuna (cradle-to-cradle): incluye el reciclaje o reincorporación al ciclo productivo.
- **Supuestos y limitaciones:** deben explicitarse los criterios de exclusión de procesos, la representatividad de los datos y el alcance geográfico y temporal del estudio.

Esta fase es determinante, ya que asegura que los resultados obtenidos sean coherentes, reproducibles y adecuados para la finalidad con la que se realiza el ACV.

2. Inventario del ciclo de vida (ICV)

Consiste en la recopilación sistemática de los flujos de entrada y salida que atraviesan los límites del sistema definidos. Incluye:

- **Entradas:** consumo de materias primas, insumos auxiliares, energía, agua, combustibles, etc.
- **Salidas:** emisiones a la atmósfera (CO_2 , CH_4 , N_2O , contaminantes), vertidos líquidos, residuos sólidos, subproductos recuperados y energía generada.

La norma resalta la importancia de:

- Definir fuentes de datos (mediciones in situ, balances de materia y energía, literatura científica, bases de datos como *ecoinvent*).
- Garantizar la calidad de los datos, evaluando representatividad geográfica, temporal y tecnológica.
- Documentar de forma transparente todos los supuestos, exclusiones y metodologías de cálculo.

El resultado es una matriz que refleja el balance ambiental del sistema en estudio, constituyendo la base numérica para la fase de evaluación de impactos.

3. Evaluación de impacto del ciclo de vida (LCIA)

En esta fase se relacionan los datos del inventario con las categorías de impacto ambiental relevantes. Según ISO 14.044, debe incluir al menos tres pasos obligatorios y dos opcionales:



- **Obligatorios:**

1. **Selección de categorías de impacto** (ej. cambio climático, toxicidad humana, acidificación).
2. **Clasificación:** asignación de cada flujo del inventario a las categorías correspondientes (ej. CH₄ → cambio climático).
3. **Caracterización:** cuantificación de los impactos mediante factores de equivalencia (ej. kg CO₂ eq para cambio climático, kg SO₂ eq para acidificación).

- **Opcionales:**

1. **Normalización:** comparación de los resultados obtenidos con valores de referencia (ej. huella de carbono del país).
2. **Ponderación:** asignación de factores de peso a las categorías para obtener un único índice agregado.

La elección de categorías e indicadores debe estar alineada con los objetivos del estudio y con el contexto geográfico. En el caso de gestión de residuos, la categoría de cambio climático es particularmente relevante, junto con eutrofización, toxicidad y uso de recursos.

4. Interpretación

Es la fase final, que integra los resultados del ICV y la LCIA para generar conclusiones útiles y consistentes. Incluye:

- **Identificación de etapas críticas:** procesos con mayor carga ambiental (ej. emisiones de rellenos sanitarios, consumo de energía en incineración).
- **Evaluación de sensibilidad y coherencia:** análisis de cómo varían los resultados al modificar supuestos, límites del sistema o factores de caracterización.
- **Detección de incertidumbres:** reconocimiento de rangos de error, especialmente en procesos biológicos donde los datos presentan mayor variabilidad.
- **Propuestas de mejora ambiental:** recomendaciones para reducir impactos a lo largo del ciclo de vida.

La interpretación es iterativa: puede llevar a redefinir el alcance, ajustar el inventario o seleccionar nuevas categorías de impacto.

12.3.4. Metodologías y herramientas de evaluación

12.3.4.1. Uso de software especializado

El desarrollo de estudios de Análisis de Ciclo de Vida requiere herramientas computacionales capaces de manejar grandes volúmenes de datos, modelar sistemas complejos y aplicar metodologías de impacto estandarizadas. Entre ellas, el software **SimaPro** se ha consolidado como una de las plataformas más utilizadas a nivel mundial para estudios de ACV.



La elección de **SimaPro v8.0.4** en este estudio se justifica por varias razones:

- **Cobertura metodológica:** permite aplicar un amplio rango de metodologías de evaluación de impacto reconocidas internacionalmente (IMPACT 2002+, ReCiPe, CML, TRACI, IPCC, entre otras).
- **Integración de bases de datos:** está plenamente compatible con **ecoinvent**, la base de datos más utilizada y completa para estudios de ACV a nivel global.
- **Flexibilidad de modelado:** facilita la representación de sistemas complejos, como la gestión de residuos, donde interactúan procesos de naturaleza muy distinta (mecánicos, biológicos, térmicos y de disposición final).
- **Reconocimiento internacional:** numerosos estudios de gestión de residuos y políticas públicas han empleado SimaPro, lo que permite la comparabilidad de resultados con investigaciones previas²⁸.

Gracias a estas características, SimaPro se convierte en la herramienta más adecuada para modelar los escenarios de gestión de residuos propuestos en el presente estudio de prefactibilidad.

12.3.4.2. Base de datos utilizada

El valor de un ACV depende en gran medida de la calidad y representatividad de los datos de inventario.

Colombia participa en iniciativas internacionales, especialmente del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), orientadas a la creación de una base de datos nacional de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Esta participación responde a la necesidad de reflejar con mayor precisión las características propias del contexto colombiano, tales como la matriz energética, el sistema de transporte, los procesos industriales y la gestión de residuos, con el objetivo de aportar información local relevante y confiable para la toma de decisiones sostenibles²⁹.

En este marco, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia, en coordinación con el PNUMA, ha desarrollado la Estrategia Nacional de Economía Circular y la Política para la Gestión Integral de Residuos, ambas fundamentadas en el enfoque de ciclo de vida. Estas políticas requieren datos nacionales robustos y han motivado la articulación de esfuerzos para el desarrollo de una base local de ACV, que contemple particularidades nacionales como

²⁸ Evangelisti, S., Tagliaferri, C., Clift, R., Lettieri, P., Taylor, R., & Chapman, C. (2015). Life cycle assessment of conventional and two-stage advanced energy from waste technologies for municipal solid waste treatment. *Journal of Cleaner Production*, 100, 212-223. Finnveden, G., Johansson, J., Lind, P., & Moberg, A. (2005). Life cycle assessment of energy from solid waste—part 1: general methodology and results. *Journal of Cleaner Production*, 13(3), 213-229.

²⁹ Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. “Plan Nacional para la Gestión Sostenible de los Plásticos de un solo uso”. Bogotá, Colombia, Gobierno Nacional, 2022. Thema, J. “La transición energética en Colombia”, Wuppertal Institut & Universidad de los Andes, 2023.



fuentes de matriz energética (predominantemente hidroeléctrica y en proceso de transición hacia alternativas renovables), pautas de transporte, prácticas industriales y realidades en la gestión de residuos sólidos municipales y peligrosos.

Este esfuerzo está alineado con estrategias y plataformas apoyadas por el PNUMA para fortalecer la infraestructura de datos de ACV en países de América Latina, facilitando la interoperabilidad metodológica y el uso de datos nacionales confiables para la evaluación de impactos ambientales y la sostenibilidad de productos y servicios. Adicionalmente, la Mesa Nacional para la Gestión Sostenible del Plástico y otras iniciativas sectoriales en Colombia integran este enfoque y promueven la generación e integración de datos y metodologías propias en sus políticas y regulaciones.

En Colombia, mientras la base nacional de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) continúa en fase de consolidación, la herramienta y base de datos internacional más utilizada es ecoinvent, reconocida como la base de datos de ACV más completa y estandarizada a nivel global, y la referencia principal para estudios ambientales de productos y procesos en el país.

Debido a que sus inventarios originales reflejan principalmente condiciones europeas y globales, en Colombia se emplean procesos de **recontextualización** para adaptarlos a la realidad local. Esto implica ajustar los datos internacionales considerando factores clave como:

- La **matriz energética colombiana**, caracterizada por una alta proporción de generación hidroeléctrica en comparación con los promedios globales, lo que modifica el perfil de emisiones por consumo eléctrico.
- Las **condiciones específicas de transporte**, que consideran las distancias medias, los modos de transporte predominantes (flota de camiones propia, modos públicos, estado de infraestructura vial) y características logísticas nacionales.
- Las **tecnologías y prácticas locales en gestión de residuos**, tanto en recolección como en reciclaje y disposición final, para que los inventarios representen correctamente las emisiones y flujos asociados a la gestión ambiental en el país.

Esta recontextualización asegura que los resultados de los estudios de ACV realizados en Colombia sean representativos, confiables y coherentes con la realidad del municipio o región analizada, permitiendo la comparabilidad internacional gracias al estándar metodológico de **ecoinvent** y su reconocimiento global.

Es importante señalar que el presente estudio, al igual que otros trabajos de referencia en Colombia y América Latina, no incorpora variables micro climáticas específicas del predio (como calidad de aire, temperatura media o humedad relativa) debido a la inexistencia de inventarios nacionales que recojan este tipo de información. Esta situación no representa una omisión metodológica particular del estudio, sino una limitación común a todos los análisis de ciclo de vida realizados en la región.

La utilización de la base **ecoinvent**, recontextualizada a las condiciones de Colombia (matriz energética, transporte, gestión de residuos), constituye la práctica estándar en la actualidad y asegura resultados consistentes y comparables a nivel internacional. Además, dado que esta limitación metodológica afecta por igual a todas las alternativas evaluadas, no introduce sesgos en la comparación relativa entre ellas. Todas las configuraciones tecnológicas han sido modeladas bajo el mismo marco de referencia, con idéntica base de datos y criterios de

recontextualización, por lo que las diferencias observadas en los resultados reflejan exclusivamente las particularidades de cada proceso de tratamiento y no la ausencia de variables micro climáticas locales.

En consecuencia, la limitación identificada no compromete la validez del análisis comparativo ni la jerarquización de alternativas, que constituye el objetivo central del estudio. Sí resulta pertinente, no obstante, dejar constancia de esta restricción como parte de la transparencia metodológica, reconociendo que la incorporación futura de inventarios con mayor resolución espacial y ambiental permitirá afinar los resultados y mejorar la representatividad de estudios similares.

12.3.4.3. Metodología de impacto seleccionada

Para la evaluación de impactos ambientales se empleará la metodología **IMPACT**, que se ha convertido en uno de los métodos de evaluación de impacto más utilizados en estudios de ACV a nivel internacional, especialmente en el ámbito de la gestión de residuos. Su principal valor añadido radica en que integra de forma coherente los resultados obtenidos en **indicadores intermedios (midpoints)** con los **indicadores finales de daño (endpoints)**, permitiendo un análisis tanto detallado y robusto desde el punto de vista científico, como fácilmente interpretable para la toma de decisiones.

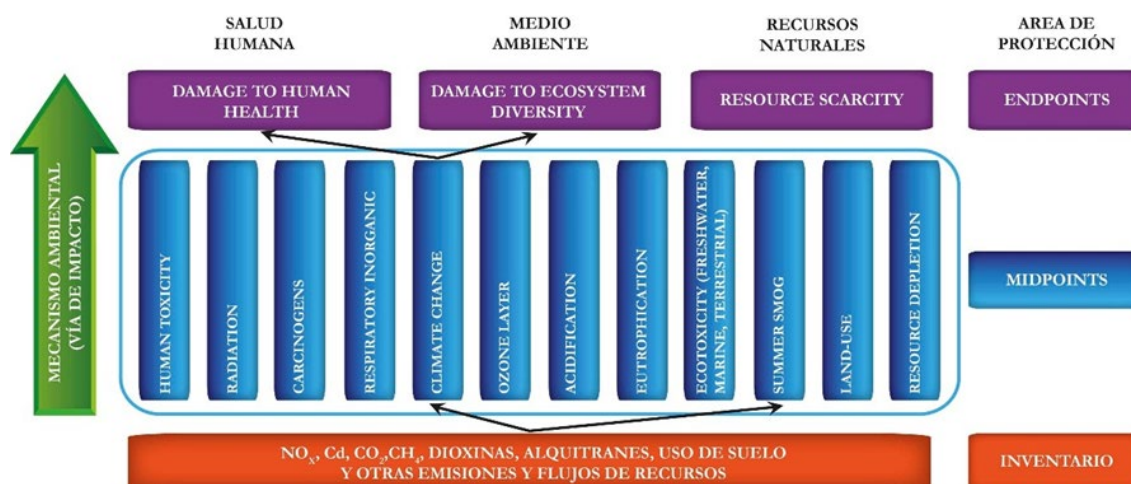


Figura 2. Tipos de indicadores Midpoints y Endpoints

La lógica de esta metodología se basa en una cadena de causa-efecto que parte de los flujos de inventario (emisiones, consumos de recursos) y los traduce en impactos ambientales que afectan a áreas de protección como la salud humana, la calidad de los ecosistemas y los recursos naturales.

Para representar estos impactos se emplean dos niveles de indicadores:

- **Midpoints (puntos intermedios):** Son indicadores que cuantifican los impactos en una fase intermedia de la cadena causa-efecto. Se expresan en unidades físicas específicas, lo que permite una mayor robustez científica y menor nivel de incertidumbre. Ejemplos:
 - Cambio climático → kg CO₂ eq.



- Acidificación → **kg SO₂ eq.**
- Toxicidad acuática → **kg TEG eq.**
- **Endpoints (puntos finales):** Representan el daño final en las áreas de protección definidas:
 - **Salud humana** (años de vida ajustados por discapacidad, *DALYs*).
 - **Calidad del ecosistema** (pérdida de especies, expresada como *Potentially Disappeared Fraction – PDF*).
 - **Recursos** (energía o costes adicionales para la extracción de recursos escasos). Estos resultados son más fáciles de interpretar para la toma de decisiones, aunque presentan mayor incertidumbre debido a los modelos de extrapolación implicados.

La integración de midpoints y endpoints en IMPACT 2000+ permite obtener resultados que son a la vez científicamente sólidos y fácilmente comunicables a distintos grupos de interés.

En esta metodología, los impactos se calculan primero como midpoints, en unidades físicas equivalentes, y posteriormente pueden agregarse en indicadores de endpoints vinculados a categorías de daño.

12.3.4.3.1. Categorías de daño e impacto en IMPACT 2000+

Las categorías de impacto definidas en la metodología utilizada constituyen la base práctica para la cuantificación de los midpoints y, posteriormente, de los endpoints. Estas se agrupan en cuatro categorías de daño principales, cada una con varias subcategorías de impacto y unidades específicas:

a) Salud humana (Human health)

Evalúa los efectos adversos de contaminantes y emisiones sobre la salud de las personas. Se expresa en kg de sustancias equivalentes o en unidades de riesgo relacionadas con toxicidad.

- **Carcinogens (kg C₂H₃Cl eq):** emisiones de sustancias cancerígenas, expresadas en equivalentes de cloruro de vinilo.
- **Non-carcinogens (kg C₂H₃Cl eq):** emisiones de sustancias no cancerígenas con potencial de afectar la salud humana.
- **Respiratory inorganics (kg PM_{2.5} eq):** impacto de partículas finas inorgánicas (NO_x, SO₂, polvo), expresado como equivalentes de material particulado fino.
- **Ionizing radiation (Bq C-14 eq):** exposición a radiaciones ionizantes expresada en becquerels equivalentes de carbono-14.
- **Ozone layer depletion (kg CFC-11 eq):** contribución al agotamiento de la capa de ozono estratosférico, expresada en equivalentes de CFC-11.
- **Respiratory organics (kg C₂H₄ eq):** formación de oxidantes fotoquímicos (smog) a partir de compuestos orgánicos volátiles, expresados en equivalentes de etileno.



b) Calidad del ecosistema (Ecosystem quality)

Evalúa los efectos de sustancias tóxicas, acidificación, eutrofización y uso de suelo sobre la biodiversidad y el funcionamiento de ecosistemas.

- **Aquatic ecotoxicity (kg TEG water):** toxicidad en ecosistemas acuáticos, expresada en kg equivalentes de trietilenglicol en agua.
- **Terrestrial ecotoxicity (kg TEG soil):** toxicidad en ecosistemas terrestres, expresada en kg equivalentes de trietilenglicol en suelo.
- **Terrestrial acid/nutri (kg SO₂ eq):** acidificación terrestre y aporte de nutrientes expresado en equivalentes de SO₂.
- **Land occupation (m²org.arable):** ocupación de suelo agrícola orgánico equivalente.
- **Aquatic acidification (kg SO₂ eq):** acidificación de ecosistemas acuáticos, expresada en equivalentes de SO₂.
- **Aquatic eutrophication (kg PO₄ eq):** exceso de nutrientes en medios acuáticos, expresado en equivalentes de fosfato (P-limit).

c) Cambio climático (Climate change)

Evalúa las emisiones de gases de efecto invernadero en un horizonte temporal de 100 años, expresadas en kg de CO₂ equivalente según factores del IPCC (2007).

- **Global warming (kg CO₂ eq):** contribución al calentamiento global de todas las emisiones de GEI (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SF₆).
- El **indicador de Global warming** (kg CO₂ eq) se calcula aplicando factores de caracterización que convierten diferentes gases de efecto invernadero (GEI) en equivalentes de dióxido de carbono en un horizonte de 100 años.
- Los valores de referencia más utilizados en estudios de ACV han sido los del IPCC (2007), pero con la publicación del **Sexto Informe de Evaluación** (AR6, 2021) se dispone de coeficientes actualizados, que reflejan mejor el conocimiento científico actual sobre la persistencia atmosférica y el efecto radiativo de cada gas.
- En Colombia, el **Inventario Nacional de Emisiones y Absorciones de Gases de Efecto Invernadero** (INGEI), elaborado por el Ministerio de Ambiente y el IDEAM, adopta valores coherentes con las directrices internacionales, pero ajustados al contexto nacional. Por ello, en este estudio se emplearán como referencia principal los valores del IPCC AR6 (2021) y los del INGEI Colombia (1990–2021), manteniendo los de IPCC 2007 únicamente como referencia histórica para facilitar la comparación con estudios previos.



Tabla 62. Factores de caracterización del Potencial de Calentamiento Global (GWP) a 100 años según IPCC 2007, IPCC AR6 (2021) e INGEI Colombia (1990–2021).

Gas de Efecto Invernadero (GEI)	Fórmula	GWP IPCC 2007	GWP IPCC AR6 (2021)	GWP INGEI Colombia
Dióxido de Carbono	CO ₂	1	1	1
Metano (no fósil)	CH ₄	25	27.0	27
Metano (fósil)	CH ₄	25	29.8	30
Óxido Nitroso	N ₂ O		273	265
Hidrofluorocarburos (HFCs)	HFCs	150-11700	484-14600	124-14800
Perfluorocarbonos (PFCs)	PFCs	6500-9200	7190-12400	7390-12200
Hexafluoruro de Azufre	SF ₆	22800	24300	23500

El análisis comparativo de los valores muestra varios aspectos relevantes:

- El **CO₂** se mantiene invariable con un valor de referencia igual a 1, al ser el gas patrón de comparación.
- El **CH₄** presenta un incremento significativo en los valores del AR6 respecto a 2007, diferenciándose entre metano de origen fósil y no fósil. Esto es clave en gestión de residuos, donde el metano de origen no fósil (biogénico, procedente de materia orgánica) es predominante.
- El **N₂O** ha visto una ligera reducción en el valor actualizado (de 298 en 2007 a 273 en AR6), reflejando una mejor estimación de su vida media atmosférica.
- En el caso de los **HFCs, PFCs y SF₆**, gases típicos de origen industrial, los valores presentan variaciones amplias según el compuesto específico, pero se observa una tendencia general a incrementarse en las estimaciones del AR6 frente a 2007.
- Los valores del **INGEI Colombia** se encuentran alineados con los del IPCC AR6, lo cual garantiza coherencia metodológica internacional, pero a la vez asegura la pertinencia nacional de los resultados en contextos de reporte climático y política ambiental.

En consecuencia, para este estudio se aplicarán los factores del **IPCC AR6 (2021)** en combinación con los del **INGEI Colombia**, lo que asegura resultados comparables a nivel global y, al mismo tiempo, consistentes con las directrices nacionales.

d) Recursos (Resources)

Considera el agotamiento de recursos no renovables, tanto energéticos como minerales.

- **Non-renewable energy (MJ primary):** consumo de energía no renovable expresado en megajulios de energía primaria.
- **Mineral extraction (MJ surplus):** agotamiento de recursos minerales expresado como energía adicional requerida para extraer recursos de menor calidad o más inaccesibles.

12.3.4.3.2. Conversión de resultados a unidades comunes (mPt)

La metodología IMPACT 2000 utiliza como métrica final el **mPt (milliPoints)**, que corresponde a **milésimas de un punto ambiental**.



- Un “Punto” (Pt) representa la carga ambiental media anual de un ciudadano.
- 1 mPt (milliPoint) equivale a una milésima parte de ese valor de referencia.

El procedimiento consiste en:

1. Calcular los impactos en cada categoría en sus unidades físicas (ej. kg CO₂ eq, MJ, m²·año).
2. Aplicar factores de caracterización y normalización para convertirlos en unidades comparables.
3. Ponderarlos y sumarlos en un único índice (Pt).

De esta forma, se logra una **comparabilidad directa entre categorías de impacto muy diferentes** (cambio climático, toxicidad, uso de recursos), facilitando la interpretación de resultados y la toma de decisiones.

12.3.5. Diseño del estudio y construcción de escenarios

El análisis de ciclo de vida realizado en el presente estudio se ha estructurado a partir de una serie de consideraciones metodológicas que garantizan la coherencia de los resultados y su pertinencia para la toma de decisiones. Tal como se indicó en el apartado correspondiente a la **unidad funcional** (ver apartado 12.3.3), los resultados se expresan en referencia al tratamiento de **1 tonelada de residuos sólidos municipales (RSM)**, lo que permite la comparación entre las distintas alternativas evaluadas.

12.3.5.1. Consideraciones metodológicas generales

La suma de todas las entradas de materia y energía (inputs) y salidas de residuos y emisiones (outputs) constituye el impacto ambiental del producto. Para mantener la coherencia metodológica y garantizar la comparabilidad entre las diferentes alternativas evaluadas, se han establecido los siguientes criterios de exclusión:

- **Recolección y Transporte de los residuos sólidos municipales:** se ha excluido del análisis, dado que se considera un proceso común a todas las alternativas planteadas. Su incorporación no modificaría de forma significativa los resultados comparativos, al introducir un aporte equivalente en todos los escenarios.
- **Fabricación de la infraestructura, maquinaria y equipos:** no se han considerado estas etapas debido a que se trata de elementos con una vida útil superior a 20 años. La amortización de sus impactos por tonelada de residuo tratado resulta insignificante en relación con los procesos operativos de gestión de residuos.
- **Comercialización posterior de productos valorizados:** se ha excluido igualmente el uso final de los productos resultantes de los tratamientos (compost, CSR, materiales reciclados, energía térmica o eléctrica). Esta decisión responde a dos razones principales:
 1. La comercialización depende de contextos externos y no forman parte de las operaciones de tratamiento en sentido estricto.
 2. Su inclusión podría introducir un alto grado de variabilidad en los resultados, ya que los beneficios ambientales asociados dependen del producto sustituido en otros



sistemas (por ejemplo, fertilizantes químicos en el caso del compost o combustibles fósiles en el caso del CSR).

De este modo, el alcance del ACV se ha centrado en los impactos directos de los procesos de tratamiento y disposición final de los residuos, garantizando la homogeneidad de la comparación entre alternativas y evitando el riesgo de doble contabilidad.

En relación con el consumo eléctrico, éste se ha considerado de manera explícita en el inventario de cada proceso, dado que constituye una de las principales magnitudes necesarias en el Análisis de Ciclo de Vida. No obstante, cabe destacar que el impacto ambiental asociado a la electricidad depende del mix energético colombiano, el cual se ha aplicado de manera uniforme a todas las alternativas. De este modo, si bien el consumo eléctrico influye en los resultados absolutos de huella ambiental (por ejemplo, en términos de emisiones de CO₂ eq), no afecta la comparación relativa entre escenarios, ya que se trata de un factor común.

Por otra parte, el consumo de agua se ha incluido como entrada homogénea para todas las alternativas, de forma que tampoco introduce diferencias metodológicas en la evaluación comparativa. Su consideración responde al principio de completitud del inventario, pero al tratarse de una magnitud constante no condiciona los resultados relativos entre las opciones analizadas.

12.3.5.2. Procesos de tratamiento evaluados

En el presente estudio se ha considerado pertinente aplicar el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) a un conjunto de procesos de tratamiento que representan las opciones más viables de gestión para los residuos sólidos municipales (RSM) del municipio de Sogamoso y su relación con la sostenibilidad del servicio público. La selección de estos procesos responde al análisis previo de los escenarios de recolección planteados y a su potencial de implementación en el corto y mediano plazo dentro del marco de un sistema de gestión integral.

El criterio fundamental para su inclusión radica en que constituyen tecnologías que, según la literatura técnica y la experiencia en proyectos similares, ofrecen un mayor potencial de aprovechamiento de materiales y fracciones orgánicas, así como de reducción de impactos ambientales frente al esquema de disposición final en relleno sanitario sin desgasificación, que constituye la situación de referencia y línea base del análisis.

Al evaluar cada uno de estos procesos de manera individual, es posible cuantificar de forma transparente sus cargas y beneficios ambientales, y posteriormente combinarlos para la construcción de alternativas de gestión que respondan a los objetivos de sostenibilidad del municipio.

Los procesos considerados han sido los siguientes:

- **Relleno sanitario (RS):** constituye el sistema actual de disposición final y permite establecer la línea base de impactos ambientales del sistema vigente.
- **Tratamiento mecánico (TM):** orientado a la separación de fracciones valorizables y a la reducción de la cantidad de residuos destinados a disposición final.

- **Tratamiento biológico (TB):** aplicado a la fracción orgánica recuperada, mediante procesos de compostaje u otras tecnologías aerobias, con el objetivo de estabilizar la materia orgánica y obtener productos aprovechables como enmiendas.
- **Digestión anaerobia (DA):** alternativa para el tratamiento de la fracción orgánica, que además de reducir su carga contaminante permite la generación de biogás con potencial energético.
- **Elaboración de Combustible Sólido Recuperado (CSR):** proceso de preparación de fracciones de rechazo con valor energético, destinado a sustituir combustibles fósiles en procesos industriales, con lo cual se generan beneficios ambientales por sustitución de recursos no renovables.

La inclusión de estos procesos en el ACV permite, por tanto, disponer de una visión comparativa robusta de sus desempeños ambientales, evaluando tanto los impactos directos derivados de su operación como los beneficios indirectos asociados al aprovechamiento material y energético. Asimismo, su análisis combinado posibilita la construcción de alternativas de gestión adaptadas al contexto local, que integran criterios de sostenibilidad y se ajustan a los resultados de los escenarios de recolección previamente definidos.

12.3.5.3. Alternativas de gestión evaluadas

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) no se ha limitado a la evaluación aislada de los procesos de tratamiento descritos en el apartado anterior, sino que ha permitido su combinación para conformar alternativas integrales de gestión de residuos sólidos municipales. Estas alternativas reflejan configuraciones tecnológicas plausibles a partir de los escenarios de recolección previamente definidos, y constituyen la base para evaluar de manera comparativa el desempeño ambiental de distintas estrategias de gestión.

La validez de este enfoque radica en que el impacto ambiental de una alternativa resulta del efecto sumatorio de los impactos individuales de cada proceso que la compone, expresados en las diferentes categorías de impacto. Así, cada alternativa se construye como un agregado coherente de cargas y beneficios ambientales, lo que permite disponer de una visión integrada de las consecuencias ambientales asociadas a su implementación. Este procedimiento responde directamente a la lógica del ACV, que busca evaluar sistemas complejos a partir de la desagregación y modelización de sus procesos constituyentes.

En este estudio se han definido las siguientes alternativas:

- **Alternativa A (TM + TB + RS):** combinación de tratamiento mecánico, tratamiento biológico y disposición final en relleno sanitario sin desgasificación (sin recuperación de energía).
- **Alternativa D (TM + TB + CSR + RS):** integra tratamiento mecánico, tratamiento biológico, preparación de CSR y disposición final en relleno sanitario sin desgasificación (sin recuperación de energía).
- **Alternativa E (TM + DA + TB + CSR + RS):** es la alternativa que combina todos los procesos considerados, una combinación de las alternativas D y F.

- **Alternativa F (TM + DA + TB + RS):** escenario de gestión que combina tratamiento mecánico, digestión anaerobia, tratamiento biológico y disposición final en relleno sanitario sin desgasificación (sin recuperación de energía).

Cabe señalar que en el caso del tratamiento biológico (TB) no se ha diferenciado la procedencia de la fracción orgánica procesada, de modo que este tratamiento se aplica de manera uniforme tanto a la fracción orgánica separada en origen, como a la recuperada mediante tratamiento mecánico, así como al digestato procedente de la digestión anaerobia. Esta decisión metodológica se ha adoptado con el fin de simplificar el modelo y garantizar la comparabilidad entre alternativas, evitando sesgos por diferencias en las rutas de entrada. En consecuencia, el tratamiento biológico se concibe como un proceso único y homogéneo, en coherencia con los escenarios de recolección planteados.

De este modo, las alternativas analizadas representan configuraciones tecnológicas viables, fundamentadas en la combinación de procesos de tratamiento previamente modelizados, y permiten comparar de manera robusta las implicaciones ambientales de distintas estrategias de gestión de residuos sólidos municipales en el contexto del municipio objeto de estudio.

12.3.5.4. Consideración de beneficios ambientales

En el marco del presente Análisis de Ciclo de Vida, la técnica de expansión de sistema se ha aplicado como herramienta metodológica clave para la incorporación de los beneficios ambientales asociados a la generación de productos valorizables y de energía. Esta técnica, recomendada por la norma ISO 14.044, constituye la estrategia más adecuada para evitar asignaciones arbitrarias en sistemas con múltiples salidas (coproductos). Su principio consiste en ampliar los límites del sistema funcional original para incluir, además del proceso principal, aquellos procesos suplementarios que en el mercado resultan sustituidos por los productos o la energía generados.

De esta forma, los resultados del ACV no se limitan a reflejar las cargas ambientales directas de cada proceso, sino que también incluyen los impactos evitados por la reducción en la producción de bienes y servicios convencionales, lo que permite obtener un balance ambiental más representativo y robusto.

En el contexto específico de la gestión de residuos sólidos municipales, esta consideración resulta particularmente relevante, ya que diversos procesos pueden dar lugar a productos con potencial de valorización, como materiales reciclados, combustibles sólidos recuperados (CSR) o energía renovable a partir del biogás. La expansión de sistema permite contabilizar los créditos ambientales derivados de la sustitución de materiales vírgenes o de combustibles fósiles, así como de electricidad convencional de la red nacional.

En este estudio, la energía eléctrica generada se ha modelado como “electricidad evitada del mix colombiano”, lo que implica considerar que la electricidad producida a partir del biogás sustituye una cantidad equivalente de electricidad de la red. Esta aproximación permite ajustar los créditos ambientales a la realidad energética del país, donde el mix eléctrico es predominantemente hidroeléctrico, pero con aportes térmicos que determinan sus emisiones características. De este modo, se logra una mayor precisión y representatividad en los resultados.

Para la modelización de los flujos eléctricos en el análisis ambiental se ha empleado el proceso **“Electricity, low voltage {ES} electricity voltage transformation from medium to low voltage (U)”**, disponible en la base de datos internacional **Ecoinvent**.

Este proceso representa la **etapa de distribución y transformación de la electricidad** desde el nivel de media tensión (utilizado en redes de transporte y subestaciones) hasta el nivel de baja tensión, que es el que llega finalmente a los **consumidores o instalaciones industriales**. En el contexto colombiano, este proceso es equivalente al que realizan las empresas distribuidoras de energía como **ENEL, EPM, CENS o EBSA**, al suministrar electricidad a los usuarios finales, considerando las **pérdidas eléctricas típicas** por transporte y transformación en el sistema interconectado nacional (SIN).

La elección de este modelo permite **simular de forma realista el consumo de electricidad en planta**, incluyendo las pérdidas por conversión de voltaje y la eficiencia del sistema de distribución. De esta manera, se garantiza que los resultados del ACV reflejen adecuadamente las **condiciones de suministro eléctrico colombiano**, evitando simplificaciones que podrían subestimar las emisiones o el consumo energético asociado a esta etapa.

12.3.5.5. Presentación de resultados

Los resultados del Análisis de Ciclo de Vida se presentan siguiendo una doble aproximación, con el fin de garantizar tanto la comparabilidad entre alternativas como la transparencia en la contribución de cada proceso individual:

1. **Resultados por procesos de tratamiento:** dado que el ACV se ha aplicado de manera independiente a cada una de las unidades de tratamiento consideradas (relleno sanitario sin desgasificación, tratamiento mecánico, tratamiento biológico, digestión anaerobia y elaboración de CSR), se presentan en primer lugar los impactos ambientales asociados a cada proceso. Este enfoque permite identificar con claridad la magnitud y la naturaleza de los impactos directos de cada tecnología, así como su potencial de generación de beneficios ambientales en determinadas categorías.
2. **Resultados por alternativas de gestión:** posteriormente, se presentan los resultados agregados de las alternativas construidas a partir de la combinación de procesos de tratamiento, expresados en relación con la unidad funcional definida (1 tonelada de residuos sólidos municipales tratados). Los impactos se muestran tanto en indicadores **midpoint** (sustancia equivalente) como en indicadores normalizados en **ecopoints (mPt)**, lo que permite interpretar de manera integrada los efectos ambientales de cada alternativa.

La comparación entre alternativas se basa en el efecto sumatorio de los impactos asociados a los procesos que las componen, incorporando tanto las cargas ambientales como los beneficios derivados del aprovechamiento de materiales y fracciones orgánicas mediante la técnica de expansión de sistema. Esta doble perspectiva (procesos y alternativas) proporciona un marco analítico más sólido, ya que permite identificar no solo la eficiencia relativa de cada configuración de gestión, sino también los procesos que concentran los principales impactos o beneficios dentro de cada escenario.



De este modo, la presentación de resultados garantiza un análisis exhaustivo que facilita la interpretación de los datos y su utilización como herramienta de apoyo en la toma de decisiones estratégicas en materia de gestión integral de residuos sólidos municipales.

12.3.6. Resultados y discusión

12.3.6.1. Criterios de interpretación de resultados

La interpretación de los resultados del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) realizado en este estudio se fundamenta en el marco metodológico definido en la sección 12.3.4, siguiendo las directrices establecidas por las normas internacionales ISO 14040 y 14044, que requieren que los resultados se analicen de manera transparente, coherente y comparativa.

Para este proyecto se adoptaron los siguientes elementos metodológicos de referencia:

- **Software y base de datos:** modelado en **SimaPro v8.0.4** con la base de datos **ecoinvent**, recontextualizada a las condiciones de Colombia (matriz energética, transporte, prácticas de gestión de residuos).
- **Metodología de impacto:** se aplicó **IMPACT 2000+**, que integra indicadores de tipo midpoint (unidades físicas específicas como kg CO₂ eq, kg SO₂ eq, MJ, etc.) con indicadores endpoint (daños a la salud humana, calidad del ecosistema y recursos).
- **Unidad funcional y sistema de referencia:** la comparación se realizó tomando como unidad funcional la gestión de 1 tonelada de residuos sólidos municipales (RSM), bajo límites de sistema homogéneos que abarcan todas las etapas incluidas en cada alternativa (tratamiento mecánico, biológico, digestión anaerobia, CSR y disposición final en relleno sanitario convencional).
- **Horizonte temporal y factores de caracterización:** para cambio climático se utilizaron los factores de potencial de calentamiento global a 100 años del IPCC AR6 (2021) y del Inventario Nacional de GEI de Colombia (INGEI, 1990–2021), garantizando comparabilidad internacional y pertinencia nacional.

En cuanto a los **criterios de interpretación**, se establecieron las siguientes consideraciones:

1. **Resultados no absolutos:** Los valores obtenidos no deben entenderse como medidas exactas del daño ambiental, sino como indicadores relativos, útiles para comparar alternativas bajo un mismo marco metodológico y de referencia.
2. **Comparabilidad interna:** Al aplicar idénticos límites de sistema, metodología y unidad funcional, las diferencias observadas reflejan únicamente el comportamiento de cada tecnología, evitando sesgos externos.
3. **Naturaleza de los indicadores:** Los midpoints aportan robustez científica y permiten entender la magnitud física de los impactos, mientras que los endpoints facilitan la interpretación global. La combinación de ambos ofrece un balance entre detalle técnico y utilidad para la toma de decisiones.
4. **Supuestos conservadores:** No se incluyeron créditos externos por sustitución de materiales o energía fuera de los límites del sistema. Solo se contabilizaron los



beneficios intrínsecos a cada proceso (por ejemplo, la captura y uso de biogás en digestión anaerobia).

5. **Enfoque de jerarquización:** La interpretación se centra en la jerarquización relativa de alternativas y la identificación de procesos críticos en las categorías de mayor impacto, particularmente cambio climático, salud humana y uso de recursos.

En síntesis, la interpretación de los resultados en este estudio se ajusta a un marco metodológico internacionalmente reconocido (ISO, IMPACT 2000+, IPCC/INGEI) y a supuestos explícitos de referencia, lo que asegura la transparencia y consistencia necesarias para apoyar decisiones informadas sobre la gestión de residuos sólidos municipales.

12.3.6.2. Resultados por procesos de tratamiento

Para la evaluación de impactos ambientales se han considerado los principales procesos de tratamiento definidos en la fase metodológica, los cuales constituyen las unidades básicas a partir de las cuales se construyen las alternativas de gestión analizadas. Los resultados se expresan en mPt (milliPoints), lo que permite comparar de manera homogénea categorías de impacto heterogéneas como salud humana, calidad de los ecosistemas, cambio climático y recursos.

La Tabla 63 recoge los datos normalizados obtenidos para cada uno de los procesos considerados. Estos valores incluyen tanto impactos positivos (cargas ambientales generadas directamente por la operación del proceso) como negativos (beneficios ambientales netos obtenidos por sustitución de materiales o energía, modelados mediante la técnica de expansión de sistema).



Tabla 63. Cuantificación de los impactos ambientales por proceso unitario, por cada tonelada de residuo tratada.

Damage category	Impact category	Unit	Unit process				
			RS	TM	TB	DA	CSR
Human health	Carcinogens	kg C2H3Cl eq	0	0,41	5,52	6,25	6,44
	Non-carcinogens	kg C2H3Cl eq	0	0,1	3,84	5,03	4,32
	Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq	0	0,01	0,32	0,4	0,36
	Ionizing radiation	Bq C-14 eq	0	787,41	3544,44	2167,49	4594,12
	Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	0	0	0	0	0
	Respiratory organics	kg C2H4 eq	0,25	0	0,06	0,08	0,07
	Total impact	mPt	0,07	1,75	35,18	44,05	40,33
		%	0,22%	29,86%	38,02%	46,95%	45,13%
Ecosystem quality	Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	0	744,15	18603,6	23339,74	21037,11
	Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	0	134,04	4968,24	6498,9	5589,39
	Terrestrial acid/nutri	kg SO2 eq	0	0,27	5,2	6,62	5,97
	Land occupation	m2org.arable	0	0,15	6,35	8,38	7,13
	Aquatic acidification	kg SO2 eq	0	0,09	1,83	2,3	2,1
	Aquatic eutrophication	kg PO4 P-lim	0	0	0,04	0,05	0,05
	Total impact	mPt	0	0,13	3,82	4,99	4,32
		%	0,00%	2,22%	4,13%	5,32%	4,83%
Climate change	Global warming	kg CO2 eq	310,96	15,12	298,68	189	165,72
	Total impact	mPt	31,41	1,72	29,98	18,89	16,74
		%	99,78%	29,35%	32,40%	20,13%	18,73%
Resources	Non-renewable energy	MJ primary	0	305,64	3614,28	3969,93	4248,61
	Mineral extraction	MJ surplus	0	0,27	3,55	4,08	4,15
	Total impact	mPt	0	2,26	23,55	25,89	27,98
		%	0,00%	38,57%	25,45%	27,60%	31,31%
Total	mPt		31,48	5,86	92,53	93,82	89,37

El análisis de resultados se desarrolla en dos etapas. En primer lugar, se examinan los impactos individuales de cada proceso, identificando las categorías de daño predominantes y la magnitud relativa de los beneficios o cargas asociados. Posteriormente, esta información servirá de base para la construcción y evaluación de las alternativas de gestión, donde los efectos se integran a partir de la combinación de los procesos que conforman cada escenario.

De acuerdo con las recomendaciones establecidas en la norma ISO 14.044, resulta pertinente reconocer la existencia de incertidumbres asociadas a los resultados del ACV. En este estudio,

aunque no se ha realizado un análisis estadístico detallado, se identifican algunos parámetros con mayor sensibilidad que podrían condicionar la magnitud final de los impactos:

- **Composición de los residuos sólidos municipales:** al ser una mezcla heterogénea con alta fracción orgánica, variaciones en su contenido de humedad o en su poder calorífico afectan directamente al balance energético y de emisiones.
- **Rendimiento del CSR y sustitución efectiva:** el balance ambiental depende de la calidad del combustible obtenido y de las tasas reales de sustitución de combustibles fósiles, que en este caso no se han modelado explícitamente por exclusión metodológica.
- **Eficiencia en digestión anaerobia (DA):** la producción de biogás y la gestión del digestato presentan alta variabilidad en función de las condiciones operativas.

Estas consideraciones ponen de manifiesto que los valores presentados deben interpretarse como aproximaciones robustas dentro del marco metodológico definido, pero sujetos a variaciones en función de la calidad y representatividad de los datos de entrada.

12.3.6.2.1. Relleno Sanitario sin desgasificación

El relleno sanitario sin desgasificación, más que un proceso constituye el escenario de referencia del sistema actual de gestión de RSM y denominador común a todas las alternativas, en el que el biogás generado por la descomposición anaerobia de la fracción orgánica no es objeto de valorización energética. De este modo, la totalidad de las emisiones de metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2) asociadas al proceso se contabilizan como emisiones directas al ambiente, sin ningún tipo de aprovechamiento.

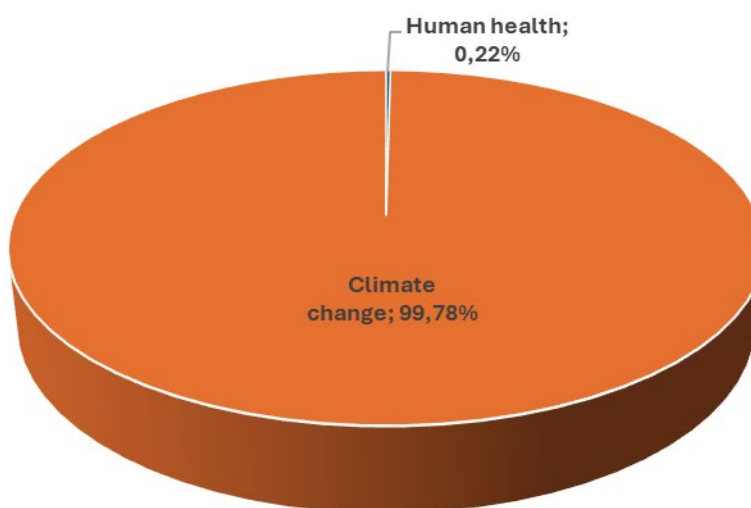


Figura 3. Distribución porcentual de impactos por categoría de daño (RS).

Los resultados obtenidos mediante el software de análisis muestran que los impactos de este proceso se concentran casi exclusivamente en la categoría de cambio climático, con un valor de 310,96 kg CO_2 eq, lo que se traduce en 31,41 mPt. Este valor representa el 99,78 % del impacto total del proceso. En contraste, las restantes categorías de daño presentan resultados prácticamente nulos, salvo una pequeña contribución en la categoría de respiratory organics



(0,25 kg C₂H₄ eq), equivalente a 0,07 mPt y que supone únicamente un 0,22 % del total. Tanto en salud humana (carcinogenicidad, no carcinogenicidad, partículas inorgánicas, radiación ionizante y agotamiento de ozono), como en calidad de ecosistemas y uso de recursos, los resultados son nulos.

El perfil ambiental del RS, por tanto, se encuentra dominado por las emisiones de gases de efecto invernadero, en particular del metano (70 % de la composición del biogás), que explican prácticamente la totalidad de las cargas ambientales de este proceso, lo cual confirma que la disposición en relleno sanitario sin desgasificación constituye la opción menos favorable desde el punto de vista ambiental. La ausencia de beneficios por sustitución de energía o materiales refuerza este resultado, al no existir créditos ambientales que compensen las cargas generadas.

12.3.6.2.2. Tratamiento Mecánico (TM)

El tratamiento mecánico (TM) corresponde a la etapa de pretratamiento orientada a la separación de fracciones recuperables (papel, cartón, plásticos, metales) y a la reducción del volumen de residuos destinados a disposición final. Su desempeño ambiental depende principalmente del consumo energético de la operación y de la eficiencia en la recuperación de materiales.

Los resultados del ACV muestran que el TM presenta impactos positivos moderados en varias categorías, con un total de 5,86 mPt. Las cargas se distribuyen principalmente en:

- **Salud humana**, con 1,75 mPt, asociadas a emisiones indirectas derivadas del consumo energético.
- **Cambio climático**, con 1,72 mPt (15,12 kg CO₂ eq).
- **Recursos**, con 2,26 mPt, relacionados con el uso de energía primaria. Las categorías de ecosistemas aportan impactos muy reducidos (0,13 mPt).

El perfil del TM se caracteriza, por tanto, por un reparto equilibrado de cargas entre distintas áreas de protección, sin que ninguna de ellas domine de manera absoluta el balance ambiental, a diferencia de lo observado en el escenarios de disposición en relleno sanitario.

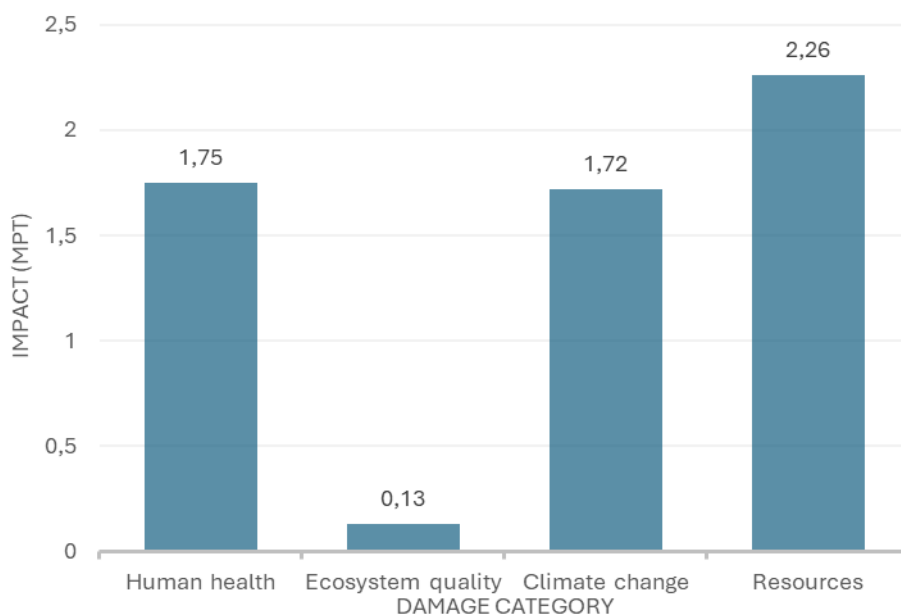


Figura 4. Impactos ambientales por categoría – TM (mPt)

La Figura 4 muestra que los impactos del tratamiento mecánico son de magnitud baja respecto a otros procesos, pero están distribuidos entre las categorías de salud humana, cambio climático y recursos. Esta distribución evidencia que el principal aporte ambiental del proceso está vinculado al consumo eléctrico requerido en la operación, mientras que la contribución a otras categorías es marginal.

12.3.6.2.3. Tratamiento Biológico (TB)

El tratamiento biológico (TB) corresponde a la estabilización de la fracción orgánica de los RSM, ya sea procedente de la separación en origen, del rechazo del tratamiento mecánico o del digestato generado en la digestión anaerobia. En este proceso se emplean tecnologías aerobias, principalmente compostaje, con el objetivo de reducir la carga contaminante de la materia orgánica y generar un producto valorizable como enmienda agrícola.

Los resultados del ACV muestran que el TB es uno de los procesos con mayor carga ambiental neta, alcanzando un total de 92,53 mPt. Las categorías con mayor contribución son (Figura 5):

- **Salud humana**, con 35,18 mPt, derivadas principalmente de emisiones asociadas al proceso de degradación y a los consumos energéticos.
- **Cambio climático**, con 29,98 mPt, equivalente a 298,68 kg CO₂ eq, originado por la emisión de gases de efecto invernadero durante la descomposición de la materia orgánica.
- **Recursos**, con 23,55 mPt, vinculados al uso de energía primaria en la operación del proceso.

En cuanto a la calidad de los ecosistemas, aunque el valor absoluto (3,82 mPt) es el menor de las cuatro categorías, su contribución no debe considerarse marginal. Este impacto refleja las emisiones que pueden afectar la acidificación y eutrofización de medios acuáticos y terrestres, así como la ocupación de suelo agrícola. Si bien cuantitativamente es inferior a las otras

categorías, cualitativamente añade una presión adicional sobre la biodiversidad y la resiliencia de los ecosistemas, reforzando el carácter ambientalmente intensivo del proceso.

A diferencia del tratamiento mecánico, donde los impactos eran reducidos y distribuidos, el TB presenta valores elevados y concentrados en las tres principales categorías (salud humana, cambio climático y recursos), que en conjunto explican más del 95 % del impacto total. Este comportamiento lo diferencia de otros procesos donde los impactos se concentran en una sola categoría, mostrando que en el TB los efectos ambientales son más diversificados.

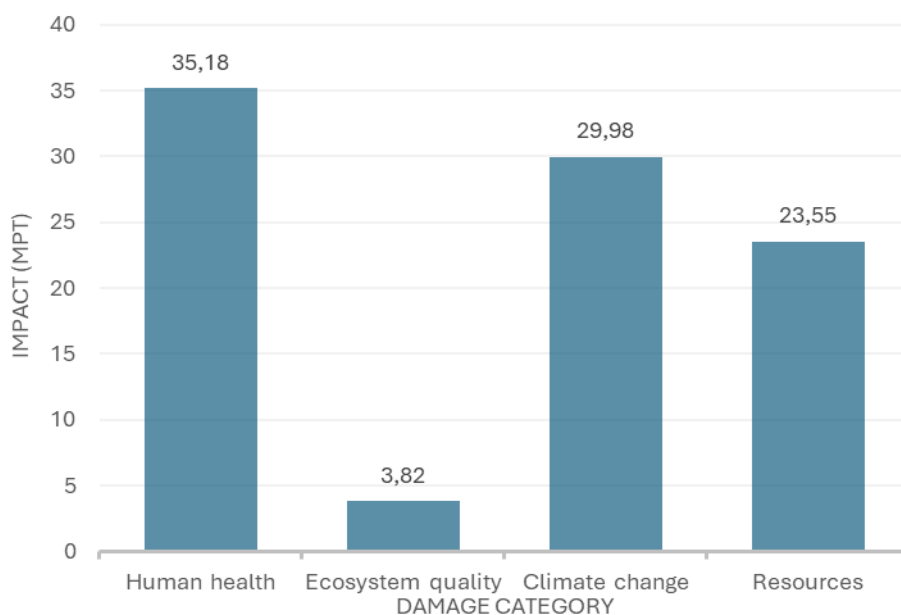


Figura 5. Impactos ambientales por categoría – TB (mPt)

12.3.6.2.4. Digestión Anaerobia (DA)

La digestión anaerobia (DA), también denominada biometanización, es un proceso de tratamiento biológico mediante el cual la fracción orgánica de los residuos sólidos municipales se degrada produciendo biogás y un digestato estabilizado. Este proceso tiene un doble efecto: por un lado, reduce la carga contaminante de la fracción orgánica, y por otro, genera un recurso energético renovable que puede aprovecharse para la producción de electricidad o calor.

Los resultados del ACV muestran que la DA presenta un perfil ambiental con un impacto total de 93,82 mPt, comparable en magnitud al tratamiento biológico aerobio (TB). La distribución de los impactos evidencia lo siguiente:

- **Salud humana**, con 44,05 mPt, constituye la categoría más afectada, debido tanto a las emisiones fugitivas del proceso como a las cargas indirectas derivadas del consumo de energía y materiales auxiliares.
- **Cambio climático**, con 18,89 mPt (189 kg CO₂ eq), presenta un valor relevante pero significativamente menor que en el caso del TB. Esto se explica por la recuperación parcial de metano en forma de biogás, lo que reduce las emisiones directas respecto a un tratamiento aerobio.

- **Recursos**, con 25,89 mPt, representan una contribución destacada, asociada al uso de energía primaria para la operación de la planta.
- **Ecosistemas**, con 4,99 mPt, muestran un valor relativamente bajo en comparación con las demás categorías, pero que debe interpretarse como una presión adicional vinculada a emisiones de compuestos acidificantes y eutrofizantes.

El perfil del proceso evidencia un compromiso entre cargas y beneficios: si bien la digestión anaerobia reduce el impacto climático en comparación con el compostaje, sigue generando impactos relevantes en salud humana y recursos. La contribución en ecosistemas, aunque cuantitativamente menor, completa un panorama en el que todas las áreas de protección resultan afectadas en diferente grado.

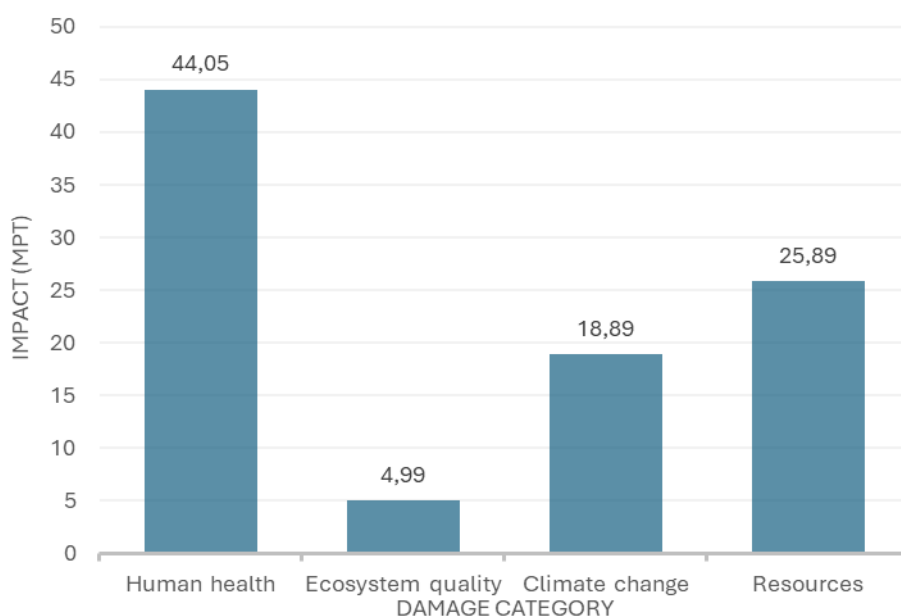


Figura 6. Impactos ambientales por categoría – DA (mPt)

La Figura 6 ilustra cómo la digestión anaerobia concentra sus impactos en salud humana y recursos, con una carga menor en cambio climático y una contribución relativamente reducida en ecosistemas. Este perfil refleja la doble naturaleza del proceso: por un lado, beneficios asociados al aprovechamiento energético del biogás, y por otro, cargas ambientales derivadas de la operación tecnológica del sistema.

12.3.6.2.5. Producción de Combustible Sólido Recuperado (CSR)

La producción de Combustible Sólido Recuperado (CSR) consiste en el acondicionamiento de las fracciones de residuos con poder calorífico (plásticos, papel, textiles no reciclables, etc.), que no pueden destinarse a aprovechamiento, para ser utilizadas como sustituto de combustibles fósiles en procesos industriales (principalmente cementeras). Este tratamiento convierte residuos en una fuente alternativa de energía, generando un producto valorizable que contribuye a la reducción de la demanda de recursos no renovables.

Los resultados del ACV muestran que el CSR alcanza un impacto total de 89,37 mPt, con la siguiente distribución:

- **Salud humana**, con 40,33 mPt, constituye la categoría de mayor impacto, asociada a emisiones de compuestos tóxicos y al consumo energético durante la preparación del material combustible.
- **Recursos**, con 27,98 mPt, reflejan la carga derivada del uso de energía primaria en la operación del proceso.
- **Cambio climático**, con 16,74 mPt (165,72 kg CO₂ eq), representa una contribución relevante, aunque menor que en los procesos biológicos.
- **Ecosistemas**, con 4,32 mPt, aportan la carga más baja, asociada a emisiones con efecto acidificante y eutrofizante, así como a la ocupación de suelo durante las fases de acondicionamiento y almacenamiento.

En comparación con otros procesos, el CSR presenta un perfil de impactos donde destacan salud humana y recursos, mientras que cambio climático y ecosistemas tienen una contribución secundaria. No obstante, al tratarse de un proceso que produce un sustituto de combustibles fósiles, estos resultados deben interpretarse considerando los beneficios ambientales adicionales modelados mediante la expansión de sistema, los cuales se contabilizan en el análisis agregado de alternativas.

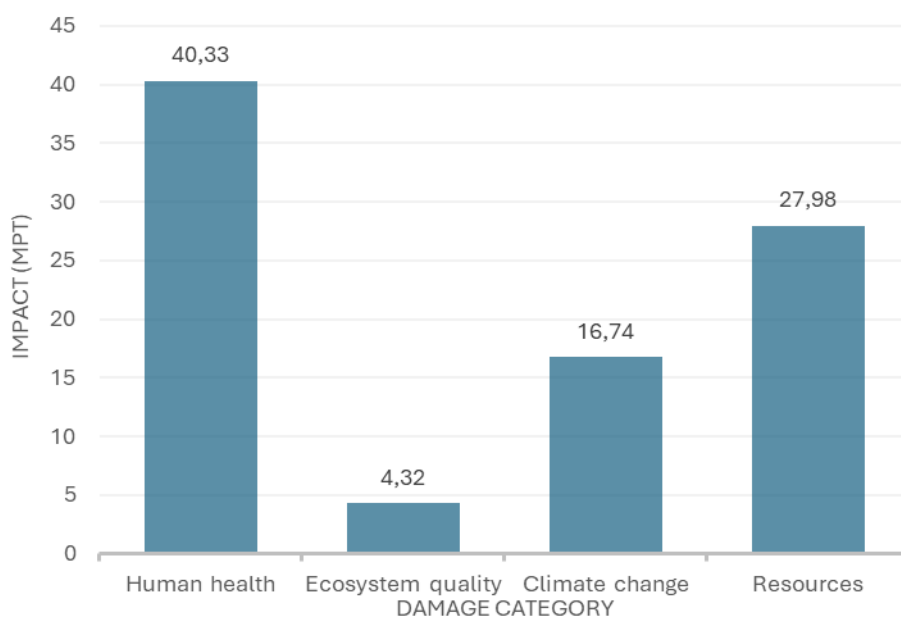


Figura 7. Impactos ambientales por categoría – CSR (mPt)

La Figura 7 muestra cómo el CSR concentra sus impactos en salud humana y recursos, con contribuciones menores en cambio climático y ecosistemas. Este perfil refleja que se trata de un proceso intensivo en energía, pero con un importante potencial de compensación ambiental cuando se contabiliza la sustitución de combustibles convencionales en escenarios posteriores.

12.3.6.2.6. Síntesis y comparación transversal de los procesos de tratamiento evaluados

El análisis individual de los procesos de tratamiento ha permitido identificar el perfil ambiental característico de cada tecnología y establecer una jerarquía de impactos que puede



interpretarse como una evolución técnica progresiva desde el escenario más básico hacia configuraciones de mayor complejidad.

Los resultados del análisis muestran que cada tecnología presenta características ambientales distintivas, tanto en términos de magnitud de impactos como de distribución entre categorías de daño:

- **Disposición en relleno sanitario sin desgasificación (RS)** constituye el punto de partida del análisis, concentrando prácticamente todo su impacto en la categoría de cambio climático con la mayor carga del conjunto (310,96 kg CO₂ eq). La ausencia de captación del biogás implica la mayor contribución relativa a las emisiones de gases de efecto invernadero de todas las opciones evaluadas.
- **Tratamiento mecánico (TM)** se incorpora como proceso de apoyo operativo que clasifica y acondiciona los residuos. Presenta impactos moderados y distribuidos de forma equilibrada entre varias categorías, con cargas relativamente bajas (15,12 kg CO₂ eq) que apenas penalizan el resultado climático, reflejando su función complementaria en el sistema de tratamiento.
- **Tratamiento biológico (TB) y digestión anaerobia (DA)** representan la intensificación de los impactos asociada al tratamiento de biorresiduos. Ambos procesos presentan las mayores cargas absolutas del conjunto, concentradas principalmente en salud humana, cambio climático y recursos, aunque con un aporte adicional en ecosistemas. El TB genera cargas elevadas tanto en cambio climático (298,68 kg CO₂ eq) como en las demás categorías, mientras que la DA, considerada como proceso aislado, se sitúa por debajo del TB en potencial de calentamiento global (189,00 kg CO₂ eq), aunque cuando coexiste con él suma cargas al sistema.
- **Producción de combustible sólido recuperado (CSR)** muestra un perfil dominado por salud humana y recursos, añadiendo 165,72 kg CO₂ eq por su acondicionamiento energético. Presenta contribuciones menores en cambio climático y ecosistemas, pero en el alcance definido no introduce créditos por sustitución al excluirse su aprovechamiento posterior, aunque mantiene un alto potencial de beneficios cuando se consideran los efectos de sustitución de combustibles fósiles.

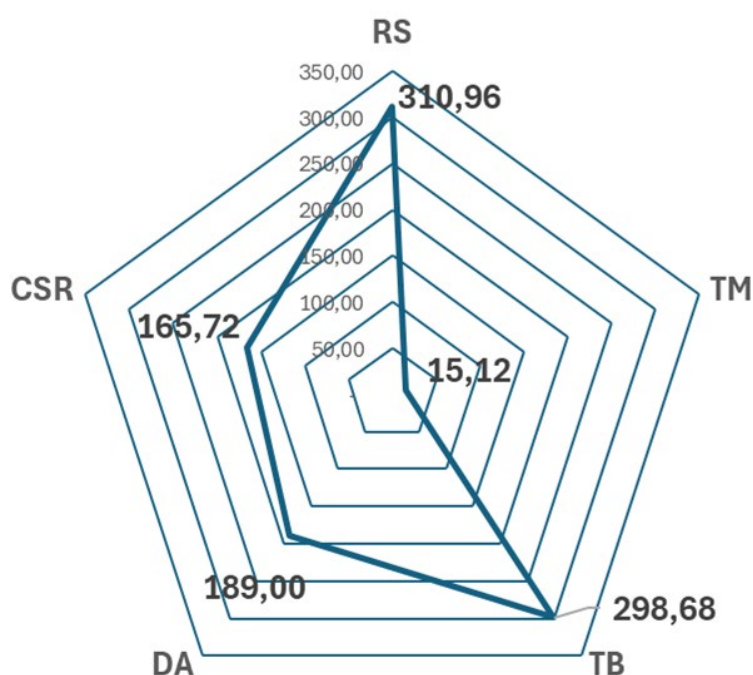


Figura 8. Global Warming por procesos (Emisiones de CO₂-(Kg CO₂ eq))

La Figura 8 compara las emisiones netas de CO₂ asociadas a cada línea de tratamiento evaluada de manera independiente.

El **Relleno Sanitario (RS)** es la opción con mayores emisiones (≈ 311 kg CO₂ eq), debido a la descomposición no controlada de la fracción orgánica, que libera metano y otros gases de efecto invernadero sin aprovechamiento energético, mientras que el **Tratamiento Mecánico (TM)** se encuentra en el extremo opuesto, registrando el valor más bajo (≈ 15 kg CO₂ eq), ya que se limita a la separación de materiales reciclables, generando beneficios ambientales por sustitución de materias primas vírgenes y con un consumo energético relativamente bajo en comparación con procesos de transformación biológica o energética.

El **Tratamiento Biológico (TB)** muestra un nivel elevado de emisiones (≈ 299 kg CO₂ eq), debido a la degradación aerobia de la fracción orgánica, que conlleva emisiones directas de CO₂ y consumos energéticos en el proceso, aunque aporta como ventaja la obtención de material compostado. Por su parte, la **Digestión Anaerobia (DA)** (≈ 189 kg CO₂ eq) representa una mejora clara frente al compostaje: en este caso, las emisiones derivadas de la degradación de la fracción orgánica son capturadas y transformadas en biogás, lo que permite su aprovechamiento energético y la consiguiente reducción significativa de emisiones frente al TB.

Finalmente, la **producción de Combustible Sólido Recuperado (CSR)** (≈ 166 kg CO₂ eq) también genera beneficios ambientales relevantes al sustituir combustibles fósiles en usos industriales. No obstante, requiere consumos adicionales de energía en su preparación y acondicionamiento, lo que explica que su huella no sea tan baja como la del TM.

En conjunto, este análisis confirma que los procesos presentan perfiles ambientales claramente diferenciados, lo que justifica su evaluación como bloques independientes dentro del ACV y proporciona la base técnica para el análisis posterior de las alternativas de gestión,

entendidas como combinaciones de procesos, con el fin de valorar el comportamiento ambiental agregado de cada escenario y establecer comparaciones robustas entre ellos.

12.3.6.3. Resultados por alternativas de gestión

El análisis de alternativas constituye el eje central del presente estudio, pues permite valorar el desempeño ambiental de sistemas integrados de gestión de residuos sólidos municipales. A diferencia del análisis por procesos, en este caso los resultados reflejan el efecto combinado de diferentes tecnologías que actúan de manera complementaria dentro de cada alternativa, ofreciendo así una visión más realista de las configuraciones posibles de gestión.

Las alternativas evaluadas se describen previamente en las Tabla 64 y Tabla 65, donde se detalla su composición en términos de procesos de tratamiento y su definición operativa. Cada escenario se ha modelado como una combinación coherente de tecnologías, de manera que los impactos y beneficios de cada proceso se agregan siguiendo la lógica de flujo establecida para la fracción de residuos tratada.

Tabla 64. Composición de Alternativas con procesos de tratamiento. Elaboración propia.

ALTERATIVA	PROCESOS
Alternativa A	TM + TB + RS
Alternativa D	TM + TB + CSR + RS
Alternativa E	TM + TB + CSR + DA + RS
Alternativa F	TM + DA + TB + RS

Tabla 65. Definición de alternativas de tratamiento consideradas en el estudio. Elaboración propia.

Alternativa	Definición de la Alternativa	Tratamiento previo a la valorización	Tecnología para recuperación de energía	Eliminación
Alternativa A	Planta de tratamiento mecánico biológico y relleno sanitario	Mecánico Biológico	Sin recuperación de energía	Relleno sanitario
Alternativa D	Planta de tratamiento mecánico biológico y planta de producción de Combustible Sólido Recuperado y relleno sanitario	Mecánico Biológico	Combustible sólido recuperado	Relleno sanitario
Alternativa E	Planta de tratamiento mecánico biológico, planta de producción de Combustible Sólido Recuperado, planta de digestión anaeróbica de la fracción orgánica y relleno sanitario	Mecánico Biológico	Combustible sólido recuperado Biometanización	Relleno sanitario
Alternativa F	Planta de tratamiento mecánico biológico y planta de digestión anaeróbica de la fracción orgánica y relleno sanitario	Mecánico Biológico	Biometanización	Relleno sanitario



La **cuantificación de los impactos ambientales** de estas alternativas se presenta en la Tabla 66, expresados en unidades de mPt (milliPoints) por tonelada de RSM tratada. Esta normalización garantiza la comparabilidad entre escenarios y categorías de daño, aun cuando se trate de magnitudes muy distintas (por ejemplo, kg de CO₂ equivalente frente a MJ de energía o m² de ocupación de suelo). Además, se incluyen los porcentajes relativos que indican el peso específico de cada categoría en el impacto total de cada alternativa, lo que facilita la identificación de los procesos y áreas de protección más relevantes.

Tabla 66. Cuantificación de los impactos ambientales por alternativa, por cada tonelada de residuo tratada.

Damage category	Impact category	Unit	Alternative			
			A	D	E	F
Human health	Carcinogens	kg C2H3Cl eq	5,93	12,37	18,62	12,18
	Non-carcinogens	kg C2H3Cl eq	3,94	8,26	13,29	8,97
	Respiratory inorganics	kg PM2.5 eq	0,33	0,69	1,09	0,73
	Ionizing radiation	Bq C-14 eq	4331,85	8925,97	11093,46	6499,34
	Ozone layer depletion	kg CFC-11 eq	0	0	0	0
	Respiratory organics	kg C2H4 eq	0,31	0,38	0,46	0,39
	Total impact	mPt	37	77,33	121,38	81,05
		%	28,49%	35,27%	38,77%	36,23%
Ecosystem quality	Aquatic ecotoxicity	kg TEG water	19347,75	40384,86	63724,6	42687,49
	Terrestrial ecotoxicity	kg TEG soil	5102,28	10691,67	17190,57	11601,18
	Terrestrial acid/nutri	kg SO2 eq	5,47	11,44	18,06	12,09
	Land occupation	m2org.arable	6,5	13,63	22,01	14,88
	Aquatic acidification	kg SO2 eq	1,92	4,02	6,32	4,22
	Aquatic eutrophication	kg PO4 P-lim	0,04	0,09	0,14	0,09
	Total impact	mPt	3,95	8,27	13,26	8,94
		%	3,04%	3,77%	4,24%	4,00%
Climate change	Global warming	kg CO2 eq	624,76	790,48	979,48	813,76
	Total impact	mPt	63,11	79,85	98,74	82
		%	48,59%	36,42%	31,54%	36,66%
Resources	Non-renewable energy	MJ primary	3919,92	8168,53	12138,46	7889,85
	Mineral extraction	MJ surplus	3,82	7,97	12,05	7,9
	Total impact	mPt	25,81	53,79	79,68	51,7
		%	19,87%	24,53%	25,45%	23,11%
Total	mPt		129,87	219,24	313,06	223,69

El análisis se estructura en dos niveles complementarios:

- **Examen individual de cada alternativa**, destacando la magnitud de los impactos y la distribución interna entre categorías de daño.
- **Comparación transversal entre escenarios**, que permite identificar patrones comunes, diferencias clave y, en particular, el potencial de mejora ambiental frente a la situación de referencia (Alternativa 0).

De esta manera, los resultados obtenidos constituyen una base robusta para la toma de decisiones en el ámbito municipal, al poner de manifiesto las ventajas y limitaciones de cada escenario tecnológico de gestión de residuos.

12.3.6.3.1. Alternativa A

La **alternativa A** integra el tratamiento mecánico (TM), el tratamiento biológico aerobio (TB) y el relleno sanitario (RS) como disposición final. El impacto ambiental total asociado asciende a 129,87 mPt.

La distribución de los resultados evidencia un predominio de la categoría de Cambio climático, con 63,11 mPt (48,59 %), seguida de Salud humana con 37 mPt (28,49 %), Recursos con 25,81 mPt (19,87 %) y Calidad de ecosistemas con 3,95 mPt (3,04 %) (Figura 9).

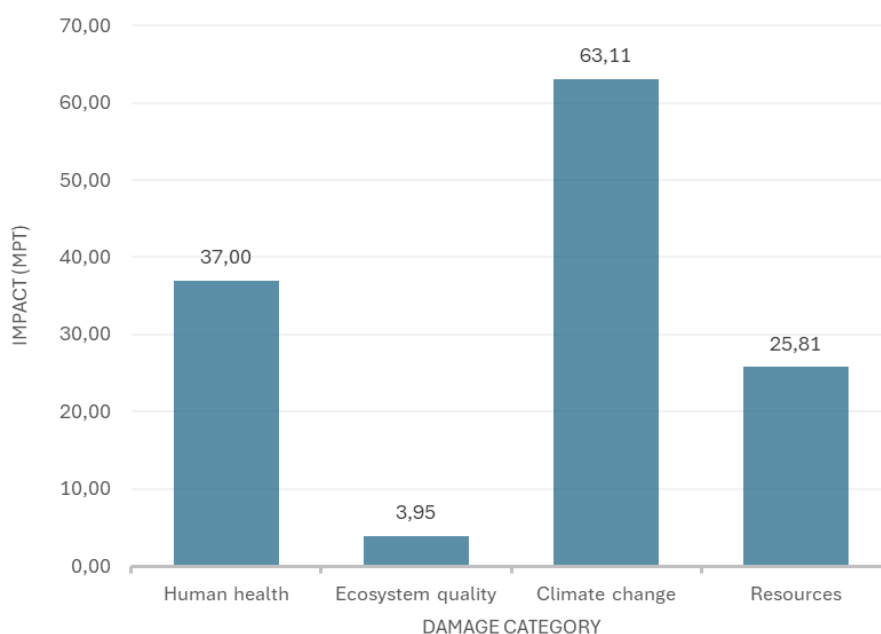


Figura 9. Distribución de impactos ambientales por categorías en la Alternativa A (mPt).

Descripción de las categorías de impacto:

- El cambio climático concentra casi la mitad del impacto, explicado principalmente por las emisiones derivadas de la descomposición no controlada en el relleno sanitario (310,96 kg CO₂ eq) y por las generadas en el proceso biológico aerobio (298,68 kg CO₂ eq). El tratamiento mecánico apenas aporta 15,12 kg CO₂ eq, confirmando su bajo peso climático.



- En la categoría de salud humana, el tratamiento biológico es el principal contribuyente debido a su consumo energético y a las emisiones de compuestos inorgánicos respirables (PM2.5) y radiación ionizante asociadas a la generación de electricidad de respaldo.
- Los impactos en recursos (25,81 mPt) derivan también del TB, por su uso intensivo de energía y materiales auxiliares, mientras que el TM contribuye con consumos eléctricos más moderados.
- En cuanto a la calidad de ecosistemas (3,95 mPt), las cargas se relacionan con la ecotoxicidad acuática y terrestre, igualmente ligadas al tratamiento biológico, aunque con un peso porcentual reducido dentro del total de la alternativa.

En términos absolutos, las emisiones climáticas de la alternativa A alcanzan 624,76 kg CO₂ eq, con contribución dominante del relleno sanitario y del tratamiento biológico, que en conjunto explican más del 95 % de dichas emisiones.

En síntesis, la Alternativa A se caracteriza por:

- Un fuerte peso climático debido a la combinación del relleno sanitario y el tratamiento biológico.
- Impactos en salud humana y recursos dominados por el carácter intensivo en energía del TB.
- Una participación marginal del TM, que actúa como línea de apoyo en la recuperación de materiales y genera cargas ambientales mínimas en comparación con los procesos de transformación biológica y disposición final.

12.3.6.3.2. Alternativa D

La **alternativa D** combina el tratamiento mecánico (TM), el tratamiento biológico aerobio (TB), la producción de combustible sólido recuperado (CSR) y el relleno sanitario (RS) como disposición final. El impacto total asciende a 219,24 mPt.

La distribución de los resultados muestra un predominio de la categoría Cambio climático, con 79,85 mPt (36,42 %), seguida de Salud humana con 77,33 mPt (35,27 %), Recursos con 53,79 mPt (24,53 %) y Ecosistemas con 8,27 mPt (3,77 %) (Figura 10).

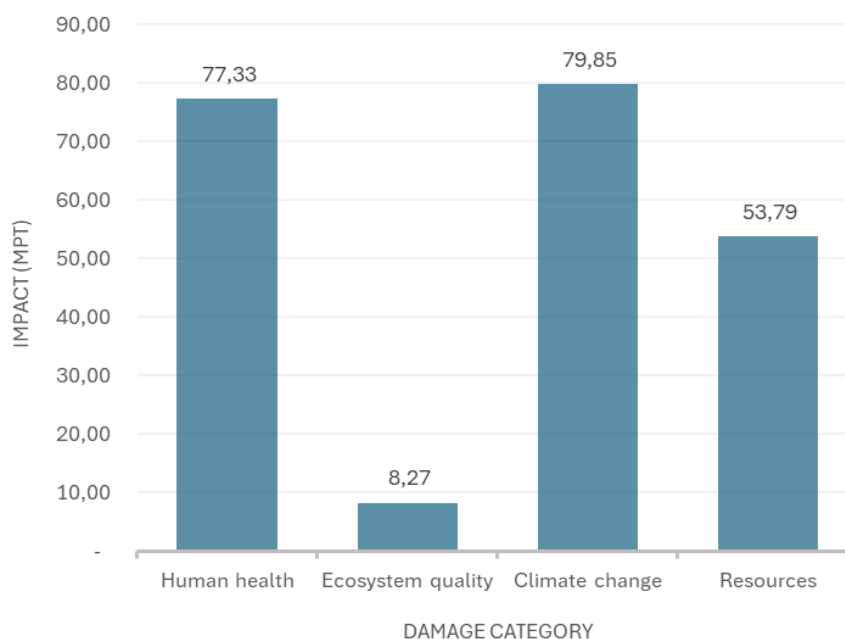


Figura 10. Distribución de impactos ambientales por categorías en la Alternativa D (mPt).

Descripción de las categorías de impacto:

- En cambio climático, el impacto está dominado por el relleno sanitario y el tratamiento biológico, que generan 310,96 y 298,68 kg CO₂ eq respectivamente. Ambos procesos concentran la mayor parte de las emisiones, mientras que el CSR (165,72 kg CO₂ eq) y el TM (15,12 kg CO₂ eq) tienen un peso comparativamente menor.
- En salud humana, las cargas principales proceden del TB y del CSR, debido a su elevada demanda energética y a las emisiones asociadas a contaminantes respirables y radiación ionizante.
- En recursos, destacan nuevamente el TB y el CSR, responsables de la mayor parte del consumo energético y, por tanto, de un impacto de 53,79 mPt.
- En ecosistemas, los efectos son reducidos (8,27 mPt) y se concentran en la ecotoxicidad acuática y terrestre, derivados del TB y el CSR.

Las emisiones totales de CO₂ eq de la alternativa ascienden a 790,48 kg, con contribuciones principales del RS y del TB, y aportes secundarios del CSR y del TM.

La principal diferencia respecto a la alternativa A proviene de la inclusión del CSR, que introduce cargas adicionales en términos de consumo energético y emisiones asociadas a su acondicionamiento. En este estudio no se han contabilizado beneficios externos por su valorización energética en procesos de combustión, lo que convierte al CSR en un factor de penalización que explica buena parte del incremento observado en las categorías de *Salud humana* y *Recursos*.

En cambio, el relleno sanitario y el tratamiento biológico aerobio mantienen un papel central en el perfil climático, concentrando la mayor parte de las emisiones de gases de efecto invernadero. El total de emisiones climáticas asciende a 790,48 kg CO₂ eq, distribuidas entre

el relleno sanitario (310,96 kg), el tratamiento biológico (298,68 kg), el CSR (165,72 kg) y el tratamiento mecánico (15,12 kg).

Este resultado confirma que la alternativa D presenta una carga climática superior a la alternativa A, aunque en menor medida que las alternativas que integran digestión anaerobia. En conjunto, el perfil de la alternativa D pone de manifiesto cómo la introducción de procesos orientados a la valorización energética, cuando no se asignan créditos por su uso final, genera un efecto acumulativo que incrementa significativamente el impacto global.

12.3.6.3.3. Alternativa E

La **alternativa E** contempla la integración de todas las unidades de tratamiento consideradas en este estudio: tratamiento mecánico (TM), tratamiento biológico aerobio (TB), producción de combustible sólido recuperado (CSR), digestión anaerobia (DA) y relleno sanitario (RS). El impacto total asociado a este escenario asciende a 279,88 mPt, lo que representa el valor más elevado entre todas las alternativas evaluadas.

La distribución de los impactos muestra un predominio de la categoría Salud humana, con 115,48 mPt (41,26 %), seguida de Cambio climático con 79,43 mPt (28,38 %), Recursos con 72,13 mPt (25,77 %) y, finalmente, Ecosistemas con 12,84 mPt (Figura 11)

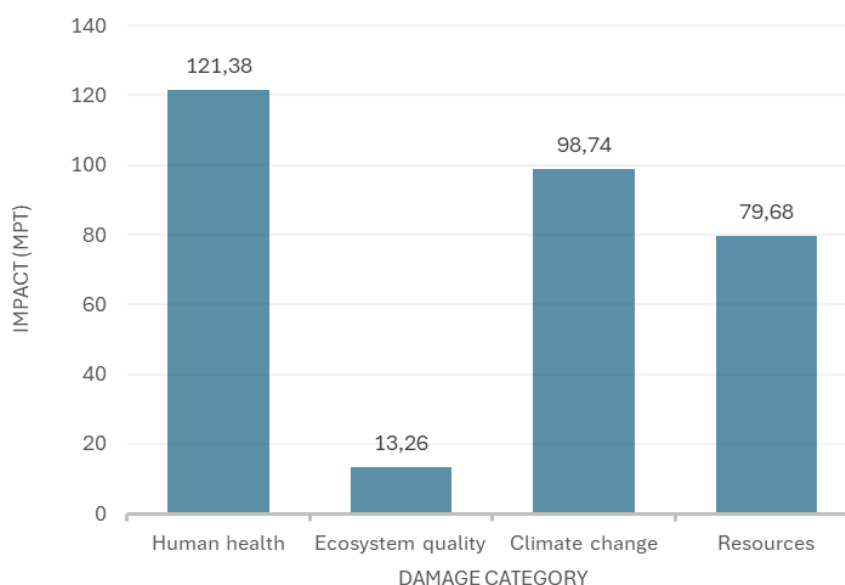


Figura 11. Distribución de impactos ambientales por categorías en la Alternativa E (mPt).

Descripción de las categorías de impacto

- **Salud humana:** el peso de esta categoría se explica por la concurrencia de los procesos biológicos y de acondicionamiento energético. El TB, la DA y el CSR concentran las mayores cargas por su demanda energética y emisiones asociadas a la operación.
- **Cambio climático:** el impacto climático asciende a 79,43 mPt, equivalentes a 788,26 kg CO₂ eq. Las principales contribuciones provienen del TB (298,68 kg CO₂ eq), la DA (189,00 kg CO₂ eq), el CSR (165,72 kg CO₂ eq) y, en menor medida, el RS (119,74 kg CO₂ eq) y el TM (15,12 kg CO₂ eq). La coexistencia de procesos intensivos en emisiones (TB,

DA y CSR) determina que este escenario presente el mayor valor climático de todos los considerados.

- **Recursos:** con 72,13 mPt, esta categoría refleja la fuerte intensidad en consumo de energía primaria derivada de la integración de todas las operaciones. El efecto combinado de TM, TB, DA y CSR sitúa este indicador en valores muy superiores a los observados en las alternativas D y F.
- **Ecosistemas:** alcanza 12,84 mPt, lo que si bien representa la categoría de menor peso relativo, constituye el valor absoluto más alto de todo el conjunto de escenarios, debido a la acumulación de emisiones asociadas a los procesos biológicos y al acondicionamiento de combustible.

En comparación con la alternativa D (219,24 mPt), la incorporación de la digestión anaerobia junto con el TB y el CSR incrementa de manera notable las categorías de *Salud humana*, *Clima* y *Recursos*, evidenciando la penalización derivada de la combinación simultánea de estos procesos. Frente a la alternativa F (223,69 mPt), cuya descripción se adjunta en el siguiente apartado(ver apartado 12.3.6.3.4), la presencia adicional del CSR en la E explica el aumento significativo tanto en *Clima* como en *Recursos*, situando este escenario como el más desfavorable en términos globales y también en el indicador climático.

En consecuencia, la alternativa E representa el límite superior de cargas ambientales dentro del alcance de este análisis, poniendo de relieve que la mayor complejidad tecnológica y la integración de múltiples procesos no siempre se traducen en mejoras ambientales, especialmente cuando no se incluyen créditos por la valorización energética del CSR.

12.3.6.3.4. Alternativa F

La **alternativa F** integra tratamiento mecánico (TM), digestión anaerobia (DA), tratamiento biológico aerobio (TB) y relleno sanitario (RS). El impacto total asociado asciende a 223,69 mPt, un valor muy próximo al de la Alternativa D, aunque con una distribución interna diferente.

La distribución muestra que Salud humana alcanza 75,15 mPt (33,6 %), seguida de Cambio climático con 62,69 mPt (28,0 %), Recursos con 44,15 mPt (19,7 %) y Ecosistemas con 8,52 mPt (3,8 %) (Figura 12).

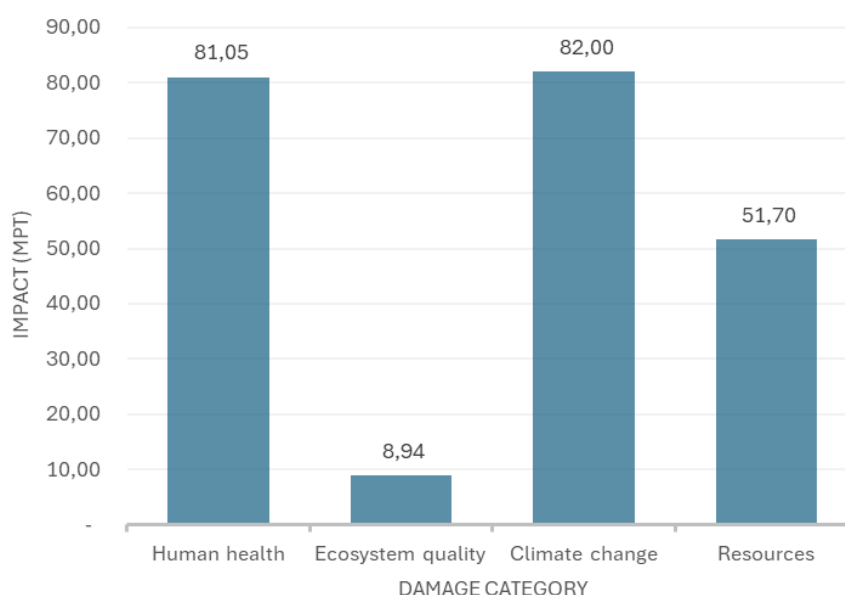


Figura 12. Distribución de impactos ambientales por categorías en la Alternativa F (mPt).

Descripción de las categorías de impacto

- **Salud humana:** el valor elevado se explica por la presencia simultánea de DA y TB, que generan emisiones y consumos energéticos adicionales vinculados a sus operaciones.
- **Cambio climático:** el impacto climático asciende a 622,54 kg CO₂ eq, de los cuales 298,68 kg corresponden al TB, 189,00 kg a la DA, 119,74 kg al RS y 15,12 kg al TM. La combinación de DA y TB resulta más intensiva en emisiones de gases de efecto invernadero que la configuración con CSR de la Alternativa D.
- **Recursos:** presenta un valor inferior al de la alternativa D, ya que en este escenario no se incluye el acondicionamiento del CSR, proceso altamente demandante de energía.
- **Ecosistemas:** alcanza 8,52 mPt, nivel similar al de la alternativa D, con cargas principalmente asociadas a las emisiones del TB y de la DA.

En comparación con la alternativa D (219,24 mPt), la alternativa F presenta un perfil global semejante, aunque con una penalización más marcada en las categorías de Salud humana y Cambio climático. Esto se debe a la combinación simultánea de digestión anaerobia y tratamiento biológico aerobio, que concentran gran parte de las cargas. En ausencia del CSR, la categoría de Recursos se reduce ligeramente, pero no lo suficiente como para compensar el incremento en emisiones climáticas y en impactos sobre la salud humana.

En conjunto, la alternativa F se sitúa en un nivel de impacto comparable a la D, pero con un perfil más desfavorable en términos de emisiones de gases de efecto invernadero.

12.3.6.3.5. Comparación transversal de alternativas

El análisis transversal de las alternativas permite apreciar cómo la integración de procesos de distinta naturaleza modifica de manera sustancial el perfil ambiental de cada escenario. La comparación de los impactos totales muestra con claridad que la complejidad creciente en el sistema de gestión se traduce en un incremento acumulativo de cargas:

Alternativa A (624,76 mPt) < Alternativa D (790,48 mPt) < Alternativa F (813,76 mPt) < Alternativa E (979,48 mPt).

Tal como se observa en la Figura 13. Impacto total por alternativa (mPt). Figura 13, esta jerarquía se refleja en la distribución de impactos por categorías, donde *Salud humana* y *Cambio climático* concentran los valores más elevados en todos los escenarios. El relleno sanitario sin desgasificación constituye en todos los casos un punto estructural de emisiones, mientras que los procesos biológicos (TB y DA) y el acondicionamiento para CSR aportan cargas adicionales que explican el ascenso progresivo en las alternativas más complejas.

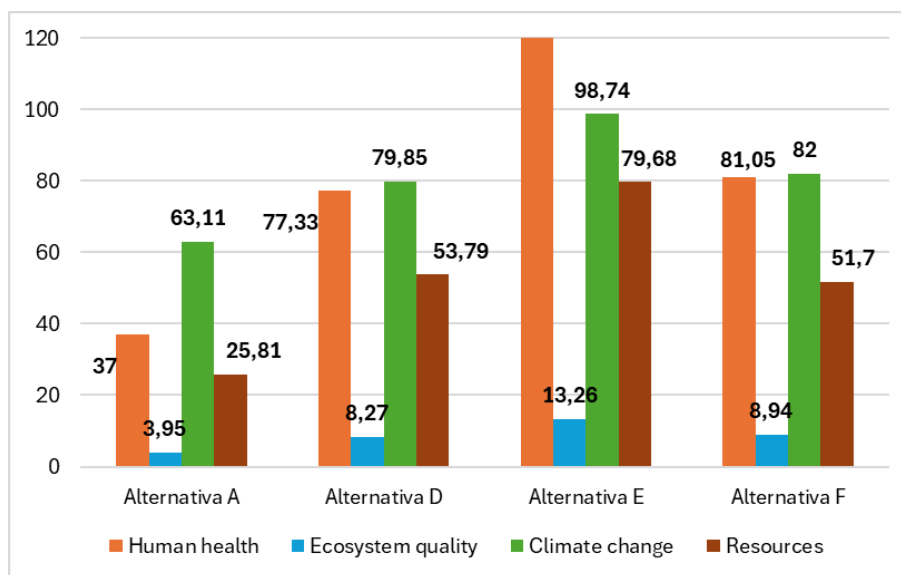


Figura 13. Impacto total por alternativa (mPt).

La lectura detallada por categorías confirma estas tendencias:

- **Cambio climático** emerge como el criterio jerárquico más relevante, con la siguiente secuencia:

A = 433,54 kg CO₂eq < D = 599,26 kg CO₂eq < F = 622,54 kg CO₂eq < E = 788,26 kg CO₂eq

La acumulación de emisiones procedentes del TB (≈298,7 kg CO₂ eq), la DA (≈189,0 kg CO₂ eq), el CSR (≈165,7 kg CO₂ eq) y el propio relleno sanitario (≈119,7 kg CO₂ eq) explica el fuerte peso de esta categoría.

- Salud humana adquiere gran relevancia en escenarios con procesos biológicos intensivos, alcanzando su máximo en la Alternativa E (115,48 mPt).
- Recursos está dominada por el consumo energético adicional de CSR y, en menor medida, de TB y DA, lo que explica que las alternativas D y E se sitúen claramente por encima de A y F.
- Ecosistemas, aunque de menor peso relativo, refleja también la acumulación de emisiones en configuraciones complejas, con el máximo nuevamente en la alternativa E.

En la Figura 14 se sintetizan los impactos totales, mostrando cómo la alternativa A ocupa la posición más contenida, mientras que la E se expande hasta casi 1.000 Kg CO₂ eq situándose como el escenario de peor desempeño.

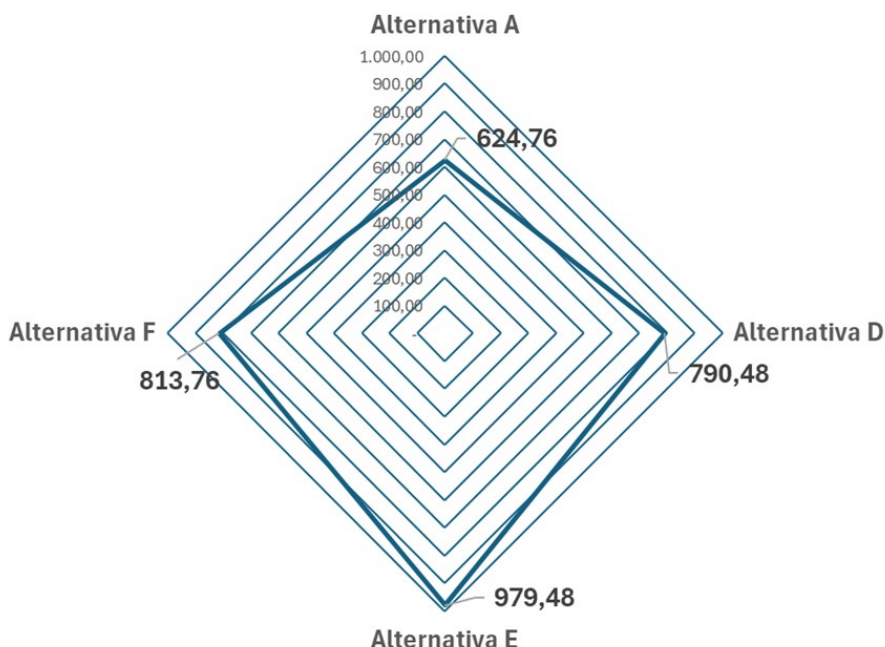


Figura 14. Global Warming por alternativas (Emisiones de CO₂-Kg CO₂ eq).

De forma cualitativa, pueden destacarse las siguientes diferencias:

- **Alternativa A:** Se configura como la opción más equilibrada, con el menor impacto total y las menores emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Alternativa D:** Introduce el CSR, lo que eleva de forma clara las cargas en *Recursos* y *Salud humana*.
- **Alternativa F:** Mantiene un perfil próximo al de D, pero la combinación de DA y TB incrementa las emisiones en *Clima* y *Salud humana*.
- **Alternativa E:** Al integrar simultáneamente TM, TB, DA y CSR, alcanza el límite superior en todas las categorías y en el total agregado.

En conclusión, el análisis transversal evidencia que la alternativa A es la opción más adecuada desde la perspectiva del ciclo de vida, al presentar el mejor desempeño tanto en impactos globales como en emisiones de CO₂. Frente a ella, las alternativas más sofisticadas incrementan las cargas sin ofrecer beneficios compensatorios suficientes.

12.3.7. Huella de carbono del sistema recolección-tratamiento

En el análisis de ciclo de vida desarrollado previamente se excluyó expresamente la fase de recolección y transporte de residuos, con el propósito de limitar el alcance a los procesos de tratamiento y asegurar la comparabilidad entre las diferentes alternativas planteadas. Sin embargo, dado que la operación del sistema de gestión de residuos no se limita al tratamiento en planta, resulta necesario considerar también la contribución de las rutas de recolección,



que difiere en función de los distintos escenarios operativos previstos. La incorporación de este componente permite obtener una visión más completa de la huella de carbono asociada al sistema en su conjunto y, en consecuencia, facilita la toma de decisiones estratégicas a partir de un balance total de emisiones.

Para el cálculo de las emisiones de dióxido de carbono generadas por las rutas de recolección de residuo sólido municipal se ha optado por utilizar la calculadora oficial FECOC³⁰ desarrollada por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), Unidad Administrativa Especial del orden nacional, de carácter técnico, adscrita al Ministerio de Minas y Energía de Colombia y regida por la Ley 143 de 1994 y por el Decreto 1258 del 17 de junio de 2013. La calculadora FECOC emplea factores de emisión oficiales, específicamente adaptados a las características del combustible colombiano, y elaborados a partir de estudios y metodologías reconocidas tanto a nivel nacional como internacional. Dichos factores expresan la cantidad de gases de efecto invernadero generados por unidad de combustible consumido, lo que permite una estimación precisa y estandarizada de las emisiones directas derivadas del uso de diésel B2, combustible ampliamente empleado en el transporte pesado en Colombia. Es importante señalar que la calculadora FECOC constituye la herramienta oficial vigente para este tipo de estimaciones, no existiendo actualizaciones más recientes de sus factores de emisión que reemplacen o modifiquen los valores publicados en 2016. Estos continúan siendo referenciados por organismos nacionales como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y la propia UPME para la elaboración de inventarios y reportes oficiales de emisiones. La elección de FECOC garantiza, por tanto, la coherencia metodológica con los reportes nacionales y con los compromisos internacionales asumidos por Colombia. Si bien existen metodologías alternativas de ámbito internacional, ninguna de ellas incorpora factores de emisión ajustados a las condiciones específicas de los combustibles colombianos, lo cual podría dar lugar a resultados menos representativos de la realidad nacional y, en consecuencia, de menor utilidad para la planificación y la toma de decisiones locales. La metodología FECOC se encuentra alineada con las directrices del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), cuenta con el respaldo de las autoridades nacionales y se constituye como referencia técnica obligada para el cálculo de emisiones directas en inventarios corporativos y sectoriales. Su aplicación en este estudio asegura una cuantificación robusta y fiable de las emisiones de la fase de recolección, lo que refuerza la validez de los resultados obtenidos.

El cálculo de emisiones se ha realizado a partir de los parámetros de actividad definidos en cada escenario de recolección, considerando el número de vehículos, la distancia recorrida diariamente, los días de operación semanal, los días de operación anuales y el consumo específico de combustible en galones cada 100 kilómetros. A partir de estos datos se ha estimado el consumo anual de combustible de cada escenario y, mediante la aplicación del factor de emisión proporcionado por FECOC para el diésel B2, se han obtenido las emisiones totales de dióxido de carbono expresadas en kilogramos por año. Dado que el análisis de ciclo de vida expresa los resultados en función de una tonelada de residuo tratado, es necesario

³⁰ https://app.upme.gov.co/Calculadora_Emisiones1/new/calculadora.html



adaptar las emisiones de la recolección a la misma unidad funcional. Para ello se ha optado por transformar los valores absolutos de emisiones anuales en emisiones específicas por tonelada de residuo gestionado. Esta opción resulta metodológicamente más coherente, pues permite mantener los resultados en los mismos términos que los ya calculados para el tratamiento y, al mismo tiempo, facilita la comparación directa entre alternativas. La conversión se ha realizado considerando un flujo total anual de 25.500 toneladas de residuo. Aunque la cifra real de generación estimada se sitúa en 25.446 toneladas, se ha redondeado al alza con el fin de simplificar los cálculos y ofrecer una estimación prudente de las emisiones, que resulta más representativa para la planificación de estrategias a nivel anual.

En la Tabla 67 se presentan los resultados de emisiones de la fase de recolección correspondientes a cada escenario, expresados tanto en términos anuales (kg CO₂/año) como específicos (kg CO₂/t). Esta información constituye la base para la integración de la recolección con las alternativas de tratamiento previamente modeladas.



Tabla 67. Emisiones de la recolección por escenario

Escenario	Tipo Recogida	Tipo Vehículo	N° vehículos	km/día, vehículo	Km totales	días/semana	días/año	Consumo (gal/100km)	Consumo (gal/día)	Consumo (gal/año)	Emisiones calculadas (kg CO ₂ /año)	Emisiones calculadas (kg CO ₂ /Tn)
Escenario 0	Ruta Recogida Mixta	C.R.C. 25 yd ³ C.T.	7	140	980	6	312	6,60	64,72	20193,31	204.941,88	8,04
Escenario 1	Ruta Recogida Mixta	C.R.C. 25 yd ³ C.T.	7	140	980	6	312	6,60	64,72	20193,31	204.941,88	8,04
	Ruta Grandes Productores	C.R.C. 12.5 yd ³ C.T.	1	100	100	7	365	4,23	4,23	1542,76	15.657,52	0,61
Escenario 2	Ruta Grandes Productores	Vehículo Caja abierta	3	95	285	7	365	2,64	7,53	2748,05	27.889,95	1,09
		C.R.C. 25 yd ³ C.T.	5	140	700	6	312	6,60	46,23	14423,79	146.387,06	5,74
	Ruta Recogida Mixta + Orgánica separada	C.R.C. 18+7 m ³ C.T.	2	140	280	6	312	6,60	18,49	5769,52	58.554,82	2,30
	Ruta Grandes Productores	C.R.C. 12.5 yd ³ C.T.	1	100	100	7	365	4,23	4,23	1542,76	15.657,52	0,61
		Vehículo Caja abierta	3	95	285	7	365	2,64	7,53	2748,05	27.889,95	1,09
Escenario 3	Ruta Recogida Mixta + Organica separada	C.R.C. 18+7 m ³ C.T.	7	140	980	6	312	6,60	64,72	20193,31	204.941,88	8,04
	Ruta Grandes Productores	C.R.C. 12.5 yd ³ C.T.	1	100	100	7	365	4,23	4,23	1542,76	15.657,52	0,61
		Vehículo Caja abierta	3	95	285	7	365	2,64	7,53	2748,05	27.889,95	1,09



A partir de estos valores, se procedió a la integración de las dos fases mediante la suma directa de las emisiones específicas por tonelada. De esta manera, las emisiones de recolección en kg CO₂/Ton se añadieron a las emisiones por tratamiento también expresadas por tonelada de residuo gestionado. El resultado final ofrece una cuantificación de las emisiones totales para cada combinación escenario–alternativa, que puede asimismo extrapolarse a valores absolutos anuales multiplicando por las 25.500 toneladas de residuo consideradas. En la Tabla 68 se recogen los resultados agregados de esta integración, y en la Figura 15 se presentan en formato radial para una comparación visual entre escenarios y alternativas.

Tabla 68. Emisiones calculadas de los escenarios, alternativas y combinaciones escenario–alternativa expresadas en valores absolutos anuales y específicos por tonelada.

Escenario	Emisiones calculadas (kg CO ₂ /año)	Emisiones calculadas (kg CO ₂ /Ton)
Escenario 0	204.941,88	8,04
Escenario 1	248.489,35	9,74
Escenario 2	248.489,35	9,74
Escenario 3	248.489,35	9,74
Alternativas	Emisiones calculadas (kg CO ₂ /año)	Emisiones calculadas (kg CO ₂ /Ton)
Alternativa A	15.931.380,00	624,76
Alternativa D	20.157.240,00	790,48
Alternativa E	24.976.740,00	979,48
Alternativa F	20.750.880,00	813,76
Escenario + Alternativa	Emisiones calculadas (kg CO ₂ /año)	Emisiones calculadas (kg CO ₂ /Ton)
Escenario 0 - Alternativa A	16.136.321,88	632,80
Escenario 1- Alternativa D	20.405.729,35	800,22
Escenario 2 - Alternativa E	25.225.229,35	989,22
Escenario 3 - Alternativa F	20.999.369,35	823,50

El análisis de los resultados muestra que la recolección introduce una contribución adicional comprendida entre 8.0 y 9.8 kg CO₂/Ton según el escenario, lo que representa un incremento que apenas modifica las emisiones calculadas para los procesos de tratamiento, aunque suficiente para enriquecer la valoración ambiental del sistema en su conjunto. La jerarquía establecida en el análisis de ciclo de vida previo se mantiene inalterada al considerar el cómputo total de emisiones, de manera que la alternativa A vinculada al escenario 0 continúa siendo la opción con menor huella de carbono, seguida de la alternativa D en el escenario 1, la alternativa F en el escenario 3 y, finalmente, la alternativa E en el escenario 2 como la de mayor impacto climático. La alternativa E destaca además por combinar un proceso de tratamiento con elevada intensidad en emisiones y una recolección más exigente, lo que la convierte en la opción menos favorable en términos de cambio climático.

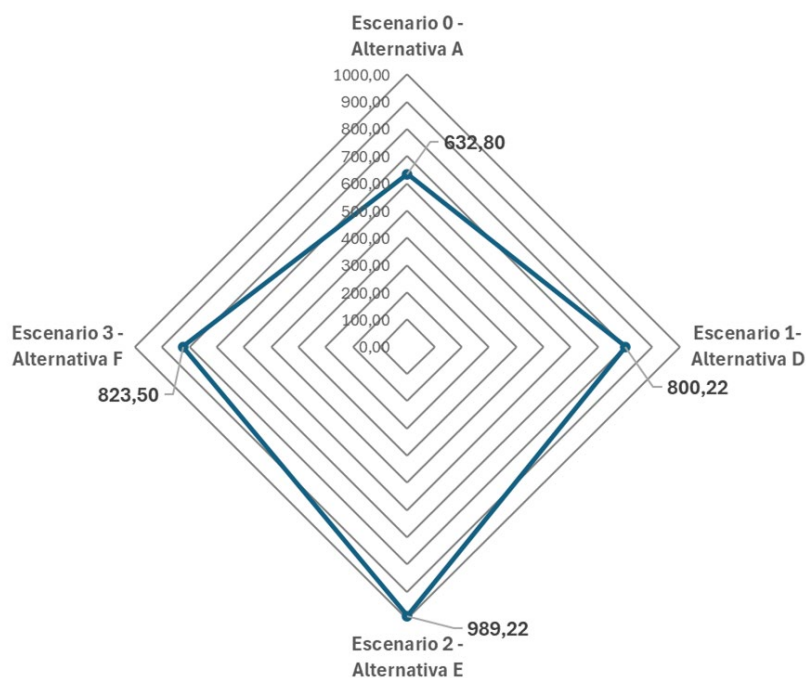


Figura 15. Representación radial de las emisiones totales (recolección + tratamiento).

La inclusión de la fase de recolección no altera las conclusiones fundamentales del ACV, pero proporciona un balance más completo y realista del desempeño climático del sistema de gestión de residuos. De este modo, el estudio no solo ofrece resultados comparables entre alternativas de tratamiento, sino también un cómputo integral de la huella de carbono del conjunto recolección–tratamiento, constituyéndose en una herramienta sólida para la planificación estratégica y la definición de medidas de reducción de emisiones a nivel local y regional.

12.4. Análisis Territorial

Para el desarrollo de esta etapa del estudio se tiene estipulado la utilización de modelos de evaluación multicriterio. Se entiende por Técnicas de Decisión Multicriterio el conjunto de herramientas y procedimientos utilizados en la resolución de problemas de decisión, en los que intervienen diferentes criterios, los cuales pueden o no estar en conflicto. Si bien existen diferentes aproximaciones al tema, destacan las tres aproximaciones más extendidas, a saber: La Teoría de Utilidad Multiatributo (“MAUT”) basada en los trabajos de Keeney y Raiffa (1976)³¹; El Proceso Analítico Jerárquico (AHP) basado en los trabajos de Thomas L. Saaty

³¹ Keeney, R.L. and Raiffa, H. (1976) Decision Making with Multiple Objectives Preferences and Value Tradeoffs. Wiley, New York.

(1980)³² y las técnicas de superación “outrankings”, basadas en los trabajos de Bernard Roy (1991)³³.

En específico, nos centraremos en la metodología del proceso analítico jerárquico (AHP), el cual se ha implementado para este estudio para los criterios territoriales (sociales, jurídicos, institucionales y de riesgos).

12.4.1. Metodología

La aplicación del AHP a un problema de decisión consta de cuatro pasos:

- PASO 1: Estructuración del problema de decisión en un modelo jerárquico**

Incluye la descomposición del problema de decisión en elementos según sus características comunes y la formación de un modelo jerárquico con diferentes niveles. Un modelo AHP simple tiene tres niveles (meta, criterios y alternativas), aunque se podrían formular modelos más complejos con más niveles.

La Imagen 48 muestra el esquema del modelo para el análisis AHP para los criterios territoriales. Para el presente ejercicio se tienen siete (7) criterios principales, a saber: de Sostenibilidad Económica (SE), Sostenibilidad Técnica (ST), Sostenibilidad Ambiental (SA), Gestión De Riesgo (GR), Sostenibilidad Social (SS), Sostenibilidad Jurídica (SJ) y Sostenibilidad Institucional (SI). Para determinar la ponderación entre cada uno de ellos se hace una comparación según PASO 2.

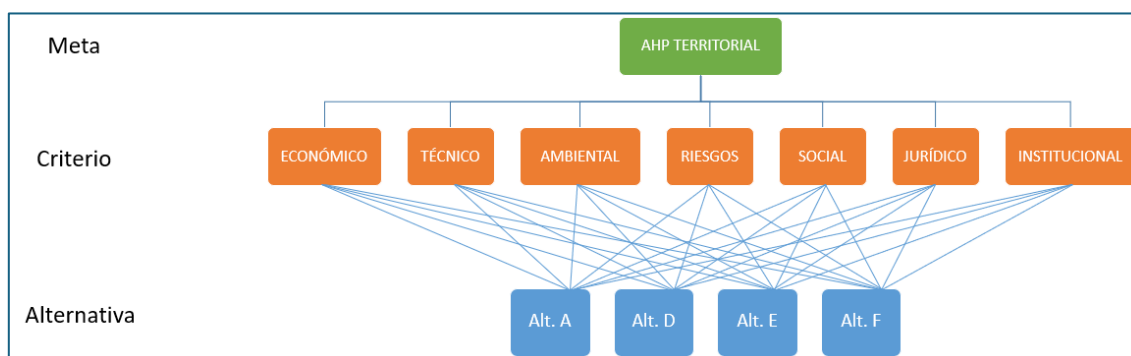


Imagen 48 Esquema del proceso AHP a criterios territoriales

- PASO 2: Comparación por pares y obtención de la matriz de juicios**

En este paso, se comparan los elementos de un nivel particular con respecto a un elemento específico del nivel inmediatamente superior. Las ponderaciones resultantes de los elementos

³² Saaty, T.L., 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York.

³³ Roy, B. The outranking approach and the foundations of electre methods. Theor Decis 31, 49–73 (1991). <https://doi.org/10.1007/BF00134132>



pueden denominarse ponderaciones locales (que se contrastarán con las ponderaciones finales, definidas más adelante).

Es necesaria la intervención del Tomador de Decisiones (DM) para realizar la comparación de los elementos. Los elementos se comparan por pares y los juicios sobre su atractivo comparativo se obtienen mediante una escala de calificación. Por lo general, un elemento con una calificación más alta se considera superior (o más atractivo) en comparación con otro con una calificación más baja.

Este análisis comparativo se realiza simultáneamente entre todos los criterios, generando una matriz de calificación de la que se deduce la ponderación de cada uno de ellos. Cada entrada a_{ij} de la matriz de juicio se rige por tres reglas:

1. $a_{ij} \geq 0$;
2. $a_{ij} = 1/a_{ji}$;
3. $a_{ii} = 1$ para todo i .

Si se cumple la propiedad de transitividad, es decir, $a_{ij} = a_{ik} \cdot a_{kj}$, para todas las entradas de la matriz, se dice que la matriz es consistente. Si la propiedad no se cumple para todas las entradas, el nivel de inconsistencia puede medirse mediante una medida denominada Relación de Consistencia (CR) (Saaty, 1980). Un valor de CR inferior a 0,1 se considera aceptable porque los juicios humanos no siempre deben ser consistentes y pueden producirse inconsistencias debido a la naturaleza de la escala utilizada.

La Imagen 49 muestra el ejercicio de ponderación de los siete criterios principales y en la Tabla 69 se muestra la matriz de comparación de criterios, de la que se obtiene la ponderación general de cada criterio general.



Con respecto a **C. TERRITORIALES**, que criterio es mas importante, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

	Cuál prefiere A - C. TERRITORIALES - o B?	Igual	¿Cuánto más?
1	☒ SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA (SE)	☐ SOSTENIBILIDAD TÉCNICA (ST)	☐ 1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
2	☒ SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA (SE)	☐ SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (SA)	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
3	☒ SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA (SE)	☐ GESTIÓN DE RIESGOS (GR)	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
4	☒ SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA (SE)	☐ SOSTENIBILIDAD SOCIAL (SS)	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
5	☒ SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA (SE)	☐ SOSTENIBILIDAD JURÍDICA (SJ)	☐ 1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
6	☒ SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA (SE)	☐ SOSTENIBILIDAD INSTITUCIONAL (SI)	☐ 1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
7	☒ SOSTENIBILIDAD TÉCNICA (ST)	☐ SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (SA)	☐ 1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
8	☒ SOSTENIBILIDAD TÉCNICA (ST)	☐ GESTIÓN DE RIESGOS (GR)	☐ 1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
9	☒ SOSTENIBILIDAD TÉCNICA (ST)	☐ SOSTENIBILIDAD SOCIAL (SS)	☐ 1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
10	☐ SOSTENIBILIDAD TÉCNICA (ST)	☒ SOSTENIBILIDAD JURÍDICA (SJ)	☐ 1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
11	☐ SOSTENIBILIDAD TÉCNICA (ST)	☒ SOSTENIBILIDAD INSTITUCIONAL (SI)	☐ 1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
12	☒ SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (SA)	☐ GESTIÓN DE RIESGOS (GR)	☒ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
13	☒ SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (SA)	☐ SOSTENIBILIDAD SOCIAL (SS)	☐ 1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
14	☐ SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (SA)	☒ SOSTENIBILIDAD JURÍDICA (SJ)	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
15	☐ SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (SA)	☒ SOSTENIBILIDAD INSTITUCIONAL (SI)	☐ 1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
16	☒ GESTIÓN DE RIESGOS (GR)	☐ SOSTENIBILIDAD SOCIAL (SS)	☐ 1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
17	☐ GESTIÓN DE RIESGOS (GR)	☒ SOSTENIBILIDAD JURÍDICA (SJ)	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☒ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
18	☐ GESTIÓN DE RIESGOS (GR)	☒ SOSTENIBILIDAD INSTITUCIONAL (SI)	☐ 1 ☐ 2 ☒ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
19	☐ SOSTENIBILIDAD SOCIAL (SS)	☒ SOSTENIBILIDAD JURÍDICA (SJ)	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☒ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
20	☐ SOSTENIBILIDAD SOCIAL (SS)	☒ SOSTENIBILIDAD INSTITUCIONAL (SI)	☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☒ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9
21	☒ SOSTENIBILIDAD JURÍDICA (SJ)	☐ SOSTENIBILIDAD INSTITUCIONAL (SI)	☐ 1 ☒ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5 ☐ 6 ☐ 7 ☐ 8 ☐ 9

CR = 2.3% OK

Prioridades resultantes

Cat	Prioridad	Rank
1 SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA (SE)	30.9%	1
2 SOSTENIBILIDAD TÉCNICA (ST)	11.1%	4
3 SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (SA)	6.3%	5
4 GESTIÓN DE RIESGOS (GR)	6.3%	5
5 SOSTENIBILIDAD SOCIAL (SS)	3.8%	7
6 SOSTENIBILIDAD JURÍDICA (SJ)	25.1%	2
7 SOSTENIBILIDAD INSTITUCIONAL (SI)	16.5%	3

Imagen 49 Ponderación de criterios territoriales, método AHP



Tabla 69 Matriz de comparación de criterios territoriales

Matriz de Comparación de Criterios																
Criterios	SE	ST	SA	GR	SS	SJ	SI	Matriz normalizada								Ponderación
SE	1,000	2,784	4,905	4,905	8,132	1,231	1,873	0,309	0,309	0,309	0,309	0,309	0,309	0,309	0,309	
ST	0,359	1,000	1,762	1,762	2,921	0,442	0,673	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	0,111	
SA	0,204	0,568	1,000	1,000	1,658	0,251	0,382	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	
GR	0,204	0,568	1,000	1,000	1,658	0,251	0,382	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	0,063	
SS	0,123	0,342	0,603	0,603	1,000	0,151	0,230	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	0,038	
SJ	0,812	2,261	3,984	3,984	6,605	1,000	1,521	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251	0,251	
SI	0,534	1,487	2,619	2,619	4,342	0,657	1,000	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165	
Suma	3.236	9.009	15.873	15.873	26.316	3.984	6.061									

Se han asignado estas ponderaciones a las dimensiones principales porque reflejan su influencia relativa en la viabilidad y sostenibilidad global del proyecto de implantación de una planta de tratamiento de residuos orgánicos. La **sostenibilidad económica** (0,309) recibe el mayor peso al concentrar los costes operacionales y de inversión, así como los ingresos asociados a la valorización, siendo determinante para garantizar la financiación y continuidad del sistema. La **sostenibilidad jurídica** (0,251) también adquiere un peso elevado, ya que incluye requisitos habilitantes como licencias ambientales, compatibilidad normativa, alineación con instrumentos nacionales (CONPES, PGIRS, CRA) y la viabilidad legal del proyecto, factores que pueden condicionar directamente su ejecución. La **sostenibilidad institucional** (0,165) se valora como un componente clave de gobernanza y capacidad operativa, al depender de las competencias municipales, la estructura de COSERVICIOS S.A. E.S.P. y la aprobación política necesaria para implementar la alternativa. Por su parte, la **sostenibilidad técnica** (0,111) tiene un peso intermedio, pues aunque la disponibilidad de equipos y mano de obra especializada es relevante, suele ser gestionable mediante planificación y contratación. Finalmente, las dimensiones de **sostenibilidad ambiental** (0,063) y **gestión de riesgos** (0,063) se ponderan con un valor menor en este nivel agregado, dado que sus impactos se analizan de forma más específica en los subcriterios asociados (optimización de recursos, minimización de contaminantes, riesgos naturales, tecnológicos e institucionales), aportando información complementaria sin constituir por sí solas condiciones limitantes inmediatas para la implantación. Asimismo, la **sostenibilidad social** (0,038) recibe el menor peso relativo al representar un factor fundamental para la aceptación y éxito a largo plazo, pero con menor capacidad de bloqueo directo frente a las restricciones económicas, legales e institucionales que condicionan la puesta en marcha del proyecto.

● PASO 3: Ponderaciones locales y consistencia de las comparaciones

En este paso se calculan las ponderaciones locales de los elementos mediante el método de vectores propios (EVM). El vector propio normalizado, correspondiente al valor propio principal de la matriz de juicio, proporciona los pesos de los elementos correspondientes.

Si bien el EVM se utiliza ampliamente en los cálculos tradicionales de AHP, al utilizar la EVM, se puede calcular el Índice de Consistencia (IC). Para una matriz consistente, $IC = 0$, y si el IC para una matriz es mayor que 0,1, se deben replantear solicitar nuevamente los juicios o evaluaciones realizadas por el Tomador de Decisiones hasta que emita juicios más consistentes.

El valor de la Relación de Consistencia se calcula multiplicando la propia matriz de criterios con el vector de valor de la ponderación que resulta, como se muestra en la Matriz de Comparación



de Criterios (ver Tabla 70). Del vector resultante de esta multiplicación se calcula la sumatoria (nmax) y se determinan los valores del índice de consistencia (CI) y el valor del indicador de consistencia aleatoria (RI); para calcular, finalmente, el valor de la relación de consistencia (CR).

Tabla 70 Cálculo de la Relación de Consistencia

AxP			
1,893	CI	$CI = (nmax - n) / (n - 1)$	0,030
0,838	RI	$RI = 1,98 * (n - 2) / n$	1,320
0,355	CR	$CR = CI / RI$	0,023
nmax			
4,000			

- PASO 4: Agregación de ponderaciones en varios niveles para obtener las ponderaciones finales de las alternativas**

Una vez obtenidas las ponderaciones locales de los elementos de diferentes niveles descritas en el Paso 3, se agregan unos subcriterios para obtener las ponderaciones finales de las alternativas de decisión (elementos del nivel más bajo). Es importante anotar que dentro del segundo nivel (criterios) pueden implementarse subniveles y ponderaciones asociadas con cada uno de estos criterios. La agregación corresponde con una operación aritmética (producto) y la sumatoria de las agregaciones da como resultado la ponderación final.

Para este ejercicio se adoptó una matriz de evaluación que consta de siete (7) Criterios principales o dimensiones a evaluar, como se enumeró en el Paso 1, cada uno tiene subcriterios asociados (30 en total, ver Tabla 71) que son evaluados y ponderados según su importancia hacia el proyecto (Ver Imagen 50).

Tabla 71 Matriz de evaluación de criterios territoriales

DIMENSIÓN	CRITERIO		CARACTERÍSTICA
SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA (SE)	C1	Costos operacionales y de inversión	Costos de Amortización obra civil, maquinaria planta, maquinaria explotación, costos Personal, mantenimiento y conservación de maquinaria, de gestión
	C2	Ingresos	Ingresos por valorización de residuos
SOSTENIBILIDAD TÉCNICA (ST)	C3	Adquisición de equipos	Facilidad para la adquisición de equipos y repuestos
	C4	Mano de obra calificada	Facilidad de contratación de mano de obra calificada
SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (SA)	C5	Optimización de recursos	Analiza el agotamiento y consumo de recursos naturales (energía fósil, minerales, agua, biomasa) en el ciclo de vida, considerando su disponibilidad futura y eficiencia de uso.
	C6	Minimización de contaminantes	Mide los impactos potenciales de emisiones y contaminantes (aire, agua, suelo) sobre la salud de las personas, incluyendo toxicidad, partículas, metales pesados o efectos respiratorios.
	C7	Manejo y/o aprovechamiento de sub-productos	Evalúa la capacidad de la alternativa para gestionar y valorizar los subproductos



DIMENSIÓN	CRITERIO		CARACTERÍSTICA
			generados en el tratamiento (digestato, compost, rechazos, biogás), reduciendo su disposición final y favoreciendo su uso como recurso dentro de esquemas de economía circular.
GESTIÓN DE RIESGOS (GR)	C8	Riesgo físico-natural	Vulnerabilidad ante fenómenos naturales (inundaciones, sismos, deslizamientos), en función de exposición y complejidad de la infraestructura.
	C9	Riesgo tecnológico-industrial	Riesgos asociados al funcionamiento de la planta: explosiones de biogás, incendios, fallos eléctricos, fugas o contaminaciones.
	C10	Riesgo socio-institucional	Capacidad de las instituciones y de la comunidad para responder a emergencias y garantizar continuidad operativa.
SOSTENIBILIDAD SOCIAL (SS)	C11	Empleo verde y formalización laboral	Valora las expectativas de generación de empleos locales, dignos y sostenibles que el proyecto puede traer a Sogamoso.
	C12	Aceptación social del proyecto	Grado de respaldo y confianza anticipada de la comunidad hacia el proyecto y las instituciones locales, mide la percepción de beneficios esperados (ambientales, sociales, económicos) frente a posibles riesgos o temores (olores, salud, ubicación, manejo del proyecto) y analiza la disposición de los habitantes a apoyar o participar en el proyecto.
	C13	Articulación comunitaria y economía circular	Evalúa el potencial del proyecto para integrar a distintos actores sociales y económicos en torno al tratamiento de los residuos orgánicos. Se centra en las expectativas de que la planta funcione como un nodo de economía circular y considera la disposición de los ciudadanos a participar en procesos colectivos vinculados a la gestión de residuos.
	C14	Educación y cultura ciudadana	Evalúa el nivel de preparación y disposición de la comunidad para adoptar prácticas de separación en la fuente y hábitos sostenibles de manejo de residuos, el conocimiento actual existente y las expectativas que tienen frente a campañas de educación ambiental asociadas al proyecto.
	C15	Atención al usuario y gestión de PQRS	Evalúa la importancia que la ciudadanía le otorga a contar canales claros y confiables de comunicación con la empresa de COSERVICIOS y con mecanismos eficaces para presentar quejas, peticiones y reclamos (PQRS), así como la necesidad de que haya respuestas oportunas y transparentes.
	C16	Impacto en calidad de vida percibido	Visión que tiene la comunidad sobre los cambios esperados en su bienestar con la construcción de la planta. Incluye expectativas de reducción de problemas ambientales (olores, basuras en calles, vectores), mejoras en la salud ambiental, beneficios sociales y posibles preocupaciones sobre impactos negativos (ruido, tránsito, molestias).



DIMENSIÓN	CRITERIO		CARACTERÍSTICA
SOSTENIBILIDAD JURÍDICA (SJ)	C17	Requiere modificación de la Licencia Ambiental	Determina si la alternativa necesita cambiar o ampliar la licencia ambiental vigente. Esto afecta directamente la viabilidad legal y los tiempos de implementación.
	C18	Contribuye con los objetivos del Conpes 3874 de 2016	Evalúa el grado de alineación con la política nacional que define lineamientos para la gestión integral de residuos sólidos en Colombia. Una alta contribución asegura respaldo normativo.
	C19	Contribuye con estrategias del Decreto 670 de 2025 y del Programa Nacional de Bioinsumos y Biomasa	Revisa si la alternativa se ajusta a los lineamientos nacionales sobre bioeconomía y gestión sostenible de biomasa residual. El cumplimiento refuerza su legitimidad jurídica y ambiental.
	C20	Está contemplado dentro del PGIRS de Sogamoso	Verifica si la alternativa ya está incluida en el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos municipal. Si no lo está, requeriría ajustes en la planeación local.
	C21	Contribuye con metas y políticas de reducción de GEI del país	Analiza en qué medida la alternativa apoya los compromisos nacionales de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (NDC, Ley de Cambio Climático).
	C22	Está regulada la actividad dentro del servicio público de aseo	Revisa si la alternativa se encuentra incluida en el marco normativo del servicio público de aseo, lo cual facilita su implementación sin vacíos legales.
	C23	Reglamentación sectorial o limitaciones aplicables a la tecnología	Identifica la existencia de normas o restricciones específicas que condicionan el funcionamiento de la alternativa tecnológica. Estas limitaciones pueden ser ambientales, sanitarias o sectoriales.
	C24	Trámite de modificación ante la CRA para tarifa particular	Determina si la alternativa requeriría autorización de la Comisión de Regulación de Agua (CRA) para ajustar la estructura tarifaria. Esto puede afectar la sostenibilidad financiera del proyecto.
	C25	Viabilidad jurídica	Valora el grado en que la alternativa es legalmente implementable en el contexto normativo vigente, considerando la existencia de permisos, compatibilidad regulatoria y ausencia de barreras legales que puedan impedir o retrasar su ejecución.
SOSTENIBILIDAD INSTITUCIONAL (SI)	C26	Contemplado en el objeto social de COSERVICIOS o requiere modificación de estatutos	Evalúa si la empresa de servicios puede ejecutar la alternativa directamente dentro de sus funciones o si necesitaría modificar sus estatutos.
	C27	Dentro de las competencias del municipio de Sogamoso	Valora si la implementación de la alternativa está dentro de las atribuciones legales y funciones del gobierno local, lo cual incide en su viabilidad de gestión.
	C28	Contribuye al cumplimiento de los ODS	Mide el grado de alineación de la alternativa con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas, especialmente en los ámbitos de energía, medio ambiente y gestión de residuos.



DIMENSIÓN	CRITERIO		CARACTERÍSTICA
	C29	Beneficios sociales y usos ambientales para la jurisdicción de Corpoboyacá	Estima los aportes de la alternativa en el ámbito regional, considerando tanto los beneficios sociales (empleo, inclusión) como los ambientales (reducción de impactos).
	C30	Trámite o autorización del Concejo Municipal	Analiza si la alternativa requiere aprobación o autorización del Concejo Municipal, lo que implica procesos de gobernanza, deliberación política y participación ciudadana formal.



Jerarquía de decisiones				
Nivel 0	Nivel 1	Nivel 2	Glb Prio.	
C. TERRITORIALES AHP	SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA (SE) 0.309 AHP	C1 0.667	20.6%	
		C2 0.333	10.3%	
	SOSTENIBILIDAD TÉCNICA (ST) 0.111 AHP	C3 0.333	3.7%	
		C4 0.667	7.4%	
	SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (SA) 0.063 AHP	C5 0.400	2.5%	
		C6 0.200	1.3%	
		C7 0.400	2.5%	
	GESTIÓN DE RIESGOS (GR) 0.063 AHP	C8 0.474	3.0%	
		C9 0.376	2.4%	
		C10 0.149	0.9%	
	SOSTENIBILIDAD SOCIAL (SS) 0.038 AHP	C11 0.230	0.9%	
		C12 0.230	0.9%	
		C13 0.230	0.9%	
		C14 0.121	0.5%	
		C15 0.121	0.5%	
		C16 0.070	0.3%	
	SOSTENIBILIDAD JURÍDICA (SJ) 0.251 AHP	C17 0.190	4.8%	
		C18 0.076	1.9%	
		C19 0.056	1.4%	
		C20 0.120	3.0%	
		C21 0.065	1.6%	
		C22 0.140	3.5%	
		C23 0.103	2.6%	
		C24 0.163	4.1%	
		C25 0.088	2.2%	
	SOSTENIBILIDAD INSTITUCIONAL (SI) 0.165 AHP	C26 0.185	3.1%	
		C27 0.245	4.0%	
		C28 0.107	1.8%	
		C29 0.141	2.3%	
		C30 0.323	5.3%	
Ok. Enviar para evaluación de grupo o evaluación alternativa. Alternativas			1.0	

Imagen 50 Ponderación de subcriterios bajo criterios territoriales

Las ponderaciones asignadas a los subcriterios dentro de cada dimensión responden a su relevancia relativa en la implantación real de una planta de tratamiento de residuos orgánicos, considerando tanto las restricciones técnicas y normativas como los factores de sostenibilidad a largo plazo.



Sostenibilidad económica (SE): En esta dimensión se priorizan los **costes operacionales y de inversión** frente a los **ingresos**, ya que la carga financiera inicial asociada al CAPEX y los costes continuos de operación, mantenimiento y gestión condicionan directamente la viabilidad del proyecto. Aunque los ingresos derivados de la valorización de residuos son relevantes, estos dependen de factores externos como el mercado de subproductos, incentivos ambientales o estabilidad tarifaria, por lo que se consideran menos determinantes que los costes estructurales del sistema.

Sostenibilidad técnica (ST): En el ámbito técnico se asigna un mayor peso a la **disponibilidad de mano de obra calificada**, dado que la operación de tecnologías complejas (como digestión anaeróbica, compostaje avanzado o producción de CSR) requiere personal especializado para garantizar continuidad operativa, seguridad y eficiencia. La **adquisición de equipos y repuestos** es importante, pero suele resolverse mediante planificación contractual y logística, mientras que la falta de capacidades humanas puede comprometer directamente el desempeño de la planta.

Sostenibilidad ambiental (SA): En la dimensión ambiental se otorga una ponderación equilibrada a la **optimización de recursos** y al **manejo y aprovechamiento de subproductos**, ya que ambos criterios reflejan el aporte central del proyecto a la economía circular: reducir el consumo de recursos naturales y transformar residuos en productos útiles (compost, biogás, digestato). La **minimización de contaminantes** recibe un peso menor relativo porque, aunque es fundamental, está en parte regulada por estándares ambientales y medidas de control que se aplican transversalmente a cualquier alternativa tecnológica.

Gestión de riesgos (GR): Dentro de esta dimensión se priorizan el riesgo **físico-natural** y el riesgo **tecnológico-industrial**, debido a que ambos pueden afectar de forma directa la seguridad de la infraestructura y la continuidad operativa. Fenómenos como inundaciones o deslizamientos, así como riesgos asociados al manejo de biogás, incendios o fallos industriales, representan amenazas críticas. El riesgo **socio-institucional** se pondera con menor peso, ya que depende más de la capacidad externa de respuesta institucional y comunitaria, aunque sigue siendo relevante para garantizar resiliencia a largo plazo.

Sostenibilidad social (SS): En el componente social se asigna mayor importancia al **empleo verde**, la **aceptación social** y la **articulación comunitaria**, por ser factores centrales para la legitimidad y sostenibilidad del proyecto. Una planta de tratamiento requiere respaldo ciudadano, integración de actores locales y generación de beneficios visibles para consolidarse en el territorio. Otros criterios como **educación ambiental**, **gestión de PQRS** y **calidad de vida** se ponderan en menor medida, al considerarse elementos complementarios que se fortalecen progresivamente durante la operación del sistema.

Sostenibilidad jurídica (SJ): En esta dimensión los mayores pesos se asignan a los requisitos habilitantes más determinantes, como la **licencia ambiental**, la **regulación** dentro del servicio público de aseo y los **trámites ante la CRA**, ya que constituyen condiciones que pueden bloquear o retrasar la implantación. La **inclusión en el PGIRS** y la **viabilidad jurídica** general también son relevantes porque aseguran coherencia con el marco normativo local y nacional. Otros criterios de alineación estratégica con políticas nacionales o metas climáticas aportan respaldo institucional, pero tienen un efecto más indirecto sobre la ejecución inmediata.



Sostenibilidad institucional (SI): Finalmente, en el plano institucional se priorizan los criterios relacionados con la **competencia del municipio** y la **autorización del Concejo Municipal**, ya que la gobernanza y aprobación política son elementos clave para materializar el proyecto. Asimismo, se considera importante que **COSERVICIOS S.A. E.S.P. tenga capacidad formal de actuación** dentro de su objeto social. Los criterios vinculados a **ODS y beneficios regionales** se ponderan como complementarios, pues refuerzan la coherencia del proyecto con compromisos de sostenibilidad y aportes territoriales, aunque no siempre condicionan directamente su implementación operativa.

12.4.2. Análisis multicriterio

En el análisis multicriterio utilizado con la metodología AHP se debe realizar una comparación directa de las valoraciones de cada criterio para cada una de las alternativas preseleccionadas. A modo de recordatorio, se indican a continuación las alternativas consideradas para el análisis AHP de los criterios territoriales:

- **Alternativa A:** Implantación de un TM y un TB que permita derivar residuos del relleno sanitario. El TB es una bioestabilización de la materia orgánica mezclada o procedente de la fracción resto.
- **Alternativa D:** Implantación de un TM y TB con planta de fabricación de CSR. En esta alternativa el TB es doble; bioestabilizado para MOR y compostaje para FORS.
- **Alternativa E:** Contempla la implantación de un TM y la coexistencia de la DA y la fabricación de CSR, de forma que irá disminuyendo la fabricación de CSR a favor del incremento de la DA conforme se va implantando la recolección selectiva. En esta alternativa el TB se encarga de estabilizar el digestato procedente de la biometanización.
- **Alternativa F:** Implantación de un TM con DA y TB para estabilización del digestato.

El Tomador de Decisiones, junto con un equipo de expertos, evalúan la influencia de cada alternativa sobre los criterios considerados. Para ello, asignan puntuaciones de manera rigurosa y sistemática, en función del grado real de impacto de las alternativas sobre dichos criterios, garantizando así la solidez y la objetividad del proceso de decisión, mediante una encuesta que se puede consultar en el apartado 12.4.3. A manera de resumen, la Tabla 72 muestra las valoraciones obtenidas para todos los criterios aplicadas a todas las alternativas.

Tabla 72 Resumen de Valoración de Criterios territoriales

Criterio	Alt. A	Alt. D	Alt. E	Alt. F
C1	9	8	5	6
C2	5	6	9	6
C3	7	6	3	4
C4	7	6	3	4
C5	9	4	2	4
C6	9	4	2	3
C7	3	5	9	7



Criterio	Alt. A	Alt. D	Alt. E	Alt. F
C8	8	7	6	6
C9	8	7	6	5
C10	7	7	6	5
C11	3	7	5	9
C12	5	7	9	8
C13	4	7	6	7
C14	3	5	7	9
C15	5	6	7	7
C16	5	7	9	9
C17	7	7	6	6
C18	8	9	9	9
C19	6	8	9	8
C20	8	9	9	9
C21	7	8	9	9
C22	8	8	8	8
C23	9	7	6	6
C24	8	8	7	7
C25	8	8	7	7
C26	8	8	7	7
C27	9	9	8	8
C28	7	8	9	9
C29	6	8	9	9
C30	8	7	7	7

Utilizando la información de la tabla anterior, se construye la matriz de importancia relativa que pueda tener la valoración de cada criterio específico comparando estos valores en pares, es decir, se define la importancia relativa que tiene el criterio C1 comparando la valoración obtenida por la alternativa A con respecto a la valoración obtenida por la alternativa D; y así sucesivamente para cada criterio y todas las alternativas.

La Tabla 73 muestra la matriz de importancia relativa obtenida de estas comparaciones. A partir de estos valores se hace una distribución ponderada de la valoración de los criterios individuales. El peso total de cada alternativa se calcula como el promedio aritmético de los valores obtenidos para cada grupo de criterios (Ver Tabla 74).

Tabla 73. Matriz de Importancias Relativa

Criterio A	Alt. A			Alt. D		Alt. E
Criterio B	Alt. D	Alt. E	Alt. F	Alt. E	Alt. F	Alt. F
C1	53%	64%	60%	62%	57%	45%
C2	45%	36%	45%	40%	50%	60%
C3	54%	70%	64%	67%	60%	43%



Criterio A	Alt. A			Alt. D		Alt. E
Criterio B	Alt. D	Alt. E	Alt. F	Alt. E	Alt. F	Alt. F
C4	54%	70%	64%	67%	60%	43%
C5	69%	82%	69%	67%	50%	33%
C6	69%	82%	75%	67%	57%	40%
C7	38%	25%	30%	36%	42%	56%
C8	53%	57%	57%	54%	54%	50%
C9	53%	57%	62%	54%	58%	55%
C10	50%	54%	58%	54%	58%	55%
C11	30%	38%	25%	58%	44%	36%
C12	42%	36%	38%	44%	47%	53%
C13	36%	40%	36%	54%	50%	46%
C14	38%	30%	25%	42%	36%	44%
C15	45%	42%	42%	46%	46%	50%
C16	42%	36%	36%	44%	44%	50%
C17	50%	54%	54%	54%	54%	50%
C18	47%	47%	47%	50%	50%	50%
C19	43%	40%	43%	47%	50%	53%
C20	47%	47%	47%	50%	50%	50%
C21	47%	44%	44%	47%	47%	50%
C22	50%	50%	50%	50%	50%	50%
C23	56%	60%	60%	54%	54%	50%
C24	50%	53%	53%	53%	53%	50%
C25	50%	53%	53%	53%	53%	50%
C26	50%	53%	53%	53%	53%	50%
C27	50%	53%	53%	53%	53%	50%
C28	47%	44%	44%	47%	47%	50%
C29	43%	40%	40%	47%	47%	50%
C30	53%	53%	53%	50%	50%	50%



Tabla 74 Cálculo de pesos de Alternativas

Jerarquía con alternativas								
No	Node	Criterio	Glb Prio.	Compara r	Alt. A	Alt. D	Alt. E	Alt. F
1.	SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA (SE)	C1	20.6%	AHP	0.340	0.281	0.140	0.239
2.		C2	10.3%	AHP	0.122	0.227	0.424	0.227
3.	SOSTENIBILIDAD TÉCNICA (ST)	C3	3.7%	AHP	0.356	0.326	0.124	0.194
4.		C4	7.4%	AHP	0.356	0.326	0.124	0.194
5.	SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (SA)	C5	2.5%	AHP	0.461	0.218	0.103	0.218
6.		C6	1.3%	AHP	0.488	0.252	0.100	0.161
7.		C7	2.5%	AHP	0.124	0.233	0.366	0.278
8.	GESTIÓN DE RIESGOS (GR)	C8	3%	AHP	0.347	0.246	0.204	0.204
9.		C9	2.4%	AHP	0.338	0.288	0.205	0.169
10.		C10	0.9%	AHP	0.289	0.289	0.246	0.175
11.	SOSTENIBILIDAD SOCIAL (SS)	C11	0.9%	AHP	0.120	0.271	0.191	0.418
12.		C12	0.9%	AHP	0.138	0.195	0.391	0.276
13.		C13	0.9%	AHP	0.140	0.330	0.200	0.330
14.		C14	0.5%	AHP	0.124	0.233	0.278	0.366
15.		C15	0.5%	AHP	0.175	0.246	0.289	0.289
16.		C16	0.3%	AHP	0.122	0.235	0.321	0.321
17.	SOSTENIBILIDAD JURÍDICA (SJ)	C17	4.8%	AHP	0.333	0.333	0.167	0.167
18.		C18	1.9%	AHP	0.143	0.286	0.286	0.286
19.		C19	1.4%	AHP	0.140	0.232	0.395	0.232
20.		C20	3%	AHP	0.143	0.286	0.286	0.286
21.		C21	1.6%	AHP	0.175	0.246	0.289	0.289
22.		C22	3.5%	AHP	0.250	0.250	0.250	0.250
23.		C23	2.6%	AHP	0.347	0.246	0.204	0.204
24.		C24	4.1%	AHP	0.333	0.333	0.167	0.167
25.		C25	2.2%	AHP	0.333	0.333	0.167	0.167
26.	SOSTENIBILIDAD INSTITUCIONAL (SI)	C26	3.1%	AHP	0.333	0.333	0.167	0.167
27.		C27	4%	AHP	0.333	0.333	0.167	0.167
28.		C28	1.8%	AHP	0.175	0.246	0.289	0.289
29.		C29	2.3%	AHP	0.142	0.241	0.309	0.309
30.		C30	5.3%	AHP	0.400	0.200	0.200	0.200
Peso total de alternativas:					0.287	0.276	0.214	0.222

El resultado del cálculo de los pesos de cada alternativa se organiza de mayor a menor, definiendo la jerarquía asociada con cada alternativa, como se muestra en la Imagen 51. Según el análisis multicriterio AHP para los criterios territoriales considerados en este apartado, **la alternativa más adecuada** es la **Alternativa A**: Implantación de un TM y un TB que permita derivar residuos del relleno sanitario. El TB es una bioestabilización de la materia orgánica mezclada o procedente de la fracción resto.

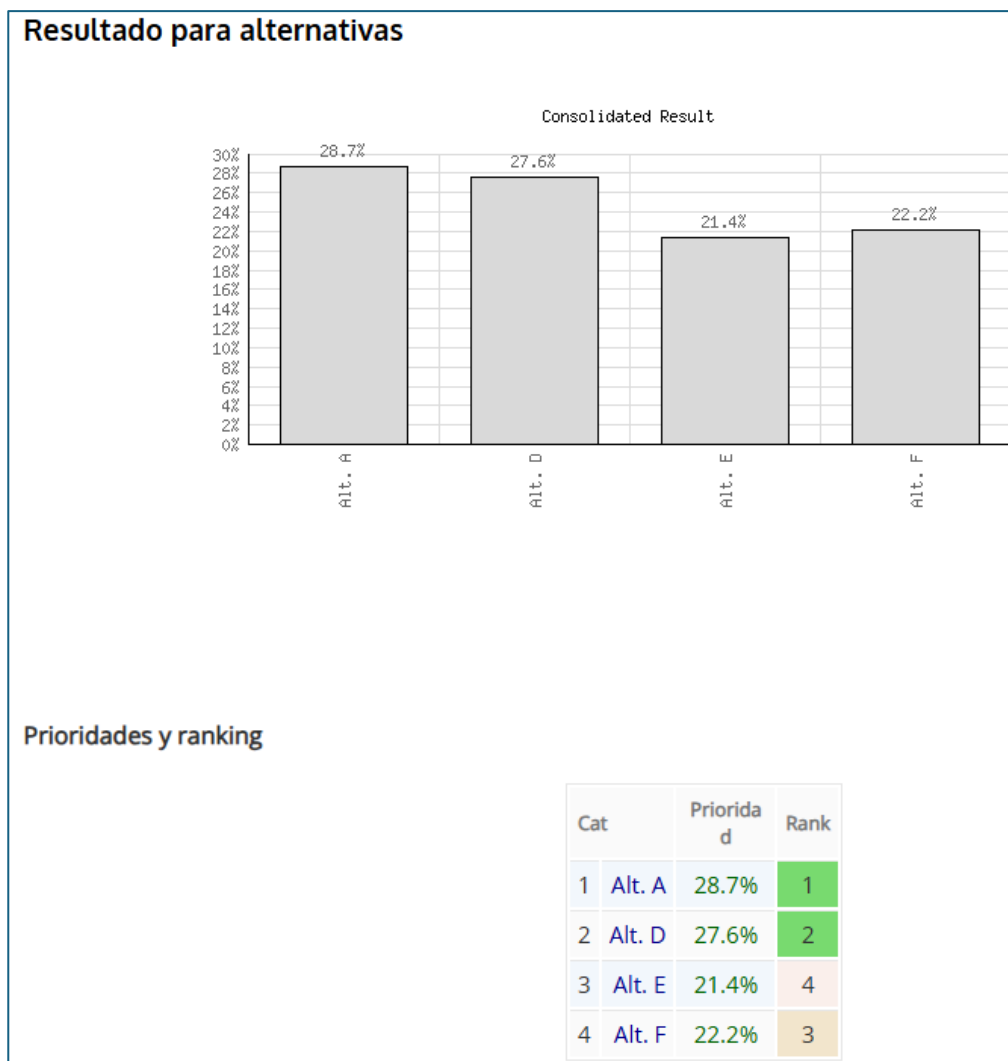


Imagen 51 Resultados del cálculo – Jerarquización

12.4.3. Metodología de la encuesta

En el ámbito de los **criterios territoriales** se ha empleado metodología del **proceso analítico jerárquico (AHP)**, se trata de un modelo de evaluación multicriterio ampliamente utilizado para la toma de decisiones complejas que implican múltiples variables. El método se basa en la realización de **comparaciones pareadas entre elementos**, permitiendo determinar la importancia relativa de cada criterio respecto a los demás. Para ello se utiliza la escala fundamental de Saaty, que asigna valores entre 1 y 9 para expresar el grado de preferencia entre dos elementos comparados, donde 1 indica igual importancia entre dos elementos y los valores superiores representan grados crecientes de preferencia. A partir de estas



comparaciones se construyen matrices de comparación, de las cuales se obtiene un vector de prioridades o ponderaciones, que representa la importancia relativa de cada dimensión y criterio dentro del modelo de decisión.

Para obtener dichas valoraciones se diseñó y aplicó **una encuesta estructurada dirigida a un panel de expertos**, cuyo objetivo fue recoger juicios técnicos sobre la importancia relativa de cada dimensión, criterio y alternativa evaluada. Los resultados obtenidos en estas encuestas constituyen la base para el cálculo de las ponderaciones utilizadas posteriormente en el análisis AHP. La encuesta fue diseñada específicamente para recoger las comparaciones requeridas por el método AHP. En ella se plantean preguntas en las que los expertos deben indicar cuál de dos elementos es más importante y en qué grado, utilizando la escala de Saaty.

El cuestionario incluye un total de **38 preguntas de comparación pareada**, distribuidas en distintos bloques según el nivel de la jerarquía de decisión. Estas comparaciones abarcan tanto las dimensiones generales del modelo, como los criterios específicos dentro de cada dimensión, así como la evaluación de las alternativas respecto a cada criterio.

El análisis AHP se estructuró en torno a **siete dimensiones** principales de sostenibilidad, que representan los distintos ámbitos relevantes para la evaluación de las alternativas del proyecto. A su vez, estas dimensiones se desagregan en **30 criterios** específicos, que permiten analizar de manera detallada los diferentes factores que influyen en la viabilidad y sostenibilidad de las alternativas consideradas.

En el análisis multicriterio se debe realizar una comparación directa de las valoraciones de cada criterio para las alternativas preseleccionadas.

Las encuestas fueron diligenciadas por un **panel de diez expertos** con experiencia en ámbitos relacionados con la gestión de residuos, la planificación ambiental, la evaluación de proyectos y la gestión pública. La selección de los participantes se realizó considerando su conocimiento técnico y experiencia profesional en las materias evaluadas, con el propósito de garantizar que las valoraciones obtenidas reflejen criterios informados y técnicamente fundamentados.

Las encuestas fueron aplicadas mediante un cuestionario estructurado en el que cada experto debía realizar comparaciones pareadas entre dimensiones, criterios o alternativas, utilizando la escala de Saaty. Cada participante respondió el cuestionario de manera independiente, asignando valores de preferencia entre los elementos comparados. Estas valoraciones permiten construir las matrices de comparación necesarias para el desarrollo del análisis AHP.

Una vez recopiladas las encuestas, las valoraciones obtenidas fueron organizadas en **matrices de comparación pareada** correspondientes a cada bloque del análisis. Para obtener una valoración conjunta representativa del panel de expertos, las matrices individuales fueron agregadas mediante el promedio geométrico, procedimiento recomendado en la metodología AHP para la toma de decisiones grupales. Este proceso permitió construir matrices consolidadas de comparación, a partir de las cuales se calcularon las ponderaciones finales.

Con el fin de verificar la coherencia de las comparaciones realizadas, se calculó el Índice de Consistencia (CI) y el Ratio de Consistencia (CR) para cada una de las matrices de comparación. Este indicador permite evaluar si los juicios emitidos por los expertos mantienen un nivel adecuado de consistencia lógica. Conforme a la metodología AHP, se considera aceptable un



valor de CR inferior a 0,10, lo que indica que las comparaciones realizadas son suficientemente consistentes para el análisis.

A partir de las matrices de comparación consolidadas se calcularon los **vectores de prioridad**, que representan las ponderaciones relativas de cada dimensión y criterio dentro del modelo multicriterio. Estas ponderaciones reflejan la importancia relativa de los distintos factores considerados en el análisis y constituyen la base para la evaluación comparativa de las alternativas del proyecto.

Como en cualquier proceso de análisis multicriterio basado en juicios expertos, las valoraciones obtenidas pueden incorporar cierto grado de **subjetividad inherente a la percepción de los participantes**. No obstante, este efecto se reduce mediante la participación de varios expertos y mediante el uso de procedimientos de agregación y verificación de consistencia que permiten obtener resultados técnicamente robustos.

La aplicación de las encuestas permitió recoger de manera sistemática las valoraciones de los expertos sobre la importancia relativa de las dimensiones y criterios considerados en el análisis. Los resultados obtenidos, una vez procesados mediante la metodología AHP, proporcionan una base técnica sólida para la **determinación de las ponderaciones del modelo multicriterio**, contribuyendo así a la selección de la alternativa más adecuada para el proyecto.

A continuación se presenta la encuesta aplicada al grupo de expertos, compuesta por un total de 38 preguntas de comparación pareada. La primera pregunta tiene como objetivo establecer la ponderación relativa entre las siete dimensiones consideradas en el modelo. Las siete preguntas siguientes se utilizan para determinar la importancia relativa de los criterios dentro de cada dimensión. A partir de la pregunta número 9, se realiza la comparación de las alternativas respecto a cada uno de los criterios, con el fin de evaluar su desempeño relativo dentro del análisis multicriterio.

1. Con respecto a C. TERRITORIALES, qué criterio es más importante, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A - C. TERRITORIALES - o B?			Igu al	¿Cuánto más?								
	A	B										
1	SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA (SE)	SOSTENIBILIDAD TÉCNICA (ST)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA (SE)	SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (SA)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
3	SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA (SE)	GESTIÓN DE RIESGOS (GR)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
4	SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA (SE)	SOSTENIBILIDAD SOCIAL (SS)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
5	SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA (SE)	SOSTENIBILIDAD JURÍDICA (SJ)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
6	SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA (SE)	SOSTENIBILIDAD INSTITUCIONAL (SI)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
7	SOSTENIBILIDAD TÉCNICA (ST)	SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (SA)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
8	SOSTENIBILIDAD TÉCNICA (ST)	GESTIÓN DE RIESGOS (GR)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
9	SOSTENIBILIDAD TÉCNICA (ST)	SOSTENIBILIDAD SOCIAL (SS)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
10	SOSTENIBILIDAD TÉCNICA (ST)	SOSTENIBILIDAD JURÍDICA (SJ)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	



Cuál prefiere A - C. TERRITORIALES - o B?			lgual	¿Cuánto más?								
	A	B										
1	SOSTENIBILIDAD TÉCNICA (ST)	SOSTENIBILIDAD INSTITUCIONAL (SI)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (SA)	GESTIÓN DE RIESGOS (GR)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (SA)	SOSTENIBILIDAD SOCIAL (SS)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (SA)	SOSTENIBILIDAD JURÍDICA (SJ)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (SA)	SOSTENIBILIDAD INSTITUCIONAL (SI)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	GESTIÓN DE RIESGOS (GR)	SOSTENIBILIDAD SOCIAL (SS)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	GESTIÓN DE RIESGOS (GR)	SOSTENIBILIDAD JURÍDICA (SJ)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	GESTIÓN DE RIESGOS (GR)	SOSTENIBILIDAD INSTITUCIONAL (SI)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	SOSTENIBILIDAD SOCIAL (SS)	SOSTENIBILIDAD JURÍDICA (SJ)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	SOSTENIBILIDAD SOCIAL (SS)	SOSTENIBILIDAD INSTITUCIONAL (SI)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	SOSTENIBILIDAD JURÍDICA (SJ)	SOSTENIBILIDAD INSTITUCIONAL (SI)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

2. Con respecto a SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA (SE), qué criterio es más importante, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A - SOSTENIBILIDAD ECONÓMICA (SE) - o B?			lgual	¿Cuánto más?								
	A	B										
1	C1: Costos operacionales y de inversión	C2: Ingresos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

3. Con respecto a SOSTENIBILIDAD TÉCNICA (ST), qué criterio es más importante, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A - SOSTENIBILIDAD TÉCNICA (ST) - o B?			lgual	¿Cuánto más?								
	A	B										
1	C3: Adquisición de equipos	C4: Mano de obra calificada	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

4. Con respecto a SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (SA), qué criterio es más importante, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A - SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL (SA) - o B?			lgual	¿Cuánto más?								
	A	B										
1	C5: Optimización de recursos	C6: Minimización de contaminantes	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	C5: Optimización de recursos	C7: Manejo y/o aprovechamiento de sub-productos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
3	C6: Minimización de contaminantes	C7: Manejo y/o aprovechamiento de sub-productos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	



5. Con respecto a GESTIÓN DE RIESGOS (GR), qué criterio es más importante, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A - GESTIÓN DE RIESGOS (GR) - o B?			lg u al	¿Cuánto más?								
	A	B										
1	C8: Riesgo físico-natural	C9: Riesgo tecnológico-industrial	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	C8: Riesgo físico-natural	C10: Riesgo socio-institucional	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
3	C9: Riesgo tecnológico-industrial	C10: Riesgo socio-institucional	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

6. Con respecto a SOSTENIBILIDAD SOCIAL (SS), qué criterio es más importante, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A - SOSTENIBILIDAD SOCIAL (SS) - o B?			lg u al	¿Cuánto más?								
	A	B										
1	C11: Empleo verde y formalización laboral	C12: Aceptación social del proyecto	1									
2	C11: Empleo verde y formalización laboral	C13: Articulación comunitaria y economía circular	1									
3	C11: Empleo verde y formalización laboral	C14: Educación y cultura ciudadana	1									
4	C11: Empleo verde y formalización laboral	C15: Atención al usuario y gestión de PQRS	1									
5	C11: Empleo verde y formalización laboral	C16: Impacto en calidad de vida percibido	1									
6	C12: Aceptación social del proyecto	C13: Articulación comunitaria y economía circular	1									
7	C12: Aceptación social del proyecto	C14: Educación y cultura ciudadana	1									
8	C12: Aceptación social del proyecto	C15: Atención al usuario y gestión de PQRS	1									
9	C12: Aceptación social del proyecto	C16: Impacto en calidad de vida percibido	1									
10	C13: Articulación comunitaria y economía circular	C14: Educación y cultura ciudadana	1									
11	C13: Articulación comunitaria y economía circular	C15: Atención al usuario y gestión de PQRS	1									
12	C13: Articulación comunitaria y economía circular	C16: Impacto en calidad de vida percibido	1									
13	C14: Educación y cultura ciudadana	C15: Atención al usuario y gestión de PQRS	1									
14	C14: Educación y cultura ciudadana	C16: Impacto en calidad de vida percibido	1									
15	C15: Atención al usuario y gestión de PQRS	C16: Impacto en calidad de vida percibido	1									

7. Con respecto a SOSTENIBILIDAD JURÍDICA (SJ), qué criterio es más importante, y cuánto más en una escala del 1 al 9?



Cuál prefiere A - SOSTENIBILIDAD JURÍDICA (SJ) - o B?			lg ua l	¿Cuánto más?							
	A	B									
1	C17: Requiere modificación de la Licencia Ambiental	C18: Contribuye con los objetivos del Conpes 3874 de 2016	1								
2	C17: Requiere modificación de la Licencia Ambiental	C19: Contribuye con estrategias del Decreto 670 de 2025 y del PNBB	1								
3	C17: Requiere modificación de la Licencia Ambiental	C20: Está contemplado dentro del PGIRS de Sogamoso	1								
4	C17: Requiere modificación de la Licencia Ambiental	C21: Contribuye con metas y políticas de reducción de GEI del país	1								
5	C17: Requiere modificación de la Licencia Ambiental	C22: Está regulada la actividad dentro del servicio público de aseo	1								
6	C17: Requiere modificación de la Licencia Ambiental	C23: Reglamentación sectorial o limitaciones aplicables a la tecnología	1								
7	C17: Requiere modificación de la Licencia Ambiental	C24: Trámite de modificación ante la CRA para tarifa particular	1								
8	C17: Requiere modificación de la Licencia Ambiental	C25: Viabilidad jurídica	1								
9	C18: Contribuye con los objetivos del Conpes 3874 de 2016	C19: Contribuye con estrategias del Decreto 670 de 2025 y del PNBB	1								
10	C18: Contribuye con los objetivos del Conpes 3874 de 2016	C20: Está contemplado dentro del PGIRS de Sogamoso	1								
11	C18: Contribuye con los objetivos del Conpes 3874 de 2016	C21: Contribuye con metas y políticas de reducción de GEI del país	1								
12	C18: Contribuye con los objetivos del Conpes 3874 de 2016	C22: Está regulada la actividad dentro del servicio público de aseo	1								
13	C18: Contribuye con los objetivos del Conpes 3874 de 2016	C23: Reglamentación sectorial o limitaciones aplicables a la tecnología	1								
14	C18: Contribuye con los objetivos del Conpes 3874 de 2016	C24: Trámite de modificación ante la CRA para tarifa particular	1								
15	C18: Contribuye con los objetivos del Conpes 3874 de 2016	C25: Viabilidad jurídica	1								
16	C19: Contribuye con estrategias del Decreto 670 de 2025 y del PNBB	C20: Está contemplado dentro del PGIRS de Sogamoso	1								
17	C19: Contribuye con estrategias del Decreto 670 de 2025 y del PNBB	C21: Contribuye con metas y políticas de reducción de GEI del país	1								
18	C19: Contribuye con estrategias del Decreto 670 de 2025 y del PNBB	C22: Está regulada la actividad dentro del servicio público de aseo	1								
19	C19: Contribuye con estrategias del Decreto 670 de 2025 y del PNBB	C23: Reglamentación sectorial o limitaciones aplicables a la tecnología	1								
20	C19: Contribuye con estrategias del Decreto 670 de 2025 y del PNBB	C24: Trámite de modificación ante la CRA para tarifa particular	1								
21	C19: Contribuye con estrategias del Decreto 670 de 2025 y del PNBB	C25: Viabilidad jurídica	1								
22	C20: Está contemplado dentro del PGIRS de Sogamoso	C21: Contribuye con metas y políticas de reducción de GEI del país	1								
23	C20: Está contemplado dentro del PGIRS de Sogamoso	C22: Está regulada la actividad dentro del servicio público de aseo	1								



Cuál prefiere A - SOSTENIBILIDAD JURÍDICA (SJ) - o B?			lg ua l	¿Cuánto más?								
	A	B										
24	C20: Está contemplado dentro del PGIRS de Sogamoso	C23: Reglamentación sectorial o limitaciones aplicables a la tecnología	1									
25	C20: Está contemplado dentro del PGIRS de Sogamoso	C24: Trámite de modificación ante la CRA para tarifa particular	1									
26	C20: Está contemplado dentro del PGIRS de Sogamoso	C25: Viabilidad jurídica	1									
27	C21: Contribuye con metas y políticas de reducción de GEI del país	C22: Está regulada la actividad dentro del servicio público de aseo	1									
28	C21: Contribuye con metas y políticas de reducción de GEI del país	C23: Reglamentación sectorial o limitaciones aplicables a la tecnología	1									
29	C21: Contribuye con metas y políticas de reducción de GEI del país	C24: Trámite de modificación ante la CRA para tarifa particular	1									
30	C21: Contribuye con metas y políticas de reducción de GEI del país	C25: Viabilidad jurídica	1									
31	C22: Está regulada la actividad dentro del servicio público de aseo	C23: Reglamentación sectorial o limitaciones aplicables a la tecnología	1									
32	C22: Está regulada la actividad dentro del servicio público de aseo	C24: Trámite de modificación ante la CRA para tarifa particular	1									
33	C22: Está regulada la actividad dentro del servicio público de aseo	C25: Viabilidad jurídica	1									
34	C23: Reglamentación sectorial o limitaciones aplicables a la tecnología	C24: Trámite de modificación ante la CRA para tarifa particular	1									
35	C23: Reglamentación sectorial o limitaciones aplicables a la tecnología	C25: Viabilidad jurídica	1									
36	C24: Trámite de modificación ante la CRA para tarifa particular	C25: Viabilidad jurídica	1									

8. Con respecto a SOSTENIBILIDAD INSTITUCIONAL (SI), qué criterio es más importante, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A - SOSTENIBILIDAD INSTITUCIONAL (SI) - o B?			lg ua l	¿Cuánto más?								
	A	B										
1	C26: Contemplado en el objeto social de COSERVICIOS o requiere modificación de estatutos	C27: Dentro de las competencias del municipio de Sogamoso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	C26: Contemplado en el objeto social de COSERVICIOS o requiere modificación de estatutos	C28: Contribuye al cumplimiento de los ODS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
3	C26: Contemplado en el objeto social de COSERVICIOS o requiere modificación de estatutos	C29: Beneficios sociales y usos ambientales para la jurisdicción de Corpoboyacá	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
4	C26: Contemplado en el objeto social de COSERVICIOS o requiere modificación de estatutos	C30: Trámite o autorización del Concejo Municipal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	



Cuál prefiere A - SOSTENIBILIDAD INSTITUCIONAL (SI) - o B?			Igu al	¿Cuánto más?								
	A	B										
5	C27: Dentro de las competencias del municipio de Sogamoso	C28: Contribuye al cumplimiento de los ODS	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
6	C27: Dentro de las competencias del municipio de Sogamoso	C29: Beneficios sociales y usos ambientales para la jurisdicción de Corpoboyacá	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
7	C27: Dentro de las competencias del municipio de Sogamoso	C30: Trámite o autorización del Concejo Municipal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
8	C28: Contribuye al cumplimiento de los ODS	C29: Beneficios sociales y usos ambientales para la jurisdicción de Corpoboyacá	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
9	C28: Contribuye al cumplimiento de los ODS	C30: Trámite o autorización del Concejo Municipal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
10	C29: Beneficios sociales y usos ambientales para la jurisdicción de Corpoboyacá	C30: Trámite o autorización del Concejo Municipal	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

9. Con respecto a C1: Costos operacionales y de inversión, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A - C1: Costos operacionales y de inversión- o B?			Igua l	¿Cuánto más?								
	A	B										
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

10. Con respecto a C2: Ingresos, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C2: Ingresos - o B?			Igual	¿Cuánto más?								
	A	B										
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

11. Con respecto a C3: Adquisición de equipos, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C3: Adquisición de equipos - o B?			Igual	¿Cuánto más?								
	A	B										
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	



Cuál prefiere A – C3: Adquisición de equipos - o B?			Igual	¿Cuánto más?							
	A	B									
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9

12. Con respecto a C4: Mano de obra calificada, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C4: Mano de obra calificada - o B?			Igual	¿Cuánto más?							
	A	B									
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9

13. Con respecto a C5: Optimización de recursos, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C5: Optimización de recursos - o B?			Igual	¿Cuánto más?							
	A	B									
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9

14. Con respecto a C6: Minimización de contaminantes, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C6: Minimización de contaminantes - o B?			Igual	¿Cuánto más?							
	A	B									
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9

15. Con respecto a C7: Manejo y/o aprovechamiento de sub-productos, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C7: Manejo y/o aprovechamiento de sub-productos - o B?			Igual	¿Cuánto más?							
	A	B									
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9



Cuál prefiere A – C7: Manejo y/o aprovechamiento de sub-productos - o B?			Igual	¿Cuánto más?								
	A	B										
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

16. Con respecto a C8: Riesgo físico-natural, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C8: Riesgo físico-natural - o B?			Igual	¿Cuánto más?								
	A	B										
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

17. Con respecto a C9: Riesgo tecnológico-industrial, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C9: Riesgo tecnológico-industrial - o B?			Igual	¿Cuánto más?								
	A	B										
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

18. Con respecto a C10: Riesgo socio-institucional, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C10: Riesgo socio-institucional - o B?			Igual	¿Cuánto más?								
	A	B										
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

19. Con respecto a C11: Empleo verde y formalización laboral, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C11: Empleo verde y formalización laboral - o B?			Igual	¿Cuánto más?								
	A	B										
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	



Cuál prefiere A - C11: Empleo verde y formalización laboral - o B?			Igual	¿Cuánto más?							
	A	B									
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9

20. Con respecto a C12: Aceptación social del proyecto, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C12: Aceptación social del proyecto - o B?			Igual	¿Cuánto más?							
	A	B									
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9

21. Con respecto a C13: Articulación comunitaria y economía circular, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C13: Articulación comunitaria y economía circular - o B?			Igual	¿Cuánto más?							
	A	B									
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9

22. Con respecto a C14: Educación y cultura ciudadana, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C14: Educación y cultura ciudadana - o B?			Igual	¿Cuánto más?							
	A	B									
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9

23. Con respecto a C15: Atención al usuario y gestión de PQRS, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C15: Atención al usuario y gestión de PQRS - o B?			Igual	¿Cuánto más?							
	A	B									
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9



Cuál prefiere A – C15: Atención al usuario y gestión de PQRS - o B?			Igual	¿Cuánto más?							
	A	B									
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9

24. Con respecto a C16: Impacto en calidad de vida percibido, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C16: Impacto en calidad de vida percibido - o B?			Igual	¿Cuánto más?							
	A	B									
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9

25. Con respecto a C17: Requiere modificación de la Licencia Ambiental, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C17: Requiere modificación de la Licencia Ambiental - o B?			Igual	¿Cuánto más?							
	A	B									
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9

26. Con respecto a C18: Contribuye con los objetivos del Conpes 3874 de 2016, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C18: Contribuye con los objetivos del Conpes 3874 de 2016- o B?			Igual	¿Cuánto más?							
	A	B									
1	Alt. A	Alt. D	1								
2	Alt. A	Alt. E	1								
3	Alt. A	Alt. F	1								
4	Alt. D	Alt. E	1								
5	Alt. D	Alt. F	1								
6	Alt. E	Alt. F	1								

27. Con respecto a C19: Contribuye con estrategias del Decreto 670 de 2025 y del PNBB, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?



Cuál prefiere A – C19: Contribuye con estrategias del Decreto 670 de 2025 y del PNBB - o B?			Igual	¿Cuánto más?								
	A	B										
1	Alt. A	Alt. D	1									
2	Alt. A	Alt. E	1									
3	Alt. A	Alt. F	1									
4	Alt. D	Alt. E	1									
5	Alt. D	Alt. F	1									
6	Alt. E	Alt. F	1									

28. Con respecto a C20: Está contemplado dentro del PGIRS de Sogamoso, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C20: Está contemplado dentro del PGIRS de Sogamoso - o B?			Igual	¿Cuánto más?								
	A	B										
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

29. Con respecto a C21: Contribuye con metas y políticas de reducción de GEI del país, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C21: Contribuye con metas y políticas de reducción de GEI del país - o B?			Igual	¿Cuánto más?								
	A	B										
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

30. Con respecto a C22: Está regulada la actividad dentro del servicio público de aseo, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C22: Está regulada la actividad dentro del servicio público de aseo - o B?			Igual	¿Cuánto más?								
	A	B										
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

31. Con respecto a C23: Reglamentación sectorial o limitaciones aplicables a la tecnología, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?



Cuál prefiere A – C23: Reglamentación sectorial o limitaciones aplicables a la tecnología - o B?			Igual	¿Cuánto más?								
	A	B										
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

32. Con respecto a C24: Trámite de modificación ante la CRA para tarifa particular, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C24: Trámite de modificación ante la CRA para tarifa particular - o B?			Igual	¿Cuánto más?								
	A	B										
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

33. Con respecto a C25: Viabilidad jurídica, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C25: Viabilidad jurídica - o B?			Igual	¿Cuánto más?								
	A	B										
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

34. Con respecto a C26: Contemplado en el objeto social de COSERVICIOS S.A. E.S.P. o requiere modificación de estatutos, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C26: Contemplado en el objeto social de COSERVICIOS S.A. E.S.P. o requiere modificación de estatutos - o B?			Igual	¿Cuánto más?								
	A	B										
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9	

35. Con respecto a C27: Dentro de las competencias del municipio de Sogamoso, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?



Cuál prefiere A – C27: Dentro de las competencias del municipio de Sogamoso - o B?			Igual	¿Cuánto más?							
	A	B									
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9

36. Con respecto a C28: Contribuye al cumplimiento de los ODS, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C28: Contribuye al cumplimiento de los ODS - o B?			Igual	¿Cuánto más?							
	A	B									
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9

37. Con respecto a C29: Beneficios sociales y usos ambientales para la jurisdicción de Corpoboyacá, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C29: Beneficios sociales y usos ambientales para la jurisdicción de Corpoboyacá - o B?			Igual	¿Cuánto más?							
	A	B									
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9

38. Con respecto a C30: Trámite o autorización del Concejo Municipal, qué alternativa encaja es más preferible, y cuánto más en una escala del 1 al 9?

Cuál prefiere A – C30: Trámite o autorización del Concejo Municipal - o B?			Igual	¿Cuánto más?							
	A	B									
1	Alt. A	Alt. D	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	Alt. A	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Alt. A	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	Alt. D	Alt. E	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	Alt. D	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	Alt. E	Alt. F	1	2	3	4	5	6	7	8	9



13. ANÁLISIS TARIFARIO

13.1. Metodología tarifaria según Resolución CRA 720/2015

Contexto de la Regulación económica en el servicio público de aseo – SPA:

Con la Constitución del 91, se desarrolla la Ley 142 de 1994 que es una norma de intervención económica, que incorpora cambios estructurales en la prestación de los servicios públicos, definiendo las competencias, características y responsables de su prestación. Igualmente, a nivel nacional es relevante la creación de las Comisiones de Regulación y de la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios y se define el papel de los entes territoriales representados en las gobernaciones y alcaldías.

Aunado a este cambio estructural, desde el legal, reglamentario y regulatorio, se genera un estímulo a la gestión empresarial y a la promoción en la eficacia y eficiencia económica en la prestación de los servicios públicos, entrando a lo que se llamaría una racionalidad económica, partiendo del objetivo de brindar servicios públicos de calidad a los usuarios. Es necesario destacar, en este cambio estructural el desarrollo regulatorio, que desde 1996, viene desarrollando instrumentos tarifarios que permiten cobrar y recuperar los costos por la prestación de un servicio regulado.

En la Ley 142, se señala que el servicio público de aseo - SPA es el servicio de recolección municipal de residuos, principalmente sólidos, y que también incluye las actividades complementarias de transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de tales residuos. Y así mismo, define que, la Comisiones de Regulación establecerán las fórmulas para la fijación de las tarifas de los servicios públicos. En este caso la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico es la encargada de fijar las tarifas para el SPA.

Igualmente, el artículo 87 de la mencionada Ley, define que las tarifas están orientadas por los criterios de eficiencia económica, neutralidad, solidaridad, redistribución, suficiencia financiera, simplicidad y transparencia.

Es así como, en el año 2015, la CRA expide la Resolución 720, por la cual se establece el régimen de regulación tarifaria para las personas prestadoras del servicio público de aseo que atiendan en municipios de más de 5.000 suscriptores en áreas urbanas y la metodología que deben utilizar para el cálculo de las tarifas del servicio público de aseo.

13.2. Costos eficientes y estructura tarifaria

El municipio de Sogamoso y la Empresa COSERVICIOS S.A. E.S.P., utilizan para el cobro de la tarifaria del servicio público de aseo – SPA la estructura definida para tal fin por la CRA, en la Resolución 720 de 2015.

Es así como, para el tamaño del municipio y el número de suscriptores, Sogamoso aplica los criterios del segundo segmento, entre 5.000 y menos de 100.000 suscriptores. En la actualidad Sogamoso cuenta con 56.441 suscriptores.

Para la estructuración de la tarifa final al usuario o suscriptor, la resolución CRA 720 de 2015 define los siguientes componentes en el cobro del servicio de aseo:



- Comercialización.
- Barrido.
- Limpieza Urbana (lavado de áreas públicas, corte de césped, poda de árboles e instalación de cestas)
- Recolección y Transporte.
- Disposición Final.
- Tratamiento de Lixiviados.
- Aprovechamiento. Esta actividad se cobra como el valor base de recolección y transporte y el valor de DF

Así mismo, la mencionada resolución establece los costos techo para cada uno de los componentes los cuales deben ser actualizados de acuerdo con los diferentes índices que los afectan como lo son los índices del IPC (Índice de precios al consumidor) - ICFO (Índice de combustibles) y IOexp (Índice de obras de explanación) y salario mínimo legal vigente.

En el caso de Sogamoso, las actividades prestadas por COSERVICIOS S.A. E.S.P., corresponden a lo señalado en la Resolución 720 de 2015. Y específicamente, para la disposición final de residuos en el relleno sanitario, se tiene que el costo de esta actividad para el año 2024, estaba estimado en \$53.261 por tonelada (CDF) y el costo del tratamiento de lixiviados en \$ 13.308 por tonelada. Por lo tanto, el costo final de disposición y tratamiento de lixiviados está en el orden de orden de \$ 66.569 por tonelada de residuos que ingresa al relleno. De igual manera, el costo de recolección y transporte, para el mismo año (2024) es de \$ 180.998 por tonelada.

Es importante tener en cuenta, que este valor, \$ 66.569 por tonelada de residuos que ingresa al relleno, de acuerdo con el artículo 31 de la Resolución 720 de 2015, sería la remuneración por el uso de tecnologías alternativas a la disposición final en relleno sanitario. El artículo 31, estipula que *“... podrán emplearse alternativas a la disposición final en relleno sanitario siempre y cuando éstas cuenten con los permisos y autorizaciones ambientales requeridas y el costo a trasladar a los usuarios en la tarifa no exceda el valor resultante de la suma del Costo de Disposición Final definido en el artículo 28 y el Costo de Tratamiento de Lixiviados por escenario definido en el artículo 32 por tonelada. Dichos costos corresponden a la disposición final y tratamiento de lixiviados del municipio y/o distrito donde se pretenda emplear la alternativa...”*.

Teniendo en cuenta lo expuesto, si bien la Resolución 720 de 2015 no incluye entre sus componentes tarifarios una remuneración de la actividad de tratamiento sí, establece que los prestadores del servicio público de aseo podrán utilizar tecnologías alternativas a la disposición final en el relleno sanitario siempre y cuando cuenten con permisos ambientales y que el costo a transferir a los usuarios no exceda el valor resultante de la suma del Costo de Disposición Final y el Costo de Tratamiento de Lixiviados (CDF + CTL), de acuerdo con lo que define la resolución, por lo tanto, es necesario analizar si las tarifas definidas en esa metodología resultan suficientes para retribuir los costos asumidos por el prestador en la prestación de la actividad de tratamiento complementaria del SPA.

En este mismo sentido y al ser una metodología tarifaria de costo techo la definida en la Resolución 720 de 2015 para todas las actividades incluyendo la recolección y transporte, el valor máximo que se puede costear para esta actividad son los \$ 180.998 COP por tonelada, que a precios de 2024 calculó COSERVICIOS S.A. E.S.P.

Costo de Disposición Final (CDF)

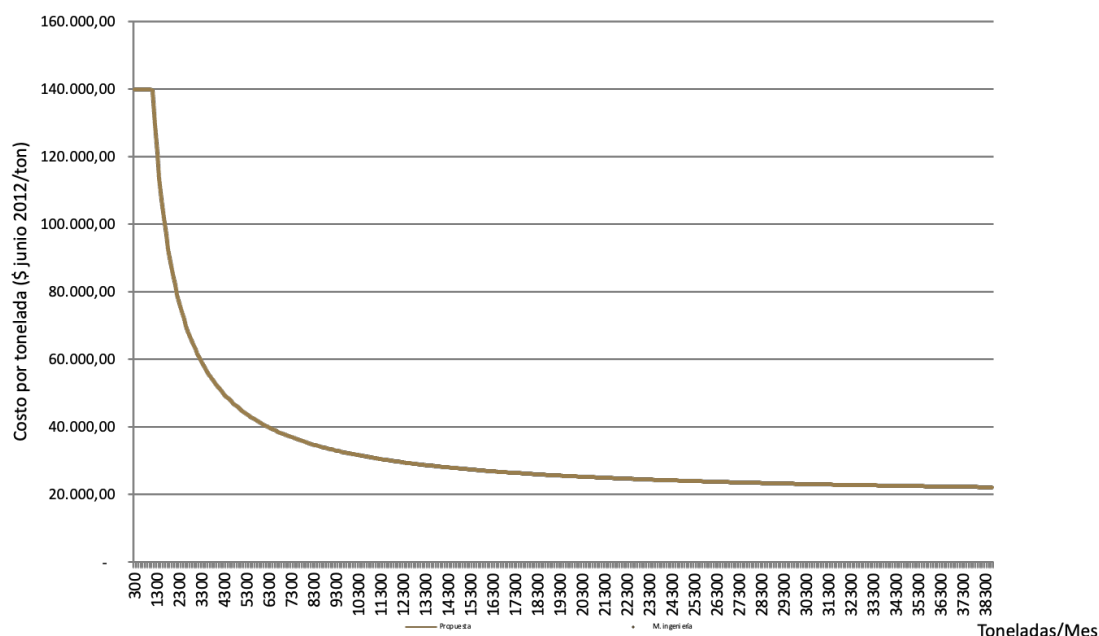


Imagen 52. Curva de tarifa techo para el costo de DF, según modelos de Resolución 720 de 2015, actualizada a costos 2025

13.3. Impactos

A manera de conclusión y de acuerdo con las cifras presentadas en la ***¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.***, todas las alternativas de tratamiento exceden el valor definido en la tarifa techo para el municipio de Sogamoso. Por lo tanto, y una vez analizadas las alternativas, se encuentra que se dan causales de carácter particular para efectos de la modificación de la fórmula tarifaria de acuerdo con lo que señala la Resolución CRA 864 de 2018, que señala las siguientes causales, (artículo 5.2.1.3. Resolución Compilatoria 943 de 2019) siempre que con ello se garanticen los criterios definidos en el artículo 87 de la Ley 142 de 1994 (de eficiencia económica, neutralidad, solidaridad, redistribución, suficiencia financiera, simplicidad y transparencia).

Con relación al costo de la actividad de recolección y transporte, y según los escenarios planteados en anteriores numerales de este documento, que incluyen la recolección y el transporte selectivo, el aumento del costo por tonelada no es significativo, a diferencia del costo de referencia para la actividad de tratamiento. Según las estimaciones estaría entre un 16 y un 20 % del valor actual.

Para evaluar los impactos, tanto en el valor del costo de las tecnologías alternativas a la disposición final de residuos en rellenos sanitarios, y sobre el supuesto que la empresa COSERVICIOS S.A. E.S.P. podría solicitar una actuación particular para proponer una fórmula que estime los costos de estas alternativas y permita que la empresa de servicios públicos pueda acceder a un cálculo de costos mayor al previsto en el artículo 31 de la Resolución 720 de 2015.



Para esto se elaboraron, a manera de estimación inicial, los impactos por cada una de las alternativas de tratamiento de residuos sólidos estudiadas y presentadas en este documento. Estos impactos se presentan, tanto en el costo estimado del tratamiento por tonelada, como en la tarifa al usuario, en este caso al usuario estrato 4, que el que no recibe subsidio y no hace contribuciones.

A continuación, se presentan las tablas con las variaciones con y sin venta de subproductos.



Tabla 75. Estimación del impacto por aumento del costo de tratamiento y en la tarifa al usuario, CON venta de subproductos.

Alternativas	Tecnologías	Valor estimado (\$/Ton)	Ingresos venta de Subproductos	Valor estimado Subproductos (\$/Ton)	Déficit DF+TLX (Resolución 720 de 2015)	Variación DF+TLX - % (R 720/2016, Art 31)	Tarifa estimada estrato 4 - COP	% estimado de aumento tarifa estrato 4
Actual	RS	\$ 66.569	\$ 0,0	\$ 66.569	\$ 0,0	0%	\$ 49.986	0%
A	TM+TB+RS	\$ 617.881,97	\$ 171.128,5	\$ 350.744,8	-\$ 284.175,8	427%	\$ 69.387	39%
D	TM + TB + CSR + RS	\$ 753.270,67	\$ 198.478,5	\$ 393.066,6	-\$ 326.497,6	490%	\$ 73.160	46%
E	TM + DA + TB + CSR + RS	\$ 1.023.827,97	\$ 227.649,3	\$ 626.191,4	-\$ 559.622,4	841%	\$ 93.945	88%
F	TM + DA + TB + RS	\$ 981.123,75	\$ 200.299,3	\$ 583.869,7	-\$ 517.300,7	777%	\$ 90.172	80%

Tabla 76. Estimación del impacto por aumento del costo de tratamiento y en la tarifa al usuario, SIN venta de subproductos.

Alternativas	Tecnologías	Valor estimado por tonelada (COP/Ton)	Déficit DF+TLX (Resolución 720 de 2015)	Variación DF+TLX - % (R 720/2016, Art 31)	Tarifa estimada estrato 4 - \$	% estimado de aumento tarifa estrato 4
Actual	RS	\$ 66.569	\$ 0,0	0%	\$ 49.986	0%
A	TM+TB+RS	\$ 617.881,97	-\$ 455.304,4	684%	\$ 84.644	69%
D	TM + TB + CSR + RS	\$ 753.270,67	-\$ 524.976,1	789%	\$ 90.856	82%
E	TM + DA + TB + CSR + RS	\$ 1.023.827,97	-\$ 787.271,7	1183%	\$ 114.241	129%
F	TM + DA + TB + RS	\$ 981.123,75	-\$ 717.600,0	1078%	\$ 108.030	116%



De acuerdo con la información de cálculos preliminares y tal como se presenta en las anteriores tablas si el municipio y COSERVICIOS S.A. E.S.P. deciden iniciar un proceso de modificación particular de la formula ante la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico - CRA, los impactos en los costos de inversión y operación de las alternativas a la disposición final en el relleno sanitario, según las alternativas propuestas en esta consultoría, pueden estar entre un 420 % y un 1070 %, aproximadamente, dependiendo del tipo de tecnología y de las mezclas de estas en las alternativas seleccionadas.

Con relación a la actividad de recolección y transporte selectivo, la variación en cada uno de los escenarios no es significativa con relación al valor que COSERVICIOS SA ESP tiene costado para esa actividad.

Es importante anotar que una solicitud de carácter particular, en el marco de la regulación del Servicio Público de Aseo, requeriría una propuesta de fórmula para la actividad de tratamiento para presentar a la Comisión acompañada de los estudios y soportes necesarios.

Y finalmente, este impacto se vería reflejado en la tarifa final que tendría que pagar el usuario. Como se observan en las anteriores tablas, en cada una de las alternativas el aumento de la tarifa para el estrato 4 es notoria, inclusive si se tiene en cuenta los ingresos por venta de subproductos.

14. ANÁLISIS JURÍDICO E INSTITUCIONAL

14.1. Antecedentes

En el marco del contenido de la actividad N. 3 del contrato No. 20240973 correspondiente al análisis de alternativas del sistema de tratamiento de residuos orgánicos y selección de la más viable técnicamente, se encuentra que, al tenor literal, la palabra clave o unidad de análisis gira en torno al “*tratamiento*” como actividad complementaria del servicio público domiciliario de aseo, y viene hacer la que delimita y determina el alcance del estudio desde el criterio jurídico y técnico.

En efecto, según el numeral 14.24 del artículo 14 de la Ley 142 de 1994, modificado por el artículo 1 de la Ley 689 de 2001, define el servicio público de aseo como “*el servicio de recolección municipal de residuos principalmente sólidos. También se aplicará esta ley a las actividades complementarias, de transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de tales residuos*”. A su vez en la reglamentación condensada en el Decreto 1077 de 2015 (que compiló el Decreto 2981 de 2013) del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio en artículo 2.3.2.1.1 definió dicha actividad en los siguientes términos:

“88. Tratamiento en el marco del servicio público de aseo: Es una actividad complementaria del servicio público de aseo, en la cual se propende por la obtención de beneficios ambientales, sanitarios o económicos, al procesar los residuos sólidos a través de operaciones y procesos mediante los cuales se modifican las características físicas, biológicas o químicas para potencializar su uso. Dentro de los beneficios se consideran la separación de los residuos sólidos en sus componentes individuales para lograr la reincorporación de los materiales o recursos valorizados al ciclo económico y la reducción de la cantidad de residuos sólidos a disponer”.



En consecuencia, para este subtítulo del informe, se desarrollan los aspectos relacionados con las Políticas públicas y disposiciones normativas aplicables al *tratamiento* como actividad complementaria del servicio público domiciliario de aseo y ambientales para el análisis en la fase de prefactibilidad de la alternativa seleccionada técnicamente, incluye, los requisitos y trámites para el uso subproductos o materiales de salida de la planta de tratamiento.

14.2. Análisis Institucional

La Empresa “Compañía de Acueducto y Servicios Públicos de Sogamoso” se constituyó mediante E.P. 629 de 1955, como una Sociedad Comercial Anónima cuyo objeto es la prestación de los servicios públicos de agua y energía.

Dicha Sociedad fue reformada mediante las siguientes Escrituras Públicas:

- 1609 del 28 de octubre de 1957
- 066 del 22 de enero de 1958
- 125 del 9 de febrero de 1962
- 875 del 10 de agosto de 1974
- 021 del 15 de enero de 1981
- 1031 del 18 de septiembre de 1992
- 528 del 30 de mayo de 1985
- 056 del 14 de enero de 1993
- Escritura de aclaración 2417 del 15 de julio de 1994
- 252 del 12 de marzo de 1996
- 2373 del 16 de agosto de 1996
- 1125 del 13 de agosto 1999
- 1343 del 12 de septiembre de 2000
- 2283 del 15 de octubre de 2003
- 1157 del 20 de agosto de 2009
- 1245 del 13 de agosto de 2012

En la actualidad los Estatutos de la Empresa reformados mediante E.P. 1245 de 2012, establecen que se constituye una E.S.P. de naturaleza mixta que se rige por el derecho privado, conforme lo señala la Ley 142 de 1994, cuyo objeto social es la prestación de servicios públicos domiciliarios conforme a la ley.

La Empresa en el marco de su objeto social puede entra otras:

- Construir, instalar y manejar rellenos sanitarios, plantas de compostaje y de reciclaje para procesar y comercializar bienes y productos derivados del aprovechamiento y tratamiento del manejo integral de residuos sólidos domiciliarios...

En ese sentido, es claro que la Empresa actualmente se encuentra habilitada de acuerdo con su objeto a adelantar la actividad del Servicio Público de Aseo en su actividad complementaria de Tratamiento.

A su vez, el esquema jerárquico de la Empresa se compone de:

- Asamblea General de Accionistas



- Junta Directiva
- Gerencia

Entre las funciones de la Asamblea General de Accionistas se encuentran:

- Elegir a los miembros de la Junta Directiva
- Elegir y remover libremente al Revisor Fiscal
- Examinar, aprobar o improbar los estados Financieros
- Estudiar y aprobar las reformas de los estatutos
- Disponer de las utilidades sociales
- Delegar en la Junta Directiva o Gerencia, para casos concretos alguna de las funciones que se haya reservado expresamente o cuya delegación no esté prohibida
- Elegir por el resto del período a los miembros de la Junta Directiva y de la Revisoría Fiscal
- Autorizar la celebración o ejecución de un acto o contrato cuándo su cuantía sobrepase una suma equivalente a 4000 salarios mínimos legales ya sea a un solo contrato o varios sobre el mismo asunto

Entre las funciones de la JUNTA DIRECTIVA que se compone de 7 miembros se encuentran:

- Designar y remover al Gerente
- Nombrar al suplente del gerente
- Seleccionar y autorizar al gerente la contratación del control interno de la empresa
- Designar al presidente de la Junta
- Autorizar al gerente la celebración de un acto o contrato que sobrepase la suma equivalente a doscientos (200) salarios mínimos mensuales legales vigentes ya se trate de un solo contrato o varios sobre el mismo asunto
- Autorizar al gerente la consecución de préstamos en dinero y determinar los tipos de garantías a conceder
- Autorizar al gerente la enajenación de cualquier bien mueble o inmueble, así como la constitución de garantías de gravámenes sobre ellos en asuntos no contemplados en los respectivos manuales

14.3. Observancia Normativa: Servicios Públicos domiciliarios y ambiental

Política Pública de Gestión Integral de Residuos Sólidos Ordinarios, Circularidad y el Tratamiento de Residuos Sólidos Ordinarios:

CONPES 3874 de 2016.

Con las recomendaciones de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), y las necesidad de avanzar y mejorar el tratamiento de los residuos sólidos a nivel de país, en el año 2016 con el CONPES 3874 ocurrió el relanzamiento de la política pública de la gestión en el marco de lo que se denomina economía circular, es decir, un cambio del modelo de economía lineal, (adquirir productor, consumir, desecha y disposición final) por uno circular,



teniendo como eje el aumentar el tratamiento con fines de reincorporar como materia prima el valor remanente calorífico en la cadena de valor o el ciclo productivo.

Dentro de los principios de la mencionada política, se involucra:

- Protección a la salud humana y al ambiente.
- Jerarquía de la gestión integral de residuos sólidos.
- Gestión diferencial.
- Educación y cultura en el manejo adecuado de residuos.
- Análisis del Ciclo de Vida del Producto.
- Responsabilidad extendida del productor.
- El que contamina paga.
- Gradualidad.
- Inclusión.
- Suficiencia Financiera.
- Regionalización.
- Estrategias diferenciales en la prestación del servicio público de aseo.

Se destaca que la política, las normas y en general las acciones son avance *gradual*, lo que indica un marco de progresividad y tener en cuenta la realidad de cada espacialidad abordada en los diferentes elementos que lo componen, por ejemplo, de orden técnico, cultural, ambiental, económico.

Refiriendo a la Jerarquía de la gestión integral de residuos sólidos, el tratamiento juega un papel supremamente importante dentro de la estrategia, en tanto, fomenta la valorización y optimización de los rellenos sanitarios, así como la disminución en términos de porcentaje de cantidad de disposición final.

Como objetivo general se insta: *“Implementar la gestión integral de residuos sólidos como política nacional de interés social, económico, ambiental y sanitario, para contribuir al fomento de la economía circular, desarrollo sostenible, adaptación y mitigación al cambio climático”*.

Con respecto a los ejes que resultan de interés para el presente documento, se tiene la minimización de aquellos residuos que van a sitios de disposición final y el tratamiento de residuos sólidos, como los orgánicos. Ello, en atención a que en dicha política y con base en estudios de la Fundación Ellen MacArthur (2013), las pérdidas y desperdicios en la cadena de suministro de alimentos son significativos: a nivel mundial se estiman en un tercio de los alimentos producidos para consumo humano cada año; en Colombia, el DNP (2016) reportó una cifra cercana al 34%. En un escenario conservador, esta proporción podría haberse incrementado con el tiempo.

Adiciona que el tratamiento es una fase crucial para la reincorporación de los materiales a procesos productivos como por manera el compostaje o digestión anaeróbica y la valorización a través de la generación de energía antes de ser dispuestos. Bajo este contexto, el corazón de la política recae en que los productos “permanezcan el mayor tiempo posible en el ciclo económico y se aproveche al máximo su materia prima y potencial energético” y de ahí la contribución de la actividad del tratamiento como una técnica para el logro de lo fines propuestos.



En términos particulares dentro de su Plan de acción se hizo especial relevancia al rol del PGIRS como el condensador de una política articulada, con una visión de largo plazo (30 años), que permita avanzar hacia una economía circular, contribuir al desarrollo sostenible, la adaptación y la mitigación al cambio climático.

De manera, que el compost, el tratamiento mecánico Biológico y la valorización energética en su orden se erigen o proyectan por sus benéficos ambientales, sociales y menor coste, entre otros, exaltado por la citada política.

Continuando con esta línea el Gobierno Nacional expidió la Estrategia Nacional de Economía Circular (2019) en la cual se vincula con la innovación tecnológica y nuevos modelos de negocios.

Define la economía circular como:

“Sistemas de producción y consumo que promuevan la eficiencia en el uso de materiales, agua y la energía, teniendo en cuenta la capacidad de recuperación de los ecosistemas, el uso circular de los flujos de materiales y la extensión de la vida útil a través de la implementación de la *innovación tecnológica*, alianzas y colaboraciones entre actores y el impulso de modelos de negocio que responden a los fundamentos del desarrollo sostenible”.

Reporta además los innumerables beneficios de la reutilización de materiales (agua, energía y valor agregado a un mismo material). En dicho propósito resalta las operaciones del tratamiento como el “metabolismo” que posibilita la extensión de la vida útil de dichos elementos.

Dicha política estimó que para el año 2030 se producirá un incremento de producción de residuos sólidos del 13,4% *per cápita* lo que determina la necesidad de adoptar decisiones que permitan avanzar en la gestión integral de residuos y en ese sentido, el tratamiento actividad complementaria de ese servicio que fue más ampliamente desarrollada por el Decreto 1784 de 2017 puede constituirse en una excelente opción siempre que en la decisión se aplique el concepto de Adicionalidad para Eficiencia.

Objetivos de Desarrollo Sostenible – ODS (2016).

La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible^[2] aparece en el contexto internacional cuando la Organización de las Naciones Unidas (ONU) estableció 17 objetivos teniendo como meta el año 2030, lo cual, se ha convertido en un propósito de país que se irriga por la institucionalidad como un objetivo común a la hora de confeccionar instrumentos de planificación, trazar metas y obtener resultados visibles.

La Política para Gestión Integral de Residuos Sólidos integra los siguientes objetivos: el 6 en términos de la reducción del impacto “ambiental negativo per cápita de las ciudades prestando atención a la gestión de desechos municipales”, 7 relacionado con el acceso a energía asequible, segura sostenible, 9 construcción de infraestructuras resiliente y moderna e innovadoras, el 11 “Ciudades y comunidades sostenibles”, y el 13 la lucha contra el cambio climático.

Como vemos con la selección de un sistema de tratamiento para los residuos orgánicos del Municipio de Sogamoso en el marco del servicio público domiciliario de aseo, no puede ser ajeno y contribuye con el cumplimiento de los ODS.



Ley 2394 de 2023 PND 2022-2026 “Colombia Potencia Mundial de la Vida”.

Continuando con esta dinámica en la Ley del Plan Nacional de Desarrollo actual se incluye en el artículo 227 el “*Programa Basura Cero*”^[3] como una señal o direccionamiento de orden transversal a los diferentes actores involucrados públicos o privados y teniendo como fin la “*..la eliminación del enterramiento hacia la implementación de parques tecnológicos y ambientales, de tratamiento y valorización de residuos, promoción del desarrollo tecnológico, conservación del ambiente y mitigación del cambio climático*”, priorizando el tratamiento de los residuos para impulsar economía circular.

Decreto Nacional 670 de 2025

Recientemente con la expedición de dicha norma, en reglamentación del artículo 227 antes comentado, que dijéramos sería una versión 2.0 a nivel de reforzar la estrategia para empujar la economía circular.

Dentro de los objetivos (4) y estrategias se consagra la disminución de la disociación final y aumento del tratamiento de residuos sólidos ordinarios y utilización de los subproductos, así como incentivos al Aprovechamiento de estos - IAT. Así mismo la transición de los Rellenos Sanitarios a los Parques Tecnológicos y Ambientales (PTA) y los requisitos para tal propósito como la adecuación de la licencia ambiental cuando se prevea la construcción y operación de instalaciones de aprovechamiento de orgánicos biodegradables, la Formulación del Plan Nacional para la Gestión Sostenible de Biomasa Residual, como estrategia para reducir la generación de residuos orgánicos biodegradables y fomentar el tratamiento en el marco del servicio público aseo.

Atendiendo las responsabilidades señaladas por el decreto, los entes territoriales como el municipio de Sogamoso de transversalizar esta estrategia en los instrumentos de planificación como el PGIRS para impulsar la economía circular.

Contexto PGIRS Sogamoso

El PGIRS de Sogamoso contiene en su “Programa 9. PROGRAMA DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS, 9.1 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA.”³⁴

El programa de aprovechamiento de residuos sólidos propone estrategias de promoción del reciclaje, reciclar, utilizar y reducir para de esta forma disminuir los residuos sólidos dispuestos en el relleno sanitario potencialmente aprovechables y que puedan ingresar de nuevo al ciclo productivo para de esta manera, disminuir los impactos negativos desde el punto de(sic) ambiental, económico y social. Una segunda investigación e implementación de tecnologías para el aprovechamiento de RSM.

³⁴ 9.1 DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA. El aprovechamiento en el marco normativo del Decreto 2981 de 2013, se define cómo la actividad complementaria del servicio público de aseo que comprende la recolección de residuos aprovechables separados en la fuente por los usuarios, el transporte selectivo hasta la estación de clasificación y aprovechamiento hasta la planta de aprovechamiento.



Es importante destacar que la norma que regula la expedición de PGIR's en Colombia es la Resolución 0754 de 2014, que es anterior a la expedición del Decreto 1784 de 2017, por lo tanto, cuándo se hace referencia de "aprovechamiento tecnológico y generación de energía a partir de los residuos sólidos, ésta debe entenderse como TRATAMIENTO Y NO APROVECHAMIENTO, lo anterior cobra significancia cuándo se tiene que a partir de la expedición del Decreto 1381 de 2024 la actividad complementaria del SPA de aprovechamiento SOLAMENTE LA PUEDEN PRESTAR LOS RECICLADORES DE OFICIO EN PROCESO DE FORMALIZACIÓN.

Permisos ambientales para el sistema de tratamiento analizado y seleccionado técnicamente.

Retomando las alternativas planteadas en la actividad No. 1 de esta consultoría respecto de cómo superara la exigencia inicial del licenciamiento ambiental de conformidad con la las exigencias consagradas en el Decreto 1076 de 2015 para la instalación y operación de una Planta de Tratamiento de Residuos orgánicos y bajo el análisis en conjunto con lo establecido en el Decreto 1784 de 2017 (compilado en el Decreto 1077 de 2015 del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio) reglamentado por la Resolución 938 de 2019 del Minvivienda y demás aplicable.

Así, el Decreto 1076 de 2015 "Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible", Reglamentario de la Ley 99 de 1993, establece dentro las actividades, obras o proyectos que requieren de trámite y obtención de dicha autorización, según el numeral 12 del artículo 2.2.2.3.2.3:

"12. La construcción y operación de plantas cuyo objeto sea el aprovechamiento y valorización de residuos sólidos orgánicos biodegradables mayores o iguales a veinte mil (20.000) toneladas/año".

Dicho decreto es objeto de modificación por el reciente Decreto 670 de 2015 agregando como causal para la modificación de la licencia ambiental:

Artículo 2.2.2.3.7.1:

"10. Para aquellos rellenos sanitarios y proyectos de valorización de residuos sólidos orgánicos biodegradables mayores o iguales a veinte mil (20.000) toneladas/año que estén licenciados y que pretendan transitar a Parques Tecnológicos y Ambientales - PTA, siempre y cuando comprueben mediante estudios técnicos a la autoridad ambiental que las nuevas actividades generarán menores impactos".

Concomitantemente existe una regla excepcional y residual consagrada en el parágrafo 1 de esta norma que consigna que para aquellas obras que respondan a modificaciones menores o de ajuste normal dentro del giro ordinario de la actividad licenciada y que no impliquen nuevos impactos ambientales adicionales a los inicialmente identificados y dimensionados en el estudio de impacto ambiental, el titular de la licencia ambiental, "solicitará mediante escrito y anexando la información de soporte, el pronunciamiento de la autoridad ambiental competente sobre la necesidad o no de adelantar el trámite de modificación completa de la licencia ambiental, quien se pronunciará mediante oficio en un término máximo de veinte (20) días hábiles".

Teniendo que según los cálculos técnicos de esta consultoría arroja que el tratamiento efectivo de residuos sólidos orgánicos no superaría las veinte mil (20.000) toneladas/año, lo



cual, se correlaciona con uno de los criterios establecidos en el artículo 7 de la Resolución 938 de 2019 del Minvivienda.

“III. Tratamiento biológico para residuos orgánicos separados en fuente, con recolección y transporte selectivo en escalas menores a 20.000 toneladas por año, siempre que se garantice su sostenibilidad”.

En este orden y según las consideraciones preliminares hechas por la Corporación Autónoma Regional de Boyacá – CORPOBOYACÁ en la reunión presencial del 19 de agosto del año en curso, (en la cual participo la Interventoría y Supervisión del contrato), se tendría mayor probabilidad de aceptar por esa autoridad el manejo de modificación menor o giro ordinario para introducir el sistema de tratamiento seleccionado en el marco de la actual licencia ambiental de Relleno Sanitario “Terrazas del Porvenir”. Lo que reporta benéficos como quiera que sería un trámite ambiental menos dispendioso que el procedimiento de modificación del instrumento de manejo y control, tan como lo señala la norma, que exige la actualización del EIA y PMA, entre otros, y seguir el procediendo establecido para tal fin, lo que tendría impacto en por ejemplo en términos de tiempo para la presentación del proyecto o documento para concepto favorable ante el Minvivienda, conforme a lo establecido en la actividad No. 5 de este contrato. En todo caso, es un asunto que, en uno u otro escenario, lo determina la autoridad ambiental competente atendiendo que hace parte del ejercicio de sus funciones legales.

Se aclara, que dicha situación no impide que el futuro y ante un mayor volumen de tratamiento de residuos sólidos orgánicos que arribe al tope de igual o mayor a las (20.000) toneladas/año, se examine y trámite la modificación de la licencia ambiental como lo consagre la norma ambiental.

La otra alternativa planteada en aquel informe 1, es que directamente el Municipio de Sogamoso tramitará la obtención de la licencia ambiental bajo la figura de la superposición de proyectos objeto de licenciamiento dentro el mismo polígono, siempre y cuando pueda coexistir con el que está actualmente licenciado para el relleno sanitario “Terrazas del Porvenir”. No obstante, esta opción implica necesariamente alistar y presentar los estudios ambientales biótico, abiótico y socioeconómico requerido para la obtención de la licencia ambiental y el agotamiento del trámite de la licencia ambiental que es complejo y dispendioso, lo que llevaría un tiempo considerable de meses o años, que fácilmente según la experiencia, puede superar los términos del Convenio 937 de 2024 celebrado entre el Minvivienda y el Municipio de Sogamoso y que da origen al presente contractual.

Con base en estas consideraciones lo que es más lógico y recomendable es que el actual titular de la licencia ambiental COSERVICIOS S.A. E.S.P., de la cual, es socio mayoritario el municipio de Sogamoso con el 62.4% (certificación expedida por la Gerencia de COSERVICIOS S.A. E.S.P., de 23/05/2025). Se solicite a CORPOBOYACÁ fundadamente en los términos exigidos por la normativa la modificación menor o de llegar a exigirlo la autoridad ambiental, la modificación de la licencia ambiental actual.

En cualquier escenario, y teniendo en cuenta que, sobre la mesa, se cuenta con Resolución No. 1080 de mayo 2023 de CORPOBOYACÁ, la que le modifique o adicione, en contra de la empresa COSERVICIOS S.A. E.S.P., y en la parte resolutive se encuentra:



ARTÍCULO PRIMERO. – Declarar responsable a la Compañía de Servicios Públicos de Sogamoso S.A. E.S.P. – COSERVICIOS S.A. E.S.P., persona jurídica identificada con NIT No. 891.800.031-4, de los cargos formulados por esta Corporación mediante la Resolución No. 1193 del 05 de julio de 2022, conforme a las consideraciones expuestas en la parte motiva del presente acto administrativo.

ARTÍCULO SEGUNDO. - Como consecuencia de lo anterior, IMPONER COMO SANCIÓN PRINCIPAL a la COMPAÑÍA DE SERVICIOS PÚBLICOS DE SOGAMOSO S.A. E.S.P. – COSERVICIOS S.A. E.S.P. – persona jurídica con Nit. No. 891.800.031-4, CIERRE TEMPORAL DEL SERVICIO DE RELLENO SANITARIO TERRAZAS DEL PORVENIR de conformidad con lo dispuesto en la parte motiva del presente acto administrativo”.

Es conocido que jurídicamente el cierre temporal del servicio del Relleno Sanitario “Terrazas del Porvenir” que cuando se superan las consideraciones de hecho y derecho que llevaron a la autoridad ambiental a su imposición, es viable, solicitar jurídicamente el levantamiento de dicha restricción, y transitar hacia la operación dijéramos normal. Ello, por su puesto implica el mejoramiento ambiental de las causas que dieron lugar a las sanciones, lo que mejora la percepción por los diferentes actores entre ellos la autoridad ambiental, lo que facilita desde todo orden, que se allane el camino para que se acepte y pueda consolidarse la modificación menor a la cual hay que apuntarle por los beneficios para el proyecto o plena en última instancia.

En conclusión, frente a la opción más viable, es urgente por parte de COSERVICIOS S.A. E.S.P., lograr el levantamiento el correr temporal del servicio, lo cual se consigue con una actuación propositiva, sostenida y mediante un instrumento progresivo como la puesta en marcha de un plan de acción que se presenta ante la autoridad ambiental bajo metas e indicadores de avance medible y verificable y apalancado económicamente, etc. Dicha situación fue referida en la citada reunión y entendimos como un elemento sine qua non o indispensable para la corporación, para la recomendada modificación en uno u otro sentido, de la licencia ambiental actual del Relleno Sanitario.

No deja de ser preocupante y es absolutamente necesario reiterar como lo ha expresado la consultoría, que según CORPOBOYACÁ los avances en el sentido expuesto, no lleguen al 20%, que contrasta ampliamente con lo manifestado por COSERVICIOS S.A. E.S.P. en la reunión del 14 de julio de 2025 de un 60% o 70% de adelanto, pero que siguiendo a la corporación es muy baja la probabilidad que en ese escenario se pueda adelantar sin tropiezos y en el menor tiempo, etc., el proceso de modificación del permisivo planteado.

Dicha situación está en las manos de terceros como los tomadores de decisiones de COSERVICIOS S.A. E.S.P. y de sus órganos de dirección y administración, de la cual hace parte el municipio de Sogamoso, en el sentido de adoptar con prisa las decisiones costo eficientes, para levantar esta medida sancionatoria ambiental y allanar el proyecto desde el punto de vista de las exigencias de permisos ambientales exigida en la Resolución 661 de 2019 del Minvivienda para la obtención del concepto favorable para el proyecto, fin de este contractual.

Metas de país y sectorial de reducción de Gases Efecto Invernadero – GEI

Atendiendo el compromiso y las metas de país, conocida como la Contribución Nacionalmente Determinada – NDC, en el marco de la COP21 de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático – CMNUCC, donde se adoptó el Acuerdo de París (2015) y Colombia se comprometió en principio a reducir sus emisiones de GEI en un 20% respecto a las



proyectadas para el año 2030 (línea base 2010) y del 30% con el apoyo de cooperación internacional. No obstante, con la expedición de la Ley 2169 de 2021^[5] en el artículo 5 se ajustó Las metas nacionales de mitigación de GEI a 2030, así como las acciones mínimas para lograrlo, que comprenden las actualizaciones de la Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia (NDC)" sometidas ante la CMNUCC, quedando de la siguiente manera:

"1. Reducir en un cincuenta y uno por ciento (51 %) las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) con respecto al escenario de referencia a 2030 de la NDC, lo que representa un máximo de emisiones país de 169.44 millones de tCO₂eq en 2030.

2. Alcanzar el carbono neutralidad a 2050".

En lo que es atinente a la regulación sectorial del SPA el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, expidió la Resolución 431 de 2020 o la que le modifique o sustituya, en cuyo anexo se incluyó al sector agua y saneamiento básico, señalando que de conformidad con el "Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero Colombia- INGEI, que las emisiones de GEI del sector de saneamiento corresponden al 4% de las emisiones históricas nacionales generadas entre el año 1990 y 2014".

Se adiciona, que la principal fuente de emisiones dentro del sector de saneamiento es la emisión de gases que es producto de la descomposición de la materia orgánica en los sitios de disposición final de residuos sólidos, siendo el "metano el principal gas de efecto invernadero emitido, con una participación de 91% en promedio para el módulo, seguido del N₂O con 6% y finalmente, el CO₂ con 3%"^[2].

Las metas del sector están apostadas a las establecidas del 51% al 2030 y carbono neutralidad al año 2050, lo que significa que es mayor el esfuerzo, situación que no es ajena al Municipio de Sogamoso desde el punto de vista territorial en la gestión integral del cambio climático. De manera, que como se detalla en el análisis técnico y ambiental de las alternativas de tratamiento y la seleccionada existe un aporte significativo a la mitigación de los GEI y lucha contra el cambio climático del país.

14.4. ASPECTOS A CALIFICAR EN LA ADOPCIÓN DE DECISIONES

14.4.1. Adicionalidad para la eficiencia

La construcción de la planta de tratamiento complementaria a la disposición final en al área del Relleno Sanitario Terrazas de El Porvenir del Municipio Sogamoso, obedece a los criterios definidos en el Decreto 1077 de 2015, artículo 2.3.2.3.19, que señaló que en los sitios de disposición final se puedan establecer instalaciones de tratamientos alternativos o complementarios a rellenos sanitarios y que para ello la CRA deberá adoptar metodologías tarifarias que incentiven esa actividad complementaria del Servicio Público de Aseo.

De manera reiterada la norma señala que la selección de tratamiento o tratamientos a implementar debe considerar, entre otros, su complejidad, acorde con la caracterización de los residuos sólidos según el tratamiento a implementar, los estudios de población, proyección de generación de residuos, análisis de viabilidad financiera y económica, así como la sostenibilidad empresarial.



La misma norma desarrolló el concepto de Adicionalidad para la Eficiencia contenido en el artículo 2.3.2.3.8. del Decreto 1077 de 2015, según el cual, las entidades territoriales y las personas prestadoras del servicio público de aseo deberán adoptar esas decisiones luego de realizar un análisis de beneficio – costo y de la sostenibilidad de los sistemas.

Por lo tanto, el criterio desarrollado por la norma para la sostenibilidad del sistema y definido cómo Adicionalidad para la Eficiencia de los sistemas deberá tener un peso de 30 en el análisis de los criterios de elegibilidad.

14.4.2. Reglamentación sectorial en el contexto del servicio público domiciliario de aseo

La Ley 142 de 1994 en su artículo 14, numeral 14.24 estableció que el servicio público domiciliario de aseo es el servicio de recolección municipal de residuos, principalmente sólidos y que también se aplicará esa Ley a las actividades complementarias de transporte, tratamiento, aprovechamiento y disposición final de tales residuos.

Sobre los tratamientos posibles en Colombia definidos en la norma es preciso señalar que la Resolución 938 de 2019 que reglamentó el Decreto 1784 de 2017, definió además de una Cartografía Inversa para seleccionar las áreas potenciales para ubicación de sistemas de tratamiento en dónde se privilegia su ubicación en lugares ya impactados, cómo es el caso del Relleno Sanitario Terrazas de El Porvenir que presta la actividad de disposición final al municipio de Sogamoso y otros del departamento de Boyacá, algunos postulados y criterios para la selección de proyectos así:

“ARTÍCULO 7o. POSTULADOS Y CRITERIOS DE SELECCIÓN DE TRATAMIENTO. La selección de proyectos de tratamiento de residuos sólidos en la prestación del servicio público de aseo deberá fundamentarse en los siguientes postulados y criterios:

Postulados:

- i. Deberá garantizarse el Saneamiento Básico territorial.
- ii. Deberá asegurarse la prestación del servicio público de aseo.
- iii. Deberá realizarse el análisis costo-beneficio entre el tratamiento o tratamientos a elegir y el relleno sanitario.
- iv. Deberá garantizarse la sostenibilidad del tratamiento o tratamientos seleccionados.
- v. Deberá realizarse el análisis de impacto tarifario.

Criterios:

- i. Tratamiento térmico con fines de recuperación de energía, en proyectos de más de 100,000 Ton/año, donde los residuos tengan un poder calorífico mayor o igual a 7 MJ/ kg o menos de 100.000 Ton/año, siempre y cuando que se garantice su sostenibilidad.
- ii. Tratamiento biológico para residuos orgánicos separados en fuente, con recolección y transporte selectivo en escalas mayores o iguales a 20.000 toneladas por año.



iii. Tratamiento biológico para residuos orgánicos separados en fuente, con recolección y transporte selectivo en escalas menores a 20.000 toneladas por año, siempre que se garantice su sostenibilidad.

iv. Tratamiento Mecánico Biológico de residuos previo a disposición final.

v. Tratamiento Mecánico Biológico de residuos ya dispuestos en sitios de disposición final.

ARTÍCULO 8o. PRIORIZACIÓN. Para seleccionar el tipo de tratamiento de residuos sólidos se deberá realizar un análisis costo beneficio entre las actividades de disposición final y las de tratamiento, comparando como mínimo los siguientes criterios:

i. Área disponible

ii. Vida útil

iii. Costo tratamiento de lixiviados según norma de calidad

iv. Costo de manejo de gases efecto invernadero

v. Indicadores financieros” (Negrillas fuera de texto).

Además, es imprescindible señalar que la actividad complementaria de tratamiento, de acuerdo con lo señalado en la Resolución 938 de 2019, incluye la recolección selectiva para el tratamiento biológico (aplicado a los RSO) por lo cual son los prestadores de esta actividad quienes están habilitados para realizar esta recolección selectiva.

Se concluye que la reglamentación sectorial se constituye en elemento habilitante para la ejecución del proyecto.

14.4.3. Modificación de mutuo acuerdo.

El cobro de las actividades del SPA, entre ellas el tratamiento, está asociado a las tarifas calculadas por la en las metodologías tarifarias establecidas por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA), las cuales se rigen por criterios orientadores bajo los cuales se debe garantizar que la tarifa cobrada al usuario refleje los costos efectivos de la prestación que también garanticen la sostenibilidad financiera del prestador que deberá recuperar los costos en los que incurra para la construcción y operación de los proyectos asociados y cumplir además los parámetros de cobertura y los indicadores de gestión y resultados que incluye la obligación de contar con auditorías internas, aspectos técnicos y comerciales y el reporte de la información SUI de la SSPD.

En ese sentido la Resolución CRA 720 de 2015 para las prestadoras del servicio público de aseo que prestan sus servicios en áreas urbanas de municipios con más de 5.000 suscriptores y rellenos sanitarios que reciben más de 300 toneladas de residuos al mes, si bien no incluye entre sus componentes tarifarios una remuneración de la actividad de tratamiento sí establece que los prestadores del servicio público de aseo podrán utilizar tecnologías alternativas a la disposición final en el relleno sanitario siempre y cuando cuenten con permisos ambientales y que el costo a transferir a los usuarios no exceda el valor resultante de la suma del Costo de Disposición Final y el Costo de Tratamiento de Lixiviados (CDF + CTL), de acuerdo con lo que define la resolución, por lo tanto, es necesario analizar si las tarifas definidas en esa



metodología resultan suficientes para retribuir los costos asumidos por el prestador en la prestación de la actividad de tratamiento complementaria del SPA.

El municipio de Sogamoso y la Empresa COSERVICIOS S.A. E.S.P., utilizan para el cobro de la tarifaria del servicio público de aseo – SPA la estructura definida para tal fin por la Cra, en la Resolución 720 de 2015.

Es así como, para el año 2024, el costo de disposición final estaba estimado en \$53.261 por tonelada (CDF) y el costo del tratamiento de lixiviados en \$ 13.308 por tonelada. Por lo tanto, el costo final de disposición y tratamiento de lixiviados está en el orden de orden de \$ 66.569 por tonelada que ingresa al relleno. Este valor, de acuerdo con el artículo 31 de la Resolución 720 de 2015, sería la remuneración por el uso de tecnologías alternativas a la disposición final en relleno sanitario.

Es así, que sí del análisis del proyecto de tratamiento propuesto y las tarifas fórmulas tarifarias definidas por la CRA mediante la Resolución 720 de 2015 se encuentra que podrían darse causales de carácter particular para efectos de la modificación de la fórmula tarifaria de acuerdo con lo que señala la Resolución CRA 864 de 2018, que señala las siguientes causales, (artículo 5.2.1.3. Resolución Compilatoria 943 de 2019) siempre que con ello se garanticen los criterios definidos en el artículo 87 de la Ley 142 de 1994 (de eficiencia económica, neutralidad, solidaridad, redistribución, suficiencia financiera, simplicidad y transparencia) así:

- (i) Mutuo acuerdo entre la persona prestadora y la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico;
- (ii) Grave error de cálculo en la fórmula tarifaria que lesione injustamente los intereses de los usuarios o de la persona prestadora; y/o
- (iii) Caso fortuito o fuerza mayor que comprometa en forma grave la capacidad financiera de la empresa para continuar prestando el servicio.

Por lo tanto, la modificación de mutuo acuerdo, deberá tener un peso de 10 en el análisis de los criterios.

Disminuye efectivamente las toneladas dispuestas en el Relleno Sanitario, “Terrazas del Porvenir”

Un proyecto de tratamiento cómo alternativo o complementario al relleno sanitario, de acuerdo con los análisis técnicos realizados, contribuirá a disminuir las toneladas dispuestas en el Relleno Sanitario “Terrazas del Porvenir” y se ajusta a los objetivos definidos por el Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio MVCT.

Por lo tanto, la disminución de toneladas efectivamente dispuestas en el Relleno Sanitario Terrazas del Porvenir deberá tener un peso de 15 puntos en la evaluación.

Aumenta la vida útil del Relleno Sanitario, “Terrazas del Porvenir”

Teniendo en cuenta que el Municipio de Sogamoso cuenta con relleno sanitario y que, deberá superar el cierre temporal, considerando las limitaciones del ordenamiento territorial y los usos del suelo para la construcción de rellenos sanitarios es indispensable aumentar la vida útil



del Relleno Sanitario y es indudable que el tratamiento como complementario a la disposición final contribuirá a aumentar la vida útil del sitio de disposición final del municipio.

Por lo tanto, el aumento de la vida útil del Relleno Sanitario “Terrazas del Porvenir” deberá tener un peso de 25 puntos en la evaluación.

14.4.4. Análisis ambiental

Desde el punto de vista jurídico ambiental, como se ha señalado, cualquier que sea la alternativa técnica de tratamiento seleccionada de residuos sólidos orgánicos, entra en el marco de la obtención de la licencia ambiental (Municipio de Sogamoso) o modificación ya sea menor o del giro ordinario o plena en los términos establecido en el Decreto 1076 de 2015 dependiendo del criterio de la autoridad ambiental, sin perjuicio de las recomendaciones que al respecto ha escrito esta consultoría.

Es necesario señalar que la licencia ambiental, contiene los permisos y autorizaciones para el uso de los recursos naturales renovables y descarga de cargas contaminantes, lo cual, se detalla en los estudios ambientales requeridos como el EIA y el PMA con el programa de seguimiento y monitoreo a los impactos y las fichas de manejo. normalmente, ello implica describir los subproductos o materiales de salida del sistema de tratamiento, con sus usos o disposición controlada.

Aunque en estricto sentido, no corresponde a un aspecto ambiental, sino del sector agropecuario, para el caso de la obtención de productos finales, como fertilizantes o acondicionadores de suelos (incluye compost) la planta de tratamiento de orgánicos debe contar con su respectivo registro de funcionamiento o de productor y el producto final con la respectiva licencia de venta, definidos como requisitos y trámite en la Resolución 0150 de 2003^[8] modificada por la 968 de 2010 para el caso de cada fertilizantes, emitida por el del Instituto Colombiano Agropecuario - ICA por la cual se adopta el Reglamento Técnico de Fertilizantes y Acondicionadores de Suelos para Colombia, o las normas que las modifiquen, adicionen o sustituyan. Si se trata si se trata de abonos orgánicos la caracterización de la NTC 5167 y demás aplicable.

Para el caso de biofertilizantes de uso agrícola como el bioabono, está regulado mediante la Resolución ICA No. 68370 de 2020³⁵ en la cual se indica los requisitos para el trámite de registro de las productoras, así como para el registro de bioinsumos para uso agrícola, actualmente otorga el uso de estos productos como biofertilizantes.

³⁵ [https://euc-word-edit.officeapps.live.com/we/wordeditorframe.aspx?ui=es-ES&rs=en-US&wopisrc=https://promaingenierossl.sharepoint.com/sites/promaglobal/_vti_bin/wopi.ashx/files/638bb6ba22bc4cabb0a4a525de8079b5&wdenableroaming=1&mssc=0&hid=C4CF9C7A-8C77-4F97-9C64-7635D68164F1.0&uih=sharepointcom&wdlcid=es-ES&jsapi=1&jsapiver=v2&corrid=cf7d9898-0e18-2be1-0099-daf9eacb6dee&usid=cf7d9898-0e18-2be1-0099-daf9eacb6dee&newsession=1&sftc=1&uihit=docaspx&muv=1&cac=1&sams=1&mtf=1&sfp=1&sdp=1&hch=1&hwf=1&dchat=1&sc={\"pmo\": \"https://promaingenierossl.sharepoint.com\", \"pmshare\": true}&ctp=LeastProtected&rct=Normal&wdorigin=Sharing.ServerTransfer&afdflight=56&csi=1&instantedit=1&wopicomplete=1&wdredirectio nreason=Unified_SingleFlush](https://euc-word-edit.officeapps.live.com/we/wordeditorframe.aspx?ui=es-ES&rs=en-US&wopisrc=https://promaingenierossl.sharepoint.com/sites/promaglobal/_vti_bin/wopi.ashx/files/638bb6ba22bc4cabb0a4a525de8079b5&wdenableroaming=1&mssc=0&hid=C4CF9C7A-8C77-4F97-9C64-7635D68164F1.0&uih=sharepointcom&wdlcid=es-ES&jsapi=1&jsapiver=v2&corrid=cf7d9898-0e18-2be1-0099-daf9eacb6dee&usid=cf7d9898-0e18-2be1-0099-daf9eacb6dee&newsession=1&sftc=1&uihit=docaspx&muv=1&cac=1&sams=1&mtf=1&sfp=1&sdp=1&hch=1&hwf=1&dchat=1&sc={\)



En dicha premisa normativa se define Bioabono:

“Producto elaborado a partir materiales orgánicos obtenidos a partir de procesos de compostaje, al cual se le han adicionado microorganismos benéficos viables que son garantizados en la composición del producto y que se usan para mejorar las características biológicas y/o fisicoquímicas del suelo, degradar materia orgánica o promover crecimiento vegetal y que pueden garantizar carbono orgánico”.

Para el caso de usos con fines ambientales para recuperación de suelos degradados por actividades antrópicas o naturales, por ser un tema no tan regulado, se sugiere que en el momento preciso y bajo la descripción de las características físico químicas y biológicas el material o subproducto en concreto se consulte a la autoridad ambiental competente, en este caso CORPOBOYACÁ de los usos posibles, condiciones de aplicación y las zonas o áreas para el uso de la jurisdicción, priorizando al municipio de Sogamoso, lo cual, constituiría un plus por los benéficos y sociales que se obtendrían para su recuperación y de servicios ambientales.

Recientemente se expidió por parte del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural No. 000295 de 2025 de 09/09 "Por la cual se adoptan los lineamientos de Política Pública sobre Bioinsumos, fertilizantes orgánicos y acondicionadores de suelos: una apuesta para el logro de las agriculturas para la vida", la cual, entra en la fase de reglamentación e implementación.

15. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

15.1. Alternativa de tratamiento recomendada

La Alternativa A, planta de Tratamiento Mecánico-Biológico (TM+TB) con disposición en relleno sanitario, constituye la opción más adecuada para las condiciones actuales del municipio de Sogamoso. Presenta una madurez técnica comprobada, costes de inversión y operación moderados y un desempeño ambiental favorable, al reducir la cantidad de residuos enviados a disposición final mediante el aprovechamiento de materiales reciclables y el tratamiento de la fracción orgánica para la producción de compost, con aplicación potencial en suelos agrícolas y procesos de restauración ambiental en el Departamento de Boyacá.

La Alternativa A demuestra una alta capacidad de adaptación a la evolución de los escenarios de recogida selectiva, respondiendo tanto a las condiciones operativas actuales como a las exigencias normativas vigentes.

En el marco jurídico colombiano, el Decreto 670 de 2025, que desarrolla el Programa Basura Cero, establece la obligatoriedad de implementar la separación en la fuente y el manejo diferencial de corrientes de residuos, con especial énfasis en la fracción orgánica. Este mandato legal proporciona el punto de partida para poner en marcha el Escenario 1, enfocado en los grandes generadores (mercados, plazas, restaurantes, establecimientos de alimentos) y zonas piloto urbanas, donde la recolección selectiva de biorresiduos puede iniciarse con logística y control de calidad específicos. Y es importante resaltar que, la estimación de costos de los escenarios de recolección selectiva muestra una variación que no es significativa con relación al costo actual cobrado en el marco de la Resolución 720 de 2015 por COOSERVICIOS SA ESP. Por lo tanto, en términos regulatorios es factible de implementar el escenario 1 para la recolección y transporte, sin que sea necesario, dependiendo de los análisis detallados que realice COSERVICIOS SA ESP, adelantar una actuación particular ante la CRA para esta actividad.



La misma configuración del sistema TM–TB permite su ampliación gradual hacia el Escenario 2, en el que la recogida selectiva se extiende de forma progresiva a barrios y centros poblados adicionales, consolidando un modelo de gestión diferenciada. Esta evolución posibilita el incremento de la fracción orgánica captada y, en consecuencia, una mayor producción y aprovechamiento de compost, fortaleciendo los mercados locales y garantizando la validez de la Alternativa A para ambos escenarios, tanto como solución inicial como base de expansión en la transición hacia la economía circular.

De forma complementaria, la Alternativa A posee una capacidad de adaptación tecnológica que permite incorporar en el futuro nuevas líneas de valorización, de acuerdo con la evolución de los mercados y la disponibilidad y calidad de los residuos tratados.

Una vez la planta TM–TB se encuentre en operación y se disponga de información real sobre rendimiento, composición y caudales, se podrán evaluar medidas y ampliaciones técnicas como:

- La desgasificación controlada del relleno sanitario y la recuperación energética del biogás, ya sea para autoconsumo eléctrico de la planta o para su venta en el mercado energético nacional.
- La implantación de una línea de digestión anaerobia (DA) para el tratamiento de biorresiduos recogidos selectivamente, que permita obtener biogás y biofertilizantes.
- La producción de Combustible Sólido Recuperado (CSR) a partir de fracciones no reciclables del TM, condicionado a estudios de mercado y a la viabilidad técnica y energética del producto.

Estas actuaciones podrían incorporarse de forma progresiva, de acuerdo con los resultados operativos del sistema y los análisis de factibilidad técnica y económica. Su adopción contribuiría a reforzar el desempeño climático global del sistema y a mejorar su sostenibilidad ambiental a medio plazo.

15.2. Resultados principales y recomendaciones

El análisis comparado técnico, económico-financiero (bajo el canon por tonelada como indicador), ambiental y normativo, concluye que:

- La Alternativa A (TM+TB + RS) ofrece el mejor equilibrio global entre viabilidad técnica, costes razonables y desempeño ambiental para Sogamoso.
- Las tecnologías térmicas (incineración y gasificación) se descartan por su alto CAPEX/OPEX y su bajo encaje territorial.
- Las opciones de CSR y digestión anaerobia (DA) son viables técnicamente, pero su aplicación óptima requiere masa crítica y mercados de salida maduros; se recomiendan como extensiones futuras una vez se consolide la recogida selectiva y los canales comerciales.
- La Alternativa A permite una implementación modular y escalonada, coherente con las exigencias del Programa Basura Cero (Decreto 670/2025) y sus lineamientos de separación en la fuente y manejo diferencial de residuos.



- Para implementar la alternativa A y para asegurar el cierre financiero y la sostenibilidad de la actividad de tratamiento en prestación del SPA y previo análisis de COSERVICIOS, es posible que se requiera solicitar a la Comisión de Regulación – CRA, una modificación particular para esta actividad, lo anterior en el marco de las actuaciones particulares que solicitan los prestadores ante esta Comisión.

Recomendaciones operativas:

1. Iniciar con la recogida selectiva de orgánicos en grandes generadores y zonas piloto.
2. Ampliar progresivamente la cobertura según resultados de eficiencia y calidad.
3. Asegurar la trazabilidad del compost y de los materiales recuperados, vinculando su producción a demandas agrícolas locales.
4. Evaluar la viabilidad de incorporar procesos de valorización energética en fases posteriores.

15.3. Justificación del proyecto

La selección de la Alternativa A se fundamenta en su adecuación al contexto operativo, económico y normativo del municipio de Sogamoso, su capacidad de adaptación a los escenarios de recogida selectiva de residuos orgánicos y su flexibilidad para incorporar, en el futuro, nuevas tecnologías de valorización conforme a las condiciones técnicas y de mercado que se consoliden.

Desde el punto de vista ambiental, la alternativa presenta un desempeño favorable, al disminuir la disposición final de residuos y promover el aprovechamiento de materiales reciclables y de la fracción orgánica mediante compostaje, contribuyendo así a reducir la presión sobre el relleno sanitario y a mejorar la gestión de residuos en el territorio.

Adicionalmente, se recomienda valorar en fases posteriores la posible incorporación de nuevas líneas de tratamiento y valorización, tales como la digestión anaerobia (DA) y la producción de Combustible Sólido Recuperado (CSR), siempre que los estudios de mercado, la disponibilidad y la calidad de los residuos lo justifiquen. En este mismo sentido, se aconseja evaluar la implementación de sistemas de desgasificación y aprovechamiento **energético del** biogás en el relleno sanitario, con el fin de reducir emisiones de gases de efecto invernadero y mejorar el balance energético del sistema.

Estas medidas, si resultan viables, contribuirían a reforzar el desempeño climático global y a potenciar la sostenibilidad económica y ambiental del conjunto del sistema de gestión.

La Alternativa A mantiene un marco económico-financiero estable, con un canon competitivo y un modelo de operación que permite una implantación progresiva y modular. Su diseño es compatible con las disposiciones del Decreto 670 de 2025 (Programa Basura Cero) y con los principios de la economía circular, garantizando su pertinencia y durabilidad en el tiempo.

En conjunto, la Alternativa A se configura como una solución base sólida y flexible, capaz de evolucionar de acuerdo con la normativa, los avances tecnológicos y la madurez operativa del sistema de gestión de residuos del municipio de Sogamoso.

15.4. Hoja de ruta para siguiente fase (factibilidad, estructuración)

La fase de factibilidad deberá convertir los resultados de la prefactibilidad en un proyecto técnico y financieramente viable, orientado a garantizar su ejecución y puesta en marcha en el corto y mediano plazo. El desarrollo de esta etapa debe centrarse en los siguientes frentes estratégicos:

1. **Recurso y operación:** realizar campañas de caracterización y estacionalidad de los residuos para afinar los balances de masa y energía; ejecutar pruebas piloto del sistema TM–TB a escala reducida; y elaborar un plan maestro de ampliación modular, que permita la entrada gradual de nuevos municipios y del área rural, definiendo cupos anuales, rutas y esquemas de transferencia.
2. **Mercado y contratos:** establecer acuerdos marco para la venta del compost en los segmentos agrícola y de restauración de suelos, definir protocolos de calidad y trazabilidad del producto y analizar condiciones de mercado que permitan, en fases futuras, valorar la incorporación de líneas complementarias como la digestión anaerobia (DA) o la producción de CSR, siempre que existan condiciones de viabilidad técnica y comercial.
3. **Estructura económico-financiera:** actualizar las estimaciones de CAPEX y OPEX con base en ofertas locales, modelar el canon de tratamiento por fases de expansión y realizar análisis de sensibilidad que consideren variaciones en precios de materiales, costos logísticos y tarifas de servicios. Se deberá, además, identificar fuentes de financiación pública y privada, así como posibles incentivos o líneas de apoyo gubernamental para proyectos de economía circular.
4. **Gobernanza y acuerdos intermunicipales:** diseñar un instrumento jurídico de adhesión progresiva para los municipios participantes, que establezca calendario, cupos, tarifas, compromisos y cláusulas de desempeño; y definir un esquema de gobernanza del activo que asegure la sostenibilidad operativa y la distribución equilibrada de riesgos y beneficios.
5. **Permisos, aspectos sociales y ambientales:** elaborar una línea base social y un plan de relacionamiento comunitario; tramitar los instrumentos ambientales y sanitarios requeridos para la fase de ejecución; y definir un cronograma integral de licencias, habilitaciones y permisos, garantizando el cumplimiento normativo y la coordinación con las autoridades competentes.

Hitos recomendados:

- Elaboración de la ingeniería de detalle y de los pliegos de contratación.
- Cierre financiero y definición del plan de ejecución.
- Formalización de acuerdos comerciales para la venta del compost y materiales reciclables.
- Plan de adhesión de municipios y áreas rurales, con metas anuales y criterios de prioridad basados en generación de residuos y capacidad logística.



Con esta secuencia, la solución TM–TB con disposición final en relleno sanitario puede avanzar hacia su fase de ejecución garantizando continuidad del servicio, estabilidad operativa y sostenibilidad económica del sistema.

Finalmente, se recomienda al Municipio de Sogamoso y a COSERVICIOS S.A. E.S.P. continuar las gestiones necesarias para levantar las medidas interpuestas por Corpoboyacá que mantienen cerrado el relleno sanitario, condición indispensable para la reactivación ordenada del sistema y la implementación de la planta de tratamiento proyectada.



16. REFERENCIAS

- Fedepapa. (2024). Boletín Regional: Boyacá. Federación Colombiana de Productores de Papa. <https://fedepapa.com/home/wp-content/uploads/2024/10/Regional-Boyaca.pdf>
- ICA - Instituto Colombiano Agropecuario. (s.f.). Forma ICA 3-894: Solicitud de registro como fabricante, formulador o envasador/empacador de fertilizantes y acondicionadores de suelos. <https://www.ica.gov.co/formas/agricola/inocuidad-e-insumos-agricolas/forma-ica-3-894.aspx>
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MinAgricultura). (2024). Reportes sectoriales y noticias sobre cebolla en Boyacá.
- <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/CienFamiliasProductorasCebollaAbrego.aspx>
- DANE. (2023). Boletines SIPSA: verduras y hortalizas. Departamento Administrativo Nacional de Estadística.
- https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/bol_feb_02_2023.pdf
- FAO. (2013). Farmer's Compost Handbook. Food and Agriculture Organization.
- <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/0658b4e0-53e3-4ed7-89d0-ff351bec1dff/content>
- CDFA. (2019). Compost Application Rate White Paper. California Department of Food and Agriculture.
- https://www.cdca.ca.gov/oefi/healthsoils/docs/CompostApplicationRate_WhitePaper.pdf
- TierraGro. (2024). Urea granulada 50 kg (listado de producto).
- <https://www.tierragro.com/products/urea-granulada-50-kl-nutrimon-fertilizantes-agro>
- Agropaia. (2024). Master 20-20-20 (25 kg) - ficha de producto.
- <https://agropaia.com.co/producto/master-20-20-20-25-kg/>
- MercadoLibre Colombia. (2024). Listado de urea 50 kg.
- <https://listado.mercadolibre.com.co/fertilizante-urea-bulto-50-kg>
- Managro Group. (s.f.). Inicio - Managro.
- <https://managrogroup.com/es/inicio/>
- Croper. (s.f.). Marketplace Croper (listings de compost e insumos).
- <https://croper.com/>
- UPRA. (2023). Información regional Boyacá. Unidad de Planificación Rural Agropecuaria.
- https://upra.gov.co/Kit_Territorial/2%20Informaci%C3%B3n%20por%20Departamentos/BOYAC%C3%81/2-%20Documento%20Regional%20UPRA%20Boyac%C3%A1.pdf

17. ANEXOS



17.1. Anexo 1 Base de datos 2025



MATRICULA	COD	RAZÓN SOCIAL	DIR-COMERCIAL	CIU-1	DESCRIPCIÓN CIU-1
15051	C	Cafetería Y Restaurante Nuevo China	AV SAN MARTIN 20 17	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
25361	C	Cafetería Royal	KR 17 ENTRE CLL 11 Y 11A LC 109 .	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
27862	C	Bar La Cafetería	CL 9 11 56	I5630	Expendio de bebidas alcohólicas para el consumo dentro del establecimiento
31221	C	Cafetería Donde Isabel	CR 9 A 14 28	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
32796	C	Cafetería Manantial De La Once	CALLE 11 9 60	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
34730	C	Cigarrería Y Cafetería Donde Javier	KR 11 28 27	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
37877	C	Cafetería Y Comidas Rápidas Quinito	CL 7 4 174 BR SUGAMUXI	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
38793	C	Cafetería Paula Camila	KR 14 2B 56 SUR	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
40132	C	Cafetería Suamox	CR 17 11 91 LC 102	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
42306	C	Restaurante Y Cafetería La Sierra	CRA 12 11 65 CC JUVAR LC 8	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
46540	C	Tienda Y Cafetería Esperanza	CL 11 A 15 06	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
48208	C	Tienda Y Cafetería De Liz	CL 9 24 127	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
54285	C	Cafetería La Salida Pa Mi Pueblo	CL 7 9 14 LC 1	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
64722	C	Cafetería Gardenia	KR 13A 9A 16	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
67093	C	Restaurante Y Cafetería Leons	CL 11B 17 63	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
67827	C	Cafetería Bar El Balcon	KR 11 10 64 LC 209	I5630	Expendio de bebidas alcohólicas para el consumo dentro del establecimiento
69980	C	Cafetería Restaurante Doña Chela De La 11 Once	CR 28 9 19 LOCAL 1	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
41339	PC	Andres Carne De Res El Normando	CL 37 10 B 1-07 BRR LA PRADERA	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
71191	C	Cafetería El Triunfo	CL 10 14 107 BRR SANTA INES	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
72561	C	Isam Cafetería	CARRERA 11 N 54 A 40	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
73919	C	Cafetería Bar La Estacion 211	KR 17 14 A 13	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
74101	C	Cafetería Como Dice El Dicho	CL 12 9 93	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
74466	C	Cafetería Surtihogar	CARRERA 21 N 27 54	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco





75995	C	Cafetería Ricolandia	CR 12 10 63	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
77280	O	Buñuelos Santi - Salon De Onces - Cafetería	CL 15 13 59	I5619	Otros tipos de expendio de comidas preparadas n.c.p.
79184	C	Cafetería Rincon Nogal	CL 12 9 23	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
79456	C	Panadería Y Cafetería Mana De La 14	CR 14 5 36	C1081	Elaboracion de productos de panadería
80008	C	Cafetería Bar Donde Jeffer	TRANSV 27 DIAG 14 NO. 2 59	G4632	Comercio al por mayor de bebidas y tabaco
81724	C	Cafetería Y Panadería Dayana Mieles Del Sabor	CL 14 26 48	C1081	Elaboracion de productos de panadería
81938	C	Cafetería San Marcos Sogamoso	CL 11 14 43	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
82304	C	Cafetería Punto Express	CL 14 9 83	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
82647	C	Cafetería Hortensita	CL 7 6A 09	I5619	Otros tipos de expendio de comidas preparadas n.c.p.
82903	C	Cafetería Las Marias	CL 9 14 10	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
83113	C	Cafetería La Especialista	CL 14 9 75	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
83800	C	Cafetería Meditropoli I	CR 11 14 14	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
83849	C	Restaurante Y Cafetería El Amor Por La Comida	CR 11 19 79	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
84985	C	Cafetería G.J	CR 11 22 25	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
85290	C	Cafetería Genesis Hs	CALLE 53 C 11 D 85	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
85720	C	Cafetería Donde Doris	CR 11 54 110	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
85850	C	Cafetería Andy	CR 12 A 8 12	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
86891	C	Cafetería Michelina	CL 6 5 22	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
87671	C	Cafetería La Bendicion Marbel	CALLE 11 N 13 33	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
22996	PE	Pescadería Arco Iris	KR 26 11 A 04	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
87805	C	La Bendita Panadería Pastelería Cafetería Y Frutería	CR 12 14 58	C1081	Elaboracion de productos de panadería
87843	C	Cafetería Luzmy	CL 14 9 67	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
88377	C	Cafetería Chelita	CL 14 9 109	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
89419	C	Cafetería Comidas El Libertador	CL 2 6 02	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
89567	C	Panadería Y Cafetería La Doncella	CR 16 3 26 SUR	C1081	Elaboracion de productos de panadería
90012	C	Restaurante Y Cafetería Rico Max	CR 18 11 85	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90790	C	Cafetería De La 20	CR 20 11 BIS 35	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
91330	C	Dulce Tentacion Heladería Frutería Y Cafetería	CARRERA 12 N 56 A 10	I5619	Otros tipos de expendio de comidas preparadas n.c.p.





91830	C	Cafetería Panchis Rincon	CL 53 11 F 06	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
92702	C	Cafetería Mafe Y Jhon	CR 11 SUR VRD VANEGAS CENTRO	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
92753	C	Panaderia & Cafetería Del Sur	CR 11 # 29 SUR 73 FRENTE DEL BATAILLON	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
26192	PE	Acuatrucha Ltda	KR 5D 4-61	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
93030	C	Panaderia Y Cafetería Panes Y Ponques	CL 9 10 84	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
93082	C	Cafetería Barrios 07	CR 11 37 12	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
90829	PC	Asadero De Pollos Chispas Y Broster	CL 11 32 17	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
93546	C	Cafetería Dianita Sogamoso	CR 10 10 55	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
63362	PC	Asadero De Pollos Deyfriss	KR 12 56 06	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
94826	C	Sol Y Luna Cafetería Y Reposteria	CR 11 11 63 LC 2	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
95092	C	Cafetería El Sol Del Torero	CR 11 11 45 IN 2 LC 12	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
95709	C	Cafetería Cafe Trujillo	CR 12 D 43 30 CASA 27	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
96024	C	Cafetería Postres Y Merengones Venecia	CR 11 21 SUR	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
29503	PE	Pescaderia Dimar De Sogamoso	KR 13 14 29	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
96993	C	Cafetería Estebitis	CL 4 N 11 08	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
97125	C	Cafetería Donde Edid	CL 4 N 11 54	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
97232	C	Cafetería Maite	CL 15 14 01	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
97283	C	La Casita Del Amasijo Restaurante Cafetería	CR 13 15 84	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
97312	C	Cafetería La Bendita	CR 11 14 51 LC 120	I5619	Otros tipos de expendio de comidas preparadas n.c.p.
97347	C	Panaderia Y Cafetería Arte Pan	CR 12 N 46 32	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
97776	C	Panaderia Y Cafetería El Molino	CL 6 11 57	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
98250	C	Cafetería Y Pizzeria Dany	CL 13 14 49	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
32432	PE	Pescaderia Pez Mar	CL 11 18 16	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
98557	C	Cafetería Zona Ligth	CR 12 15 55	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
99174	C	Cafetería Pa Sumerce 2	CL 22 11 A 40 BRR EL LAGUITO	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
99425	C	Cafetería Magdalena La Provisión	CALLE 5 A N 25 A 35	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
99503	C	Cafetería Bar Paipilla	CL 11 11 36	I5630	Expendio de bebidas alcohólicas para el consumo dentro del establecimiento
99611	C	Restaurante Y Cafetería Doña Monica	CARRERA 11 N 16 78 LC 3	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas





59957	F	La Canasta Campesina De Sogamoso	KR 11 8 104	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
60003	PC	Asadero De Pollos Surtidoradito	CALLE 35 N 10 C 93	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
60165	F	Frutos Del Campo Jr De La 11	CL 11 NRO 16 - 58	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
60286	F	Supermercado La Sierra Donde Flor	CRA 10A 39 50	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
63391	F	Frutimax Sogamoso	CARRERA 10 13 02	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
70161	F	La Canasta Campesina De La 11	KR 11 16 81	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
74053	F	La Canasta Campesina Express De Sogamoso	KR 11 10 41	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
74162	F	Frutos Del Campo La 14	CL 14 11 66	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
75679	F	Ecofruver	CR 11 38 80	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
97494	PC	Asadero De Pollos Y Restaurante Donde Zara	DG 59 N 11 B 35	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
97410	PC	Asadero Kroki Pollo El Mas Doradito	CARRERA 18 N 1 71 SUR	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
78492	F	Placita Los Alisos	KR 11 19 71	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
83536	F	Distribuidora De Criolla Y Zanahoria Wilfredo Gomez	KM 1 VIA SOGAMOSO -TIBASOSA LC 173	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
83590	F	Gomez Martinez Wilfredo	KM 1 VIA SOGAMOSO TIBASOSA	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
90764	F	Ecofruver R&R	CR 13 14 87	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
91127	F	Placita La 26	CR 26 5 A 02	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
87169	F	La 18 Papa Y Carbon	BODEGA 18 KM 1 VIA SOGAMOSO-TIBASOSA	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
100010	Fp	Mercafruver Samuel	CR 24 16 08	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
36308	Fp	Supermercado La Orquidea	KR 9 21 49	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados





37994	Fp	Tienda Donde Rosi	CARRERA 29 11A 37	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
59709	Fp	Merkafruver De La 26	CARRERA 26 11B-13	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
88757	PC	Avicampos	DIAGONAL 6 4 2 BRR FLORIDA	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
72336	Fp	Maxifruver Ciudad Verde	CL 54A 11E 27	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
75677	Fp	Tufruver	CR 11 40 20	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
77927	Fp	Fruver Mi Yireh	CR 24 2B 04	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
81489	Fp	Merkafruver La 25	KR 11 25 02 SUR	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
82401	Fp	Fruver La Montaña Gm	KR 14 5 30	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
82638	Fp	Maxi Fruver K-R	CALLE 3 SUR N 13 51	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
82764	Fp	Frutas Y Verduras De Mi Campo Sm	CR 18 N 3 67	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
96004	PC	Avicola Aves Del Corral	CL 4 6 A 45	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
82934	Fp	Surtifruver De La Calle 4 Con 14	CL 4 13 85	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
83847	Fp	Fruver Girasoles San Martin	CR 12 18 109	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
83981	Fp	Merkafruver Rc	CR 20 7 10	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
84466	Fp	Fruver El Paraiso	CR 4 4 54	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
84841	Fp	Frutas Y Verduras De Mi Campo M.S	CRA 18 3 67 ARRAYANES	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
86216	Fp	Natural Fruver Sogamoso	CR 14 4 52	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados



86685	Fp	El Surtidor Fruver Lc	CR 11 8 91	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
87203	Fp	Frutimax Del Oriente	CARRERA 13A 18 05	G4631	Comercio al por mayor de productos alimenticios
88370	Fp	Supermercado Frutas Y Verduras Donde Emanuel	CR 10C CL 35 30	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
88554	Fp	Del Campo Plaza Express	CR 20 7 B 06 BRR ROSALES	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
88727	Fp	Minimercado La Floresta Sogamoso	CLL 47 12B-BIS 09	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
88842	Fp	Comercializadora De Frutas Y Verduras Rosas	KR 28 8 62	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
88980	Fp	Supermarket Santi	CALLE 1 11 100	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
89138	Fp	Del Campo Plaza El Laguito	CR 11 22 41	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
89493	Fp	Frutos Y Verduras Mary M & B	CALLE 31 9 12	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
89664	Fp	Deposito De Papa La Bodega	CR 20 12 52	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
92107	Fp	Mini Fruver El Tianguilo	TV 27 2 A 23	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
92591	Fp	Fruver La Negra Francisca	CARRERA 18 1 53 SUR	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
93578	Fp	Frutos Del Campo De La 12	CR 12 12 64	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
94682	Fp	Merca Fruver M&C	CRA 22 2 71	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
95554	Fp	Merka -Fruver La 26	CR 26 11 A 02	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
96496	Fp	Fruver La Montaña M.M.	CR 11 4 53	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
97885	Fp	Frutas Y Verduras De Mi Campo L.P.	CR 18 N 3 67 LOCAL 1	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
99125	Fp	Natural Fruver La Ramada	CARRERA 10 A N 39 42	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
20314	H	Hotel Sol Internacional	CRA 13 13 66	I5511	Alojamiento en hoteles
23057	H	Hotel Sogamoso Real	KR 10 13 11	I5511	Alojamiento en hoteles





23381	H	Hotel Valparaiso	KR 18 11A 10	I5511	Alojamiento en hoteles
23982	H	Hotel Florida	CL 11 13 26	I5511	Alojamiento en hoteles
34593	H	Hotel Yanuba De La Once	CL 11 11-54	I5511	Alojamiento en hoteles
39909	H	Hotel Los Angeles De La 11	CL 11 17 21	I5511	Alojamiento en hoteles
58691	PC	Avicola Barbosa Sogamoso	CALLE 14 NRO. 20-97	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
44106	H	Hotel Royal Confort	K 11 9 48	I5511	Alojamiento en hoteles
44558	H	Gran Hotel Sogamoso	KR 18 11-15	I5511	Alojamiento en hoteles
47156	H	Hotel Tobaca Ltda.	CALLE 13 10-68	I5511	Alojamiento en hoteles
48251	PE	Pesquera Mar & Lago	CR 12 19 77	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
50023	H	Hotel Sol Internacional Dos	CALLE 13 13 16	I5511	Alojamiento en hoteles
51653	H	Hotel Cacique Plaza	CL 14 18 76	I5511	Alojamiento en hoteles
66730	H	Hotel H53	KR 13 13 53	I5511	Alojamiento en hoteles
74462	H	Hotel Gales Sogamoso	DIAGONAL 59 N 69 82	I5511	Alojamiento en hoteles
83712	H	Hotel Cacique Plaza li	CL 8 20A 41	I5511	Alojamiento en hoteles
85184	H	Hotel Orion	CALLE 13 N 13 12	I5511	Alojamiento en hoteles
88014	H	Hotel Prestigio Jc	CR 13 12 76	I5511	Alojamiento en hoteles
93589	H	Hotel Plaza 6 De Septiembre	CL 15 11 51 CENTRO	I5511	Alojamiento en hoteles
94225	H	Hotel Litavira Vintage S.A.S	CL 12 10 30	I5511	Alojamiento en hoteles
94368	H	Hotel Litavira Vintage Sas	CL 12 10 30	I5511	Alojamiento en hoteles
95828	H	Hotel Yelian	CR 28 9 11	I5511	Alojamiento en hoteles
10799	Hd	Heladeria Manuela	CRA 26 4-30	I5619	Otros tipos de expendio de comidas preparadas n.c.p.
16923	Hd	Helados Frutillar	KR 11 19A 30	C1020	Procesamiento y conservacion de frutas legumbres hortalizas y tuberculos
58110	Hd	Heladeria Y Fruteria Sweet Creem Bananas	KR 10 8 A 17	I5619	Otros tipos de expendio de comidas preparadas n.c.p.
67468	Hd	Casablanca Gourmet Pizzeria-Heladeria	CARRERA 9 29 28	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
68242	Hd	Heladeria Valentina Y Algo Mas	KR 24 5 B 26	I5619	Otros tipos de expendio de comidas preparadas n.c.p.
78729	Hd	Anelare Heladeria Y Cafe	CALLE 12 N 10 58	I5619	Otros tipos de expendio de comidas preparadas n.c.p.
93109	Hd	Sunber Heladeria	CL 21 11 59	I5619	Otros tipos de expendio de comidas preparadas n.c.p.
93564	Hd	Heladeria Diana Te Encantara	CL 14 26 40	I5619	Otros tipos de expendio de comidas preparadas n.c.p.
96470	Hd	Sanval Heladeria Y Fruteria	CL 38 B 10 A 05	I5619	Otros tipos de expendio de comidas preparadas n.c.p.
98395	Hd	Heladeria Kin Kin	CL 11 21A 24 BRR URIBE URIBE	I5619	Otros tipos de expendio de comidas preparadas n.c.p.
100037	O	Salon De Onces Los Mellizos	CL 11 16 71	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías





26064	O	Salon De Onces Granada	CALLE 11 10 03 Y 10 09	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
46181	O	Salon De Onces El Regalito	CALLE 13 10-46	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
50937	O	Panaderia Y Salon De Onces Gran Dinamarca	CALLE 13 11 98	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
57922	O	Salon De Onces Eli	CARRERA 12 17-28	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
60622	O	Cascarilla Leito	KR 15 11 53	G4721	Comercio al por menor de productos agricolas para el consumo en establecimientos especializados
62842	O	Bananas Del Quindio	KR 21 11 B 43	G4721	Comercio al por menor de productos agricolas para el consumo en establecimientos especializados
65149	O	Deposito Papa Buena	CL 14 19 20	G4721	Comercio al por menor de productos agricolas para el consumo en establecimientos especializados
69359	O	Industria De Alimentos Congexpress	CL 10 28 120	C1020	Procesamiento y conservacion de frutas legumbres hortalizas y tuberculos
69857	O	Cafe Y Onces Blanquita	CL 12 11 60 INT 106	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
72239	O	Oncesitas De Paso	CL 14 9 A 54	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
72869	O	El Saguan De Las Onces	CRA 11 14 40	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
73005	O	Sumerke	CL 13 11 31 OF 307	C1020	Procesamiento y conservacion de frutas legumbres hortalizas y tuberculos
73029	O	Salon De Onces Donde Gaby	CL 7 5 15	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
76980	O	Vida Pulpas	CL 8 NRO. 19 - 29	C1020	Procesamiento y conservacion de frutas legumbres hortalizas y tuberculos
77412	O	Putfrutas Natural	KR 11 7 34	C1020	Procesamiento y conservacion de frutas legumbres hortalizas y tuberculos
77931	O	Mi Cafe Salon De Onces	CR 12 55 20	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
81726	O	Salon De Onces El Manantial	KR 12 A 8 06	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
82201	O	Punto Verde Procesadora De Alimentos	CALL 7B 10 28	G4721	Comercio al por menor de productos agricolas para el consumo en establecimientos especializados
83654	O	Cattleya Foods Company S.A.S	CR 16 2D 39	C1020	Procesamiento y conservacion de frutas legumbres hortalizas y tuberculos





91200	O	Salon De Onces La 19 D`Tatiana	CR 19 11 A BIS 25	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
91912	O	Del Huerto Boyacense	CR 14 7 B 51 LC 101	C1020	Procesamiento y conservacion de frutas legumbres hortalizas y tuberculos
61011	PC	Avicola El Sol Del Oriente	CARRERA 14 1B 57 SUR	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
92664	O	Salon De Onces Cami	CL 35 10 B 51	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
83001	PC	Avicola Fresh Pollo	CL 7 B 15 30	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
93151	O	Salon De Onces Emmanuel	CL 1 A 15 07	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
93786	O	Salon De Onces La Virginia	CR 14 8 74	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
94259	O	Mocca Cafe Salon De Onces	CR 11 21 90	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
98177	O	Salon De Onces Donde Juanjo	VEREDA MORCA	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
98730	O	Productos Alimenticios Diva S.A.S. Planta De Proceso	CARRERA 20 N 14 104 BODEGA 1	C1020	Procesamiento y conservacion de frutas legumbres hortalizas y tuberculos
78797	PC	Avicola La Casa Verde	CR 17 11B 15	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
84717	PC	Avicola Y Salsamentaria Aves Del Corral Suamox	CL 19 11 18	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
84531	PC	Bcc Boutique Central De Carnes S.A.S	CR 11 20 53	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
84566	PC	Bcc Boutique Central De Carnes S.A.S	CRA 11 20 53	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
92182	PC	Beef Master Carnes Premium	CL 15 12 43	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados





72395	PC	Beef Master Carnes Premium No 2	KR 10 13 02	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
91966	PC	Biff - Tienda De Carnes	CL 13 9 117	G4631	Comercio al por mayor de productos alimenticios
99591	PC	Biff Express La 26	CARRERA 26 N 5 A 02	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
86711	PC	Big Pollo De La 24	CR 24 2 A 26 BRR VILLA DEL SOL	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
84975	PC	Bobs Chiken Pollos Y Carnes	CL 38 10 A 61	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
39137	PC	Brahama Jk	PLAZA DE MERCADO MODULO 14	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
97780	PC	Butcher And Shop	CR 11 CALL 24 08	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
63574	PC	Calidad De Visceras	CL 12 CR. 18 L. 12	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
51118	PC	Calidad En Carnes	PLAZA DE MERCADO LOCAL 11	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
98621	PC	Carnes & Carnes Los Reyes	CARRERA 10 N 4 06 BARRIO OLAYA HERRERA	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
61309	PC	Carnes A La Carta	CALLE 14 CARRERA 18 LOCAL 15	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
44855	PC	Carnes Cerdiland	SOGABASTOS LOCAL 6	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
94012	PC	Carnes De Cerdo M Y L	CL 14 CON CR 18 LC 17	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
76826	PC	Carnes De Heidy	CL 7 NRO. 6 45 BRR SUGAMUXI	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados





90241	PC	Carnes Don Juan Sogamoso	CR 4 1 04 SUR	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
99037	PC	Carnes El Ranchito	CR 23 2A 09 BRR VILLA DEL SOL	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
60791	PC	Carnes El Saman	KR 11 20 26	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
50601	PC	Carnes Finas De La Peña	CALLE 22 17 53	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
84597	PC	Carnes Finas El Bosque	CR 14 2 35 BRR EL BOSQUE	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
99473	PC	Carnes Finas El Diamante Morca	VRD MORCA CENTRO	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
79056	PC	Carnes Finas El Trebol Jm	CL 9 9 13	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
70407	PC	Carnes Finas El Trébol Rojo	KR 20 11B 32	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
82871	PC	Carnes Finas La 17	CL 17 11 10	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
71378	PC	Carnes Finas La Gran Subasta	KR 26 11 B 27	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
89059	PC	Carnes Finas La Zj	CR 11 B 58 A 10	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
79355	PC	Carnes Finas Tomas	CR 18 12 58 LC 20	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados



72605	PC	Carnes Finas Zaidur-Yireth	CL 5 2 16	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
96718	PC	Carnes Frias Zocalos	CR 26 N 8 29	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
78694	PC	Carnes Grille	CR 20 A 5 88	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
72971	PC	Carnes Grille S.A.S.	CR 20 A 5 88	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
84029	PC	Carnes Jj Campesina	CR 11 10 46	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
98912	PC	Carnes Jj Centro	CR 13 15 31	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
95470	PC	Carnes Jj Chapinero	CR 10 B 1 38 A 43	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
98914	PC	Carnes Jj Iwoka	DG 59 11C 167	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
84028	PC	Carnes Jj Puente De Pesca	CR 11 CL 9B ESQUINA	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
76312	PC	Carnes Jj Valdez	CR 24 8 50	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
36752	PC	Carnes La Veintiseis	KR 11 10 23 SUR	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
71164	PC	Carnes Los Corrales Mercy	CARRERA 11 N 16 74	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
56053	PC	Carnes Miguelito	CL 7A 25 33	I5621	Catering para eventos



94015	PC	Carnes N°1 La Ternerita	CARRERA 8 2A 17	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
47030	PC	Carnes San Miguel Local No.1	KR 18 CON CL 14	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
48378	PC	Carnes Santiago L.	PLAZA DE MERCADO LOCAL 16	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
59398	PC	Carnes Sofia	CARRERA 10 A 31-74	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
20684	PC	Carnes Y Carnes Monroy Hermanos	KR 11 16 20	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
77951	PC	Carnes Y Carnicos A & M	CR 11 22 111 LC 1	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
68729	PC	Carnes Y Supermercado El Normando	KR 21 24 21	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
99846	PC	Carniceria F&A	CARRERA 10 A BIS 38 79 LC 2 CHAPINERO ALTO	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
97476	PC	Carniceria Gadiel	CALLE 46 N 10E 08 BRIO JUAN JOSE RONDON	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
61102	PC	Carnicos El Torito Jr	CL 14 CRA 18 L- PABELLON CARNES	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
97506	PC	Carnicos Js	CL 5 2 A 31	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
97405	PC	Carnicos Llanogrande	CR 10 A N 31 A 04	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados



85465	PC	Carnicos Sanala	CARRERA 11 N 24 10 SUR	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
91544	PC	Carnicos Senepol Santa Maria	CR 11 1 SUR 40	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
73924	PC	Comercializadora De Alimentos Carnicos Faenza De La Prato	CALLE 15 N 13 17	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
55813	PC	Comercializadora Corral Plaza	KR 17 12 24	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
97798	PC	Cooperativa De Carnes El Triunfo	CR 23 2A 08	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
97370	PC	Corcarnes Guaicany S.A.S	CL 5 N 20 42 LOCAL 2	C1011	Procesamiento y conservacion de carne y productos cárnicos
35924	PC	Dangus Alimentos Carnicos	CL 7 6A 30 P 1	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
100018	PC	Dap Hamburguesas Y Carnes	TRANSVERSAL 7 N° 6-30 PISO 2	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
97579	PC	Deli Meat Fresh	CR 12 D N 47 113	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
93694	PC	Delicarnes El Paisa	CL 5 13 22	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
99033	PC	Delicarnes San Gabriel	CR 26 7B 32 P 1	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
100205	PC	Di ' Carnes	CARRERA 14 N 1 B 23 SUR	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
11587	PC	Distraves Sogamoso I	KR 18 11B 13 PLAZA DE MERCADO	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados



51695	PC	Distri Carnes Valdes	CL 11 26 77	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
72813	PC	Distribuidora Don Pollo Ac	CRA 11 39 08	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
69821	PC	Distribuidora Avicola El Chicken	KR 14 6 A 17	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
48151	PC	Distribuidora Avicola El Huevo Dorado	CL 9 11 27	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
85549	PC	Distribuidora Avicola Y Salsamentaria Sogamoso S.A.S	CR 18 11 B 22	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
67355	PC	Distribuidora Biff	CARRERA 11 N 19 25	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
94532	PC	Distribuidora Carnes Finas Peña	CR 24 8 07	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
48076	PC	Distribuidora De Carnes De La Peña	PLAZA DE MERCADO LC 19	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
51146	PC	Distribuidora De Carnes El Puerto	CK 18 1 17 SUR	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
49723	PC	Distribuidora De Carnes Exito	CL 3 SUR 13 32 URBANIZACION VILLA MARGARITA	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
83135	PC	Distribuidora De Carnes La Predilecta	CR 10 B 1 36 05	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
90016	PC	Distribuidora De Carnes Omega	CL 4 SUR 12BIS 04	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados



90425	PC	Distribuidora De Carnes Premium Punto C De Primera Calidad	CR 18 12 14	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
87392	PC	Distribuidora De Pollo El Portillo R.G	VDA MORCA SEC EL PORTILLO	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
90356	PC	Distribuidora De Pollo San Fernando	CR 18 2 67	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
40377	PC	Distribuidora De Pollos Sugamuxi	CL 7 6 A 18	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
90246	PC	Distribuidora Pollos Y Otros La 26	CR 26 5 B 28	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
98726	PC	Distribuidora Por Su Pollo	CR 18 12 66	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
57254	PC	Districarnes Andres	CL 3 24 15 P 1	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
63630	PC	Districarnes Don Pollo I	KR 18 11 B 27	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
99055	PC	Districarnes La Bendición F&A	CARRERA 22 N 1 08	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
98945	PC	Districarnes La Cascada	CARRERA 14 4 90	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
94711	PC	Districarnes S La Dorada W	CR 26 3 61	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
64967	PC	Distriduidora De Carne La Japonesa	CARRERA 18 N 8 66	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados



72033	PC	Distrilacteos La Riviera	CL 10 12 43	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
58927	PC	Distripresas El Cortes	KRA 4 1 04	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
70535	PC	Donde Cris Avicola Y Derivados	KR 24 8 60	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
91790	PC	El Gran Pollo De La 7	CL 7 18 09	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
82350	PC	El Lomo	CL 54 11B 60	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
87304	PC	El Palacio De Las Carnes M.F.	CARRERA 4 4 58 BRR EL CORTES	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
64929	PC	El Portal Del Cerdo	CR 19 8 132 SUR	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
92625	PC	El Rey Del Pollo Sogamoso	CL 11 14 48 LC 2 BRR 20 DE JULIO	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
97718	PC	Expedio De Carnes Juanse	CR 10A 8A 87	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
92114	PC	Expendidos De Carnes El Monin	CL 43 10 A 80	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
67211	PC	Expendio De Carne Astro	CARRERA 12 N 57 28	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
89522	PC	Expendio De Carne El Cimarron Crucero	SECTOR EL CRUCERO	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
87216	PC	Expendio De Carne La Orquidea	CL 5 3 23	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
63886	PC	Expendio De Carnes Acuña	CL 11 A 23 06	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados



81797	PC	Expendio De Carnes Archis	CR 18 01 88	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
43167	PC	Expendio De Carnes Don Rafa	CL 14 18 109 PUESTO 15 PABELLON DE CARNES SOGABASTOS	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
66954	PC	Expendio De Carnes El Angus	CR 4 3 49	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
17459	PC	Expendio De Carnes El Barzal	CARRERA 11 N 40 18	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
24122	PC	Expendio De Carnes El Cataluña	KR 10 2 08	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
35022	PC	Expendio De Carnes El Costeño	KR 9 A 9 07	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
42910	PC	Expendio De Carnes El Dorado Del Sol	KR 14 8 83	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
96029	PC	Expendio De Carnes El Establo Jj	CR 11 37 24	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
75398	PC	Expendio De Carnes Emmanuel	CL 47 12 25	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
100095	PC	Expendio De Carnes Finas Alpha 2025	CARRERA 10 A N° 41-17	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
76226	PC	Expendio De Carnes Finas Brahman Sageth	TV 4 6 24	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
53798	PC	Expendio De Carnes Finas Pesca	KR 5 5 27	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados



45732	PC	Expendio De Carnes Gerford	CALLE 9 10 26	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
11264	PC	Expendio De Carnes La 18	CR 18 9 33	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
35544	PC	Expendio De Carnes La 24	KR 23 2A 59	C1011	Procesamiento y conservacion de carne y productos cárnicos
87571	PC	Expendio De Carnes La 3 R. R.R	KRA 29 13 33	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
41550	PC	Expendio De Carnes La 5c	CALLE 5C 26 26	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
72302	PC	Expendio De Carnes La Esperanza Firavitoba	KM 7 VIA SOGAMOSO IZA VDA VANEGAS	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
58228	PC	Expendio De Carnes La Norteña	CALLE 54 11E -42	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
92971	PC	Expendio De Carnes Los Delfines	CL 8 CR 2	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
20611	PC	Expendio De Carnes Los Esteros	CL 9 10 72	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
100008	PC	Expendio De Carnes Mi Ángel	CALLE 9 N° 10-44	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
62187	PC	Expendio De Carnes Nathaly	KR 14 18 10	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
91054	PC	Expendio De Carnes Roa	CR 25 A 3 04	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
99208	PC	Expendio De Carnes S Y S	CARRERA 18 N 5 90	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados



94871	PC	Expendio De Carnes San Antonio M & B	CL 9 10 46	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
76178	PC	Expendio De Carnes San Pedro	CR 26 5 C 42	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
45650	PC	Expendio De Carnes Seul	CL 14 18-109 MODULO 7	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
75314	PC	Expendio De Carnes Vargas	CL 35 10 C 36	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
37382	PC	Expendio De Carnes William Puesto 50 Sogabastos	CL 14 18-109 SOGABASTOS	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
82391	PC	Expendio De Carnes Yaret	CRA 10A 39-68 BARRIO CHAPINERO ALTO	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
94709	PC	Expendio De Pollo J.M	CL 19 11 A 63	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
35092	PC	Expendios De Carnes El Oriente	KR 4 4 68	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
27827	PC	Fama El Morrillo	CALLE 9 10 26	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
28051	PC	Fama El Tranquero	CALLE 9 N 10 48 LC 2	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
56048	PC	Fama La 56	KR 12 56 12	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
92375	PC	Frio Carnes Guaicani	CL 4 6 A 7	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados



76627	PC	Gallinalandia	PLAZA DE MERCADO L.9	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
75617	PC	Gallinas.Lulu	CR 15 3 A 12	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
36165	PC	Jorgor	CL 15 8 21	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
75091	PC	Juli Carnes Jr	CL 11 16 68	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
59569	PC	Krispy Pollos & Pollos	CL 11 25 56	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
84954	PC	La Mansión De Las Carnes Finas	CARRERA 26 N 5 B 23	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
94892	PC	La Ternera J&C Limitada	CR 14 15 A 41	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
98900	PC	M.E Distribuidora De Carnes La Dorada R.C	CARRERA 26 N 3 61 BARRIO MAGDALENA	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
51383	PC	Maxpollo De La 11	CL 11 18-75	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
34462	PC	Mi Cali Terminal	CR 17 NRO. 11 - 78	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
71466	PC	Moyanos Carnes	CL 7 6 09	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
95806	PC	Nova Carnes Frias Sociedad Por Acciones Simplificada	CR 4 5 53	C1012	Procesamiento y conservacion de pescados crustaceos y moluscos
71687	PC	Parrilla Broaster Los Expertos En Carnes	CC IWOKA LC 200	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
88018	PC	Pdv 6 Septiembre	CL 15 13 04 ESQ	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
88019	PC	Pdv Terminal Plaza De Mercado	CR 18 11B 30	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados





56610	PC	Pic Pollo	KR 26 5B 11	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
96629	PC	Pollo Adorado	CR 9 A - N 14 46 CENTRO	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
69503	PC	Pollo Fiesta S A	KR 11 16 70	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
77692	PC	Pollo Rico La 14 G & S	CR 14 1 B 101 SUR	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
81765	PC	Pollo Rico Pero Frito	CL 11 B 18 39	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
94116	PC	Pollo Rico Vic	CR 11 9 15	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
84237	PC	Pollo Rico Wal	CALLE 32 NRO. 3-76 LOCAL 211	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
98355	PC	Pollo San Jorge	VEREDA SAN JOSE EL PORVENIR	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
97635	PC	Pollos & Sabor	CR 12 12 65	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
16007	PC	Pollos Eldorado	CL 15 13 26	A0145	Cria de aves de corral
75265	PE	Dimarket Distribuidora De Pescados Y Mariscos	CR 17 4 25	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
16261	PLL	Almacen Mac Pollo No. 2	CR 11 NO 8 116	A0145	Cria de aves de corral
16262	PLL	Almacen Mac Pollo No. 5	CALLE 11B NO 18- 51	A0145	Cria de aves de corral
17818	PLL	Almacen Mac Pollo No. 4	CALLE 15 NO 13 05	A0145	Cria de aves de corral
16514	PC	Pollos Eldorado Sogamoso 2	KR 18 11B 01	A0145	Cria de aves de corral
20995	PLL	Almacen Mac Pollo No. 1	CARRERA 18 NO 11B 32	A0145	Cria de aves de corral
95905	PLL	Almacen Mac Pollo No. 9 - Canasta Centro	CR 12 10 31	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
95907	PLL	Almacen Mac Pollo No. 10 - Canasta Valdez	CR 24 8 31	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
95908	PLL	Almacen Mac Pollo No. 11 Canasta Iwoka	CR 11 21 90 CENTRO COMERCIAL IWOKA	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
13311	PN	Panaderia La Nueva	CL 11 B 18 14	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
19722	PN	Panaderia Propancol	CRA 12 16 79	C1081	Elaboracion de productos de panaderia



25709	PN	Panaderia Tatys	KR 9 15 93	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
27365	PN	Panaderia Y Pasteleria La Marsellesa	CL 11 11 90	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
2918	PN	Panaderia Ceilan	CL 11 22 36	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
32863	PN	Yenypau Panaderia	CL 2 A 22 A 20	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
39244	PN	Panaderia El Canasto	CARRERA 24 7A 72	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
44245	PN	Panaderia Y Bizcocheria Luna Pan	KR 26 6A 40	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
45273	PN	Panaderia Medipan	KR 31 11 A 19	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
4576	PN	Panaderia Trigalia	KR 14 2 51	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
4970	PN	Panaderia Y Pasteleria Imperial	KR 5 NO. 5A-13	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
51371	PN	Panaderia El Lago De La 11	CALLE 19 10 28	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
65061	PC	Pollos Eldorado Sogamoso 3	CL 10 13 02	A0145	Cria de aves de corral
52454	PN	Panaderia El Cocuyano	CARRERA 18 1 13	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
53170	PN	Panaderia Y Pasteleria Cromiel	CR 26 6 29	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
54610	PN	Panaderia Las Mil Y Una Delicia	KR 14 16 06	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
54709	PN	Panaderia Las Delicias De La Pradera	KR 11 38 96	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
54886	PN	Panaderia De Mesa	CALLE11 N 22 25	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
56345	PN	Panaderia Y Pasteleria Los Hornitos Del Lago	KR 11 19A 20	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
56353	PN	San Rafael Panaderia Y Pasteleria	KR 10 17 07	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
58121	PN	Panaderia El Magdalena	KR 28 04 26	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
588	PN	Panaderia Y Bizcocheria Granada	CARRERA 10 14-68	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
59497	PN	Panaderia Bizcocheria Y Salones Granada S.A.S.	CARRERA 10 14-68	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
60315	PN	Panaderia El Divino Niño Jesus	DG 16 19 06	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
60494	PN	Panaderia Orvipan	CR 13 3 10 SUR	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
61180	PN	Panaderia Y Bizcocheria Irlandesa	CARRERA 18 5 07	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
61628	PN	Panaderia Aqui Su Pan	CR 23 2 112	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
63832	PN	Panaderia Yohana	DG 59 11 A 245	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
68037	PN	Panaderia Y Pasteleria La Gran Danesa	CRA 18 3 63	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
72601	PN	Panaderia Villa Del Pan	CL 35 10 C 47	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
73392	PN	Panaderia Olaya Herrera 10a	CR 10 A 7 30	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
73613	PN	Panaderia Y Pasteleria Solo Ricuras F.J	CR 12 56 B 04	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
73715	PN	Panaderia Masquepan S.A.S	CALLE 7 N 6 47	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
74038	PN	Panaderia Y Viveres El Naranjito	KR 19 A 2 A 11	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
74786	PN	Panaderia Ricuras La 26	KR 26 11 B 31	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
74946	PN	Panaderia Pantojarse De La 11	CR 11 40 12	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
76518	PN	Panaderia Y Pasteleria Heredia	CR 10 2 07 BRR CATALUÑA	C1081	Elaboracion de productos de panaderia



78059	PN	Panaderia Sanboy	CRA 11 43 24 BRR CHAPINERO	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
78075	PN	Panaderia La Espiga Dorada De La Primera	CL 1 11 26	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
78556	PN	Espigas Panaderia	CL 10 13 25 BRR LA CASTELLANA	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
78962	PN	Panaderia Y Pasteleria Alicante	CALLE 11 N 17 62	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
80574	PN	Panaderia Gran Idepan	CL 15 12 36	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
81574	PN	Panaderia Y Pasteleria Genesaret	CALLE 4 N 10 08	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
66965	PC	Productos Carnicos El Portal	CALLE 35 10C 28	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
82395	PN	Panaderia La Bendicion De La 7	CL 7 6 05	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
82679	PN	Panaderia Y Pasteleria Andrey	CLL 22 NRO. 17-28	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
82715	PN	Panaderia Panes Del Oriente	CL 9 1 A 57	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
82720	PN	Galeria De La Torta Panaderia Y Pasteleria	CR 11 15 106	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
82885	PN	Panaderia Le Baguette	CRA 26 2 65	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
83155	PN	Coffee Pan Panaderia Y Pasteleria La 26	CRA 26 NRO. 5 A - 26	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
83355	PN	Zahra HI Panaderia	CR 14 6A 17	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
84052	PN	Pasteleria Y Panaderia Y Fruteria Wonka 1	CR 4 4 55	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
84054	PN	Panaderia Y Pasteleria Y Fruteria Wonda Avenida	CR 11 37 17	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
84388	PN	Panaderia Panyor	CL 46 12 138	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
86454	PN	Panaderia Bakery.Tz	CR 26 4 A 41	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
86604	PN	Panaderia Libapan	CARRERA 27 N 7 A 05	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
87419	PN	Panaderia Y Pasteleria Panipan La Bendicion	CL 5 A 22 30	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
87539	PN	Panaderia Pan Y Cafe De La Pradera	CR 11 35 A 06	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
89249	PN	Dalias Pasteleria Panaderia	CR 11 22 133	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
89729	PN	Panaderia Luz Bautista	CL 14 NRO. 31 31	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
91444	PN	Panaderia En Horno A Leña Firavia	VRD TINTAL SEC LA VIRGEN	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
91502	PN	Panaderia Pasteleria Napolitana La Fuente Del Sabor	CL 7 6 A 57	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
91634	PN	Panaderia Trigros De Oro	CL 11 B 23 66	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
92198	PN	Distribuidora De Insumos Para Panaderia El Country Lt	CR 11 14 SUR 48	G4729	Comercio al por menor de otros productos alimenticios n.c.p. en establecimientos especializados
93032	PN	Panaderia San Roque De La U	CR 14 1 B 45 SUR	C1081	Elaboracion de productos de panaderia



93573	PN	Panaderia Y Pasteleria Acarigua	CL 9 10 63	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
93775	PN	Panaderia Y Pasteleria Arte Y Pan	CL 1 C SUR 2 75 BRR MONQUIRA	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
94382	PN	Panaderia Magia Frutal	CL 6 CR 12 ESQ	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
94411	PN	Panaderia Granada Dv S.A.S	CR 10 14 68	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
94413	PN	Panaderia Y Pasteleria Chantilly Sogamoso	CL 19 11 26	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
94750	PN	Molicoffee Panaderia Y Biscocheria	DG 13 14 137	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
95026	PN	Panaderia Y Pasteleria La Sildana	CR 20 7 B 42	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
96031	PN	Panaderia Sueños Al Horno Del Norte	CARRERA 10 B N 1 38 A 28	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
96990	PN	Panaderia Pasteleria Y Restaurante Wonka	CL 9 N 11 47	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
97262	PN	Panaderia Y Pasteleria Napolitana Puente Pesca	AVENIDA EL SOL CALLE 9 10 25	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
97428	PN	La Duquesa Panaderia Y Pasteleria	CR 14 N 1 08	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
97438	PN	Panaderia Crispan La 22	CR 22 11 B 75	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
98163	PN	Panaderia Martincas	CR 11 8 68	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
99486	PN	Panaderia Y Pasteleria La Orquidea	CARRERA 12 D 46 63	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
99836	PN	Panaderia Dulce Caramelo	TV 4 5 37	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
99849	PN	Panaderia Doña Maria	CR 10 14 129	C1081	Elaboracion de productos de panaderia
100039	R	Requinto Sabor Y Sazon	CL 14 12 36	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
100059	R	El Dulce Sabor De Celeste	CALLE 16 N° 9 A -13	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
100125	R	Don Birria Taqueria	CL 2 A SUR 13 46	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
100131	R	Rumi'S Pizzeria	CARRERA 14 N°9-29	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
56731	PC	Productos Carnicos San Miguel	KR 11 18 16 SUR	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
100226	R	El Sazon De Jessi	CALLE 1 N 14 43	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
100240	R	El Rincon De Los Panas	CALLE 14 N 20 B 13	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
100248	R	Inversiones Elvr S.A.S	CL 12 11 04 P 2	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
100309	R	M&A Sol S.A.S	CARRERA 23 N 11 38	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
100310	R	Tango Parrilla	CARRERA 9 N 29 40	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
12605	R	Comidas Rapidas Capriccio	KR 9 14 02	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
19455	R	Restaurante El Corralito	CARRERA 11 9 45	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
19974	R	Restaurante El Pijao	CL 12 14 05 ESQUINA	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
20381	R	Punto Rico Restaurante Y Comidas Rapidas	AVENIDA SAN MARTIN 15 31	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
21447	R	Piqueteadero El Tropezon	KR 13 14-13	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas



23694	R	Restaurante Nueva China De La 14	KR 14 7A 28	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
24026	R	Pescaderia El Dorado	KR 10 8 21	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
25202	R	Piqueteadero La 11	CALLE 11 16 20	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
25907	R	Restaurante El Lago	CL 7 A N . 8 07	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
28443	R	Piqueteadero La Orqueta	CL 1 C SUR 1 113	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
29478	R	Rico Delight Broaster	CARRERA 11 7-05/07	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
29748	R	Rincon Silva Juan Carlos	CL 13 10-37	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
30294	R	Los Chachos De La Hamburguesa	KR 11 19 01	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
31412	R	Mesa Sandra Milena	KR 11 16 63	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
31460	R	Restaurante Salud Y Vida	CALLE 13A 14 43	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
31599	R	Restaurante El Dorado	CALLE 15 N 16 A 105	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
31820	R	Frit'S Chicken	CALLE 11 18 63	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
32832	R	Kokorrigo De La 11a	CL 22 11 A 08	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
33052	R	Ranch Burguer	CR 11 18 37	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
34568	R	El Rincon Sogamoseño	CL 11 14 62	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
35659	R	Asadero Y Piqueteadero El Terminal	CL 11A 17 10	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
37724	R	Inversiones El Gran Dorado S.A.S	CR 11 10 21	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
37742	R	Restaurante El Gran Dorado 1	CR 11 10 21	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
38058	R	Cabrera Clemow Carlos Rafael	AVENIDA SAN MARTIN 15-31	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
39996	R	Restaurante Bar La Fonda De Los Amigos	CARRERA 11 16 63	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
40503	R	Asadero El Gran Tocaima No. 1	KR 14 11-27/29	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
41171	R	Asadero Y Restaurante Neco	KR 11 1-08	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
42775	R	Restaurante Emilita	KR 18 11 35	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
42804	R	La Pizza Del Mono	KR 11 20-48	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
43308	R	Martinez Sanchez Mirian Emilse	CALLE 14 13 31	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
43760	R	Restaurante Bar El Bosque Campestre	CARRERA 11 13 57 SUR	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
44362	R	Karols Restaurante	KR 10 15 10	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
44827	R	El Cañazo Restaurante Comidas Típicas	CL 7 10 A 67	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
45204	R	Restaurante Jeronimo	CALLE 3 SUR 15 25	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
46568	R	Estadero Y Asadero Brisas Del Casanare	VEREDA SANTA HELENA KM 2 VI AL LLANO	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
47240	R	Arturos Broaster	CR 11 4 SUR 31	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
48201	R	Comidas Rapidas Pa' Lambre Eventos Y Recepciones	CARRERA 22 N 11B 56	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
48235	R	Uribe Ruiz Neil Fernando	CL 37 SUR 9 - 233 CASA 20	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
48375	R	Desayunadero La 28	KR 28 10 45	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas



48639	R	La Colonial Restaurante Y Comidas Rapias	CARRERA 11 12 61	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
48988	R	Empanadas La Madrileña	KR 26 3 A 12	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
49599	R	Rios Ramirez Rosa Stella	CR 11 15 112	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
50121	R	Mendivelso Parada Evia	KR 10 15 08	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
50217	R	Inversiones Riaño S.A.S	CR 11 11 142 SUR	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
50530	R	Sogamoso Broaster	CARRERA 10 N 13 87	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
50607	R	Victory Coffee	CR 12 10 21 PISO 1	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
84304	PE	Truchas & Peces	TV 19 4 39	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
51310	R	Sabor A Colombia	CR 11 12 142 SUR	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
51427	R	Broaster De La 26	KR 26 11B-28	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
52302	R	Rojas Forero Jose Alirio	CL 11 32 17	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
52583	R	Restaurante Y Recepciones Bechamel	TV 7 5B 13	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
52828	R	Daza Cardenas Eli	KR 17 3 12	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
53595	R	Asadero Chicoral	KILOMETRO 6 VIA SOGAMOSO IZA	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
54045	R	Restaurante Santandereano De La 11	CR 11 7 A 197	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
66663	PC	Refricarnes Durango	CL 9 10 65	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
54060	R	Sopas Y Sason La Canasta	CR 12 10 21 PISO 2	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
54606	R	Pescaderia Y Restaurante La Canoa	CL 15 13 47	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
54622	R	Restaurante Ponchos Gourmet	CARRERA 17 N 3 70	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
55271	R	Saboryarte	VEREDA VANEGAS	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
55304	R	Castiblanco Ayala Liliana	CL 13 12 09	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
55430	R	Niño Jimenez Lina Alejandra	CL 11 14 62	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
85022	PE	Riomar Seafood S.A.S	CR 13 13 70	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
55859	R	Asadero Las Acacias #1	KM 6 VIA SOGAMOSO - IZA VANEGAS	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
56112	R	Perez Avellaneda Flor Marina	CARRERA 26 11B-28	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
56121	R	Restaurante Natural Ligth	CL 10 11 89	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
56184	R	Victory Coffee Iwoka	CR 11 21 90	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
56354	R	Susaca Gourmet S.A.S.	CARRERA 16 11 35	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
82317	PC	Restaurante Pollo Rico De La Decima	CARRERA 10 N 16 49	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas



56517	R	Restaurante Traca Siga La Vaca	VEREDA VANEGAS	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
56849	R	Restaurante Bar Santa Sofia	KR 28 9 89	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
57063	R	Giraldo Cely Dairo Wilberto	CR 11 18 37	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
97145	PC	Restaurante Pollos El Buen Sabor	CL 9 N 11 50	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
58156	R	La Postreria	KM 3 VIA SOGAMOSO IZA	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
58751	R	La Tentacion Restaurante	CR 11 20-42	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
59410	R	Restaurante Donde Juanita	CRA 18 11-27	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
60300	R	Restaurante La Abuelita	CR 14 2 BIS 38 SUR	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
60405	R	Pio Rico Carrera 26 Con 7	KR 26 6A 42	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
60575	R	Rico Broaster Del Norte	KR 11 38 46	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
61796	R	Restaurante El Nuevo Zulima	CL 12 11 11	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
62234	R	La Rioja Wh Restaurante	CL 13 NRO. 14 - 59	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
62402	R	Piqueteadero Las Gallinas De Rosario	CARRERA 10 9 10	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
62500	R	Restaurante La Colina El Crucero	KM 16. 5 VIA SOGAMOSO-AGUAZUL SEC EL CRUCERO VDA LA CHORRERA	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
62700	R	Asadero La Gran Riviera	CALLE 15 9 A 27	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
65171	R	El Bodegon S.A.S	CR 12 12 08	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
65184	R	El Bodegon S.A.S.	CARRERA 12 12 08	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
65453	R	D Gusto Restaurante Parrilla	CALLE 16 N 10 59	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
65471	R	Mesa Gonzalez Vicente Uriel	KR 17 15 15	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
66121	R	Marina Acosta Flor	CR 18 11 85	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
66156	R	Estupiñan Fernandez Jenny Liliana	KR 13 14 13	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
66298	R	Cenadero El Taxista	CR 17 16 41	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
66323	R	El Rincon De Las Marias	CALLE 46 13 51	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
66494	R	Restaurante El Fogon Boyacense	CARRERA 11 N 25 39 SUR	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
87070	PE	Pescas Y Pescados	CL 5 8 42 LC 40	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
66900	R	La Parrilla Gourmet Iwoka	CC IWOKA LOCAL 245	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
67345	R	Restaurante La Avenida 17	KR 17 15 15	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
67646	R	Asadero Salones Para Eventos Sausalito	CARRERA 17 3 12	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90365	PC	Salvaje Sogamoso Carnes Y Vinos	CR 11 13 02	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
67864	R	Asadero Y Restaurante La Gran Parrillada Boyacense	CR 11 13B 106 SUR	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
67946	R	Sumerced Parrillada	KR 11 14 82 LC 2	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
68837	R	Las Delicias De Pipe En Chameza	KM 5 VIA NAZARETH VDA CHAMEZA	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
68991	R	Estadero Los Capachos	CR 18 11A 17	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas



69706	R	Asadero Y Broaster Leña Y Sabor	CL 13 17 52	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
69926	R	Restaurante La Maestranza Campestre	CL 22 SUR 20 12 VENECIA	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
70343	R	House Bbq Parrilla Y Gourmet	KR 11 27 70	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
70841	R	Lopez Ussa Ana Azucena	CR 9 A 28 38	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
70915	R	Restaurante Palacio China Sogamoso	KR 14 13 32	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
70917	R	Restaurante Nuevo Exito China	KR 17 11 40	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
70937	R	Santa Gallina 15	CR 11 29 SUR 73	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
71056	R	Restaurante Yeimy	KR 11 3 78	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
71067	R	Entrepalos Burger	CARRERA 11 15 59	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
71072	R	Empanadas Punto Cero	CARRERA 14 10 69 ESQUINA	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
71109	R	Asadero Donde Poncho	KR 4 5 69	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
75822	PC	San Diego Distribuidora De Carnes	CR 13 4 72	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
56902	PC	Sogapollo	KR 26 11 98	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
71295	R	Villa Broaster T&V	KR 26 2 G 05	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
71311	R	La Pizza Del Mono Cafe	KR 11 20 34	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
71960	R	La Pizza	KR 14 2B SUR 47 TORR 11 LC 1	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
72838	R	Presas Y Sabor	KR 26 2E 16	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
73071	R	Restaurante Y Piqueteadero Caldo Parado	CR 11 15 112	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
73088	R	Mi Mucho Burrito	KR 11 18 45	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
73184	R	Comidas Rapidas La 26	KR 26 4 G 45	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
73250	R	Restaurante Los Toriles	KR 10 13 15	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
73294	R	Piqueteadero La 26	KR 26 5 A 28	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
73308	R	Frits Chicken Broaster	CL 11 18 45	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
73314	R	Pescaderia La Canoa Campestre	KR 11 22 105 SUR	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
73320	R	Jonathan Gerardo Fuentes Joya	CL 11 18 63	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
73332	R	Asadero Fresky Chicken	CRA 11 20 04	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
73335	R	Bello Acevedo Anany	KR 18 11 35	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
82827	PC	Super Carnes Guaicany	CRA 21 5 12 LC 1	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
73337	R	Plancha Y Carbon	KR 11 18 81	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
73706	R	Restaurante Bar El Norteño De La 11	CALLE 11 24 197	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas



73739	R	El Fogón Boyacense	CENTRO COMERCIAL IWOKA PLAZOLETA DE COMIDAS LC 240A	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
73911	R	Bambu Gourmet	CR 11 2 76 SUR	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
73989	R	Donde Willy Comidas Rápidas	CR 13 3 96 SUR	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
74464	R	Gaviria Alarcon Deissy Lorena	KR 11 18 45	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
74504	R	Ofreciendo Servicios Jr S.A.S.	CL 11 10 45	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
75032	R	Master Chef Jaki	CIUADDELA CHINCA PLAZOLETA DE COMIDAS L 2	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
75236	R	El Buen Sabor De Laura	CR 20 14 35	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
75826	R	Donde Rene Gourmet	KR 11 20 A 05	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
75942	R	Presitas Y Sabor	CALLE 9 9 87	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
76137	R	El Altísimo Gastro Pub	CR 14 2C 14 SUR	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
76331	R	Asadero Y Piqueteadero Las Ricuras Del Sur	CARRERA 11 7B 33 SUR	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
76546	R	Restaurante San Jorge Sogamoso	CL 3 SUR 14 54	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
76600	R	Cardenas Castañeda Martha Liliana	KR 11 27 62	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
76719	R	Asadero Y Restaurante Rancho Porras	CR 11 21 16 SUR	R9008	Otras actividades de espectáculos en vivo n.c.p.
94137	PC	Super Carnes Guaicany S.A.S	CL 5 20 42	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
76878	R	Robayo Torres Emilce	CALLE 35 N 10 C 93	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
76942	R	Sanchez Salas Jeniffer Alexandra	CR 11 24 15	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
77070	R	El Chispazo Riko Riko	TRANV 4 5 119	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
77090	R	Restaurante Mis Caleñitas	DG 59 68 60	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
77171	R	Restaurante Dorita	CR 18 7 B 40	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
77323	R	El Buen Sabor De Caldo Parado	KR 17 15 74	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
77498	R	Hamburguesas Y Parrilla Del Countri	CL 7 6A 50	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
77579	R	Asadero Donde Marcos	KM 2 VIA AL LLANO	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
77662	R	Piqueteadero Doña Cecy	CALLE 14 N 9 23	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
77769	R	Restaurante Dimitry Cocina Romantica S.A.S.	CR 11 16-44	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
78102	R	Vargas Mena Diego Felipe	KR 11 18 81	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
78562	R	Tomillo Y Laurel Gourmet Restaurante Salon De Eventos	CL 14 13 31	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
78569	R	Hacienda Las Margaritas Sal & Dulce	CALLE 17 SUR N 1 71	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
78580	R	Colombian Broaster De La San Martin	CR 17 11-52	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
78913	R	Alvarado Mendivelso Wilson Daniel	CL 9 8 94	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas



78914	R	Arroz Paiza El Carriel	CALLE 9 8 94	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
79229	R	Estadero Y Asadero La Hacienda Cuatro Potreros	CR 12 28 59	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
79549	R	Piqueteadero Y Restaurante Palacio Del Sabor	CL 15 11 91	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
79664	R	Las Delicias Del Mezon	KR 12 A 8 IN 16	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
79719	R	Restaurante El Eden Terminal	CRA. 18 11 69	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
80153	R	Arroz Gran Paiza R.S	KR 20 7 10	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
80326	R	La Plaza Del Sol	CL 5 8 41	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
80378	R	The Burger Bistro S.A.S.	KR 11 25 13	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
80478	R	Restaurante Marpez	CRA 11 8 64	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
80557	R	Martha Rocio Sanabria Hernandez	CRA 11 54 116	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
80626	R	Inversiones Rc Platino S.A.S	KR 12 12 65	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
80790	R	11 Y 6 Gastro Pub	CR 11 12 82	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
81304	R	Pizza Nostra Sogamoso 1	CL 12 10 26	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
81355	R	Pikorito Express	CL 11 A 17 20	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
81384	R	Restaurante Y Asadero El Santandereano Mano	KR 20 11 A 57 BRR VEINTE DE JULIO	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
81467	R	Restaurante Haochi Broaster	CLL 11 20 55	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
81496	R	Wenwork Solutions S.A.S.	CL 14 11 18 OF 202	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
81807	R	Sanabria Hernandez Nelcy Del Carmen	CR 20 7 10	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
81866	R	Picaflor Jr	CL 11 10 45	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
82314	R	Restaurante Y Piqueteadero Gallinas Y Gallinas	CL 9 9 85	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
82492	R	La Lupe Restaurante Mexicana Comida Rapida	CALLE 15 N 11 51 PISO 2 LOCAL 1	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
82813	R	Molienda Parrilla Santandereana	CALLE 9 N 12 20	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
83487	R	Restaurante Apetit	CR 11 20 A 25	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
83541	R	Restaurante Rancho El Palmar	KM 7 VIA SOGAMOSO IZA	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
83890	R	Churrasc Y Sazon	CR 11 21 90 LC 241	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
83918	R	Suamox Gourmet	CL 2 15 44	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
83930	R	Cañas Cabal Gustavo Adolfo	CRA 18 11 69	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
84099	R	Bar Restaurante M Y J	CR 11 1 A 04 SUR	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
84168	R	Confratelli Pizza	CR 17 1 24 SUR	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
84178	R	Donde Vero Restaurante Tabaco	CR 13 15 53	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
84195	R	La Crepa - Crepas Y Cafe	CR 11 22 60 SUR	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas



90896	PE	Pescaderia Delfin Rosada Los Alisos	CR 11 19 A 16	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
84330	R	Toscana Pizza	CL 1 13 54	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
84579	R	Salchipapeando Especialistas En Salchipapa	CL 1 17 58	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
84874	R	Asadero & Restaurante Tocaima Numero 1	CRA 14 11 27/29	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
84909	R	Delia repas Donde Nadia	CL 18 11 A 58	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
85063	R	Surtidora De Aves Restaurante Parrilla	CR 11 14 28	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
85103	R	Restaurante Maipu	CL 11 A 17 26	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
85219	R	Restaurante Pescaderia Sabor A Fogon	CR 14 14 38	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
85545	R	Alicia Fernanda Cruz Mora	CL 7 13 61	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
85603	R	Maria Fernanda Lopez Lopez	VDA MORCA CENTRO	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
85700	R	D'John'S	CR 17 11 38	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
85912	R	Nueva Muralla China De La 6 De Septiembre	CALLE 15 N 11 87	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
85966	R	Mcdog&Burger	CARRERA 11 N° 19-21	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
86069	R	Olibrasas Sogamoso	CARRERA 11 15 86	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
86171	R	Barriguita Llena Corazon Contento	CALLE 12 14 29 OFC 401	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
30402	PC	Supermercado Y Expendio De Carnes Leidy	CARRERA 22 1 40	G4631	Comercio al por mayor de productos alimenticios
86262	R	Cocina Mesa Fusion	CRA 24 NO 6 25	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
86439	R	Vega Perez Astrid Rocio	CRA 24 7 50	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
86462	R	Las Pizzas De Watson Chapinero	CR 11 39 05	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
86540	R	Asadero Y Restaurante El Punto Del Buen Sabor	DG 59 11 B 113	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
86552	R	El Gran Sabor Rc	CL 7 13 61	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
87009	R	Harold Nicolas Rodriguez Becerra	CARRERA 11 19 04	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
87161	R	Bistro 1979 Gastro Bar	CL 13 10 64 LC 102	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
87230	R	Asadero Restaurante Porras	CARRERA 11 26 SUR-147	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
87272	R	Soler Jimenez Angelica	CR 11 42 71	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
87389	R	Restaurante Y Piqueteadero Gallinas Y Gallinas R C	CL 9 9 85	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
87399	R	Restaurante Chow Fan Gs	CR 11 42 71	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
87449	R	Diana Niño Catering Y Servicios	CARRERA 9 14 141	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
87827	R	Asadero Y Restaurante El Rancho P	CR 11 21 14 SUR	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas



88074	R	Cafe Bar Mar Y Sol	CARRERA 11 9 30	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
88101	R	Asadero Restaurante Y Salón De Eventos Rancheros	CL 38 10 C 69	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
88111	R	Parrilla Bos Burger Company	KM 3 SOGAMOSO VIA IZA	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
88144	R	Restaurante Y Salon De Eventos Orquidea	CL1 C SUR 2 75	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
88275	R	Rock Burger Fire Sogamoso	CR 11 19 33	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
88303	R	Bambú Burguer Gourmet S.A.S.	CR 11 2 76 SUR	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
88431	R	El Sazon De La Mona De La 26	KR 26 5C 40	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
88537	R	Los Chachos Express	CR 11 A 20 11	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
88633	R	Sal Y Dulce El Sena	KR 12 55 50	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
88971	R	Alvarado Diaz Teresa De Jesus	CRA 11 NRO. 12 - 61	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
89005	R	Pizza Express Laguito	CL 19 11 22 LC 1	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
89027	R	Frida Sogamoso	CL 22 11 BIS 02	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
89195	R	Restaurante Y Eventos La Fragatta Gourmet	CRA 9A 22 32	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
89232	R	Munch Burguer	CRA 11 NRO. 19 32	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
89307	R	La Pizzeria Sog Artesanal	CR 6 18 99 BRR LOS ALPES	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
89377	R	Restaurante Sazon Y Sabor La Roca	CARRERA 11 22 85	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
89488	R	El Dorado Real	CR 11 42 52	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
89520	R	Campestre Rodmol S.A.S.	CR 11 22 SUR 60 BRR VENECIA	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
89527	R	Santo Lechona	CL 17 10 45	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
89605	R	Julio Ramon Guerrero Camacho	CR 11 2 A SUR 05 BRR ALCALA	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
89672	R	El Viejo Minero Sas	CARRERA 8 4A 05	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
89691	R	Don Chorizo Gourmet Sogamoso	CARRERA 14 9 09	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
89692	R	Don Chorizo Express	CR 17 11A 42	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
89707	R	Perdomo De Hernandez Maria Elvia	CL 12 14 05 ESQUINA	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
89879	R	Servicios De Alimentos Eventos Catering Hawk	CR 13 48A 80	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
89882	R	Macross Sazon	CL 7 5 10	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
89908	R	Asadero El Gran Mana	CR 141 08	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
89993	R	Figueroa Jimenez Monica Paola	CR 14 13 78	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
89994	R	Maduratta Pizzeria Artesanal	CRA 9 NO 22 05	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90041	R	Laguito Gourmet	CL 21 11 49	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90115	R	Steak House Clm	CARRERA 12 10 37	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90224	R	Asadero La Hoguera Dorada	CR 11 7 02	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90260	R	Master R4 Cafe	CR 11 18 11	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90332	R	Asadero Perni Broster Rc	CL 7 10 75	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas



90337	R	Freshop	CR 8 5 42	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90348	R	El Gourmet Amaranto	CALLE 1 N 13 54	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90417	R	Mamina Gastronomía Peruana	CL 14 A 11 87	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90423	R	Gran Establo Parrilla Y Hamburguesas	CARRERA 11 N 21 91 LOCAL 242	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90449	R	Carlos Edel Barreiro Naranjo	CL 2 A 23 08	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90451	R	Scorpion Club Cafe Bar	CL 2 A 23 08	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90463	R	Restaurante Y Pescadería El Coctel Del Mar	CR 12 11 43	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90505	R	Tradición Pibil	CR 10 15 A 6	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90523	R	Restaurante Y Asadero Brasas Del Sol	CL 11 14 02	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90540	R	Rincon Orrego Jessica Paola	CR 12 28 59	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90575	R	Pizzeria Y Restaurante La Italiana	CARRERA 15 14 17	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90681	R	Las Pizzas De Watson Sencillamente Deliciosas	CARRERA 14 N 7 B 07	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90688	R	Restaurante Tipico Con Sabor A Mexico	CR 11 20 40 PISO 2	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90690	R	Casa Ana Comida Tradicional	CR 14 5 13	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90756	R	Paiza Express	CALLE 11 N 21 27	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90796	R	Arroz Buen Paiza R.S	CR 11 54 116	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90922	R	Asadero Fat Deli Chichen'S El Mas Doradito	CL 7 23 51	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90932	R	La Gran Variedad Del Sabor Colombiano	CR 11 8 85	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90942	R	San Valentin Gourmeth Express	CR 11A 16A 15	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
91083	R	San Jeronimo Coffee Home	CL 18 9 68	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
91084	R	Proveedor De Servicios Y Alimentos Corporativos Sociedad Por Acciones Simplificada	CR 17 2 81	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
91152	R	Hernandez Barreto Elkin Jhoan	CL 9 12 20	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
91268	R	Eyber Amezquita Rojas	CL 1 12 36	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
91357	R	Restaurante Y Pescadería Donde Maria	CR 13 14 53	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
91556	R	Mc Chicken Asadero Restaurante	CL 1 12 36	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
91735	R	Asadero El Nuevo Tradicional	CR 11 12 35 SUR	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
91855	R	Costa Y Sabor 24	CR 11 21 90 LC 202	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
91893	R	Compañía De Inversiones JI S.A.S	CL 11 12 27 OF 302	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
91948	R	Broaster De La 12 Yoya	CR 12 09 39	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
92063	R	Restaurante Izumi Teppanyaki	TV 27 14 52	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
92068	R	El Jardin Secreto Restaurante Cafe	CR 10 14 41 IN 3	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
92272	R	Elisa Cafe Y Cocina	CL 15 11 53	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas





92480	R	Punto Y Coma 53	CR 12 # 53 C - 10	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
92570	R	Esperanza Hernandez Nelly	CR 11 9 45	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
92604	R	Amado Gutierrez Camilo Andres	CR 14 2C 14 SUR	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
92616	R	Restaurante Y Comidas Rapidas Maria T	CR 14 2 B 62	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
92618	R	El Buen Sabor De Ema	CR 18 NRO. 10 - 03	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
92638	R	Restaurante Y Desayunadero Las Delicias De M.C	CR 17 11 18 - 11 20	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
92640	R	Rincon Paisa Restaurante M.Q.V.	CR 18 2 43	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
92661	R	La Cresta Sogamoso	CR 11 # 19 - 11	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
92688	R	Milusk	CALLE 11 Nro. 32-250	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
92721	R	Restaurante Caldoparado	CR 11 15 112	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
92816	R	Restaurante El Santandereano Mano	CL 17 10 63	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
92844	R	Brazas Y Broaster	CL 3 SUR 15 95	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
92956	R	Kakareos Broaster Y Asado	CR 26 8 13	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
92982	R	La Estancia Restaurant	CL 11 27 18	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
93135	R	La Monalisa Restaurante	CR 14 # 17 - 35	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
93222	R	Restaurante Donde Jacky	CR 26 3 55	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
93238	R	Bayona Jaramillo Jenny Andrea	CL 8 20 A 47	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
93249	R	Cordoba Perez Bertha	DG 59 11 B 63	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
93269	R	La Popa Restaurante	CR 9 A 28 38	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
93295	R	Whopper	CR 26 8 25	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
93363	R	Kyo Italian Gastro Pub	CR 10 8 41	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
93388	R	Chinese Food Sogamoso	CARRERA 26 N 6 12	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
93420	R	Grupo Chill-Out S.A.S	CR 8 5 41 LC 1 B	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
93437	R	Gastro Bar Majestyc	CR 14 1 A 39 SUR	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
93473	R	Samcho Panza	CR 11 29 11 SUR LC 1	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
93635	R	Saboryarte P&P S.A.S	KM 6 VIA IZA VRD VANEGAS	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
93650	R	Inversiones Afgc S.A.S	CR 11 19 A 48	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
93847	R	Deli Presas El Rey	TV 7 5 D 31 P 1	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
93918	R	Nubia Fanny Hernandez Mojica	CALLE 9 A N 13 26	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
61568	PC	Superpollo El Sabor Original	CL 14 11 36	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
93925	R	La Tertulia Bistro	CR 4 1 C 108	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
93970	R	Rica Papa Foods	CR 11 19 A 48	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
93986	R	Gourmet Ranik Catering	CR 12 46 146	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
93997	R	Akikiriki Rosario	CR 17 07 07	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
94006	R	La Familia Rocio	CL 1 15 72	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
94035	R	Dely Presas H.R	AV DEL SOL 12 39	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas



94062	R	Restaurante Y Pescaderia Cachama Sumerce S.A.S	CL 9 14 126	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
94176	R	Tango Parrilla Argentina S.A.S	CR 9 29 40	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
94277	R	La Cataleya J Y W	TV 7 5 B 79	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
94371	R	Asado Del Gordo Sogamoso	CR 9 16 20	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
94438	R	Gourmet Food Service Rojas Otero S.A.S	CL 15 12 23	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
94622	R	V.I.P Canelon	CR 4 1 C 80	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
94648	R	Pecados Capitales	CR 15 1 A 19 SUR	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
9475	R	Vargas De Rico Blanca Flor	KR 11 8 100	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
94874	R	Romulo Gastrobar	CL 7 9 26 LC 301	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
94886	R	Kfc Sogamoso	CR 11 13 81	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
94922	R	El Sazon De Dylan	TV 4 5 28 BRR EL CORTES	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
94981	R	Rincon Silva Fredy Andres	CL 15 12 55	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
95049	R	Tijuana Es Mexico En Colombia Vip S.A.S	CL 11 10 45 PISO 3	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
95108	R	Restaurante Y Asadero El Morichal	CL 9 11 44	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
95109	R	Botia Caceres Fanny Estela	CARRERA 14 10 69 ESQUINA	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
95268	R	Gran Sabana Restaurante	CL 27 19 43	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
95323	R	Donde Carmelita	CARRERA 4 N 2 100	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
95361	R	Saha Rooftop	CALLE 15 10 64	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
95382	R	Restaurante Pimienta Y Sal	CL 14 13 28	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
95397	R	Mezcalina Gastro Bar	CL 13 9 83 P 1 BRR SAN MARTIN	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
95467	R	Holguin Bernal Paola Lucero	CR 11 19 21	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
95475	R	Criolladas	CL CENTRO COMERCIAL IWOKA LOCAL 240	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
95532	R	Saka Cocina Mexicana	CR 12 16 17	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
95638	R	Surti Aves 22	CR 7 5 79	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
95657	R	Restaurante Las Delicias De Mari - El Terminal	CL 11 A 17 36	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
95707	R	Salchiburguer Big	CR 9 7 99	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
94607	PC	Surticarnes D Y C	CR 25 13 06	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
95721	R	La Julia Restaurante Y Centro De Eventos	VRD VANEGAS	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
95784	R	Doragon Sogamoso	CR 11 22 2 LOCAL 201	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
95822	R	Restaurante Y Asadero Master Pio	CL 11 B 18 39	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
95839	R	Piqueteadero Los Pencos Sociedad Por Acciones Simplificada	CL 8 2 76	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas



95871	R	El Sabor Criollo De Alexandra	CR 11 8 82	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
95880	R	Restaurante Y Pescaderia La Playita	CL 11 A 16 08 BRR 20 DE JULIO	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
96066	R	U-Meals S.A.S	CL 46 11 52 BRR LAS MARIAS	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
96089	R	La Gran Muralla China Calle 12	CL 12 A 13 46	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
96240	R	Inversiones Molano Daza S.A.S	CR 11 22 136 SUR BRR VENECIA	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
96303	R	Waffles Home S.A.S	CL 28 10 29	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
96347	R	Comidas Saludables Marleny	CR 23 306	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
96364	R	Xue Restaurante Y Café	CARRERA 9 N 16 26	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
96397	R	Paolas Restaurant	CR 20 10 56	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
96424	R	Restaurante Sazon Casero Marielita	CR 11 14 51 CC BARCELONA LC 318	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
96543	R	Restaurante Y Asadero Techos Rojos	CR 11 22 136 SUR	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
96576	R	Lopez Sandoval Ivonne Iliana	CL 22 SUR 20 12 VENECIA	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
96580	R	Restaurante Fogon El Crucero	SEC EL CRUCERO	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
96593	R	Sib Burger	CR 11 14 51 LC309	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
96678	R	Restaurante Santandereano La Citeña	CL 9 12 22	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
96783	R	Puro Sabor Criollo La 28	CR 28 7 57	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
96818	R	Inversiones Magro Pioneros S.A.S	CL 13 10 27	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
96840	R	Salon De Eventos La Polleria	CL 8 12 15	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
96870	R	Rincon De Alejo	CL 11 28 ESQUINA	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
96944	R	El Buen Sazón De La 14	CR 14 N 3 27	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
96999	R	Magro Restaurante Gourmet	CL 13 10 27 CENTRO	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
97235	R	Pizzeria Happy	CL 3 SUR N 15 75	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
97352	R	Deus And Food Parrilla	CR 10 14 37	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
97386	R	Pacifico Group Supplies	CARRERA 10 N 12 82	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
97387	R	Restaurante Shadday Wok Broster	CL 3 SUR 25 81	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
97417	R	Sakura House Sushi & Wok	CR 11 N 22 2 LOCAL 201	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
97473	R	Compañía Gastronomica Rc Platino S.A.S	CR 12 N 12 65	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
97492	R	Parrilla Gourmet C Y N	CR 14 10 47	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
97501	R	Alma Mia Cocina	CALLE 14 N 9 38	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
97503	R	Canary Wings Sogamoso	CR 11 N 19 35 BARRIO LOS ALISOS	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
97526	R	Olivetto Gastro Pub	CR 13 15 55	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
97585	R	Lemon Rosfh Gourmet	CR 11 N 38 24	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
97632	R	Gastrobar Juanca Punta De Anca	CL 13 10 37	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
97638	R	Super House Burguer	CR 12 13 ESQ	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
97639	R	Ranch Factory	CL 15 12 55	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
97644	R	Ranch Factory 2	CR 11 14 96	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas



76180	PC	Surticarnes La 14	CRA 14 3-05	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
97712	R	Rito Gastro Bar	CR 10 12 08 EDIF ALFONSO LOPEZ PISO- 3 Y 4	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
97733	R	Lechoneria Don Marrano	CR 18 4 44	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
97739	R	Pizza Oregano Laguito	CL 22 11 BIS 08 BRR LAGUITO	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
97784	R	San Pelayo Sabor Caribe	CL 17 12 16	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
97837	R	Fast Foods La 18	CR 18 8 26	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
33170	PC	Surtipollo	KR 15 8 30	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
97966	R	Las Pizzas De Watson Ciudadela Chinca	CR 8 CON CL 5 ESQUINA LC 6	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
97967	R	Chicken Broaster 1987 Sogamoso	CR 14 12 16	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
98024	R	Krokanticos Jd	CR 11 39 36	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
98072	R	Asadero El Llanero	CL 7 A 25 53	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
75328	PC	Surtipollo El Cortes	CARRERA 4 N 4 B 37	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
98105	R	El Jardin Gourmet L&C	CR 11 A 20 95	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
85534	PC	Tentapollos El Laguito	CLL 22 11 08	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
98109	R	Asadero El Cachama	CR 20 16 49	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
98191	R	Coronado Alfonso Jorge Alexander	CR 11 13 B 106 SUR	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
98408	R	Delicias Del Llano	CL 35 10 C 77	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
98414	R	Caribe Gastro Mar	CR 17 4 29	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
98485	R	Restaurante Y Comidas El Rincon Del Abuelo	CARRERA 18 CALLE 1 ESQUINA	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
98494	R	Estadero La Potranca	VRD PRIMERA CHORRERA SEC LA PLAYITA	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
98574	R	Restaurante La Nueva Muralla China	CL 15 11 87 89	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
98605	R	Restaurante Henry'S Gurmet	CL 15 13 55	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
98608	R	Ascanio Naranjo Leidy Lisbeth	CL 11 18 19 20 DE JULIO	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
98675	R	Kairo Jave Gourmet	CALLE 8 N 14 29 LOCAL 101	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
98732	R	Chickens	CL 7 25 43	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
90155	PC	Tienda De Carnes Mr.Pig.J.C	CARRERA 12 N 54 B 22	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados





98765	R	Empanadas Punto Cero La 11	CR 11 9 38	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
98823	R	Yaya Carvajal Angela Viviana	CALLE 11 N 32 250 LA TOSCANA ETAPA 2 CASA 52	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
98829	R	Las Delicias Del Eden Restaurante	CALLE 11 A N 18 14	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
98847	R	Navarrete Diaz Juan Sebastian	CL 11 20 A 35	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
98915	R	Leon Gourmet	CL 11 20A 35	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
98960	R	Brothers Gastro Bar	CR 9 24 80 LC 301	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
99032	R	La Chispa Del Sabor Jv	CR 12 56 06	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
99048	R	Quenko Restaurante	CR 11 25 17	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
99132	R	Old Fashioned Bar Lounge S.A.S	CALLE 13 N 11 64 P 2	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
99197	R	Restaurante Lechoneria Y Piqueteadero La Chancha	CALLE 14 N 9 103	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
99211	R	Kame House Restaurante Parrilla	CALLE 9 A N 13 26	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
99237	R	Grupo Vecco S.A.S	KM 3 VIA SOGAMOSO IZA	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
99255	R	Los Sabores De Casa	DG 59 68 24	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
99324	R	Restaurante Y Comidas Rapidas El Sazon De La Septima	CL 7 18 17	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
99423	R	Las Delicias De Marina Morca	VEREDA BATTÁ	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
99442	R	Restaurante Oriental Wok Sogamoso	CARRERA 17 N 7 36	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
99500	R	Restaurante La 28	CR 28 2 BIS 13	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
99552	R	La Casita Del Sazon	CR 13 13 73	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
99621	R	El Giro	KM 7 VIA IZA 3 VIOLETAS VDA VANEGAS	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
99644	R	Restaurante Doña Luz Sogamoso	CL 14 17 38	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
99739	R	Q Chicharronn	CALLE 27 N° 18-46	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
99809	R	Alvares Moyano John Alexander	CR 15 14 17	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
99815	R	Alarcon Chaparro David Santiago	CL 9 9 81	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
99961	R	Asadero Rancho Casanareño	CARRERA 26 N° 7-78	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
1784	S	Exito Sogamoso	KR 13 11 50	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
19108	S	Supermercado La Canasta Rps	CARRERA 12 10 31	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
19109	S	Supermercado La Canasta Rps Valdes Tavera	CARRERA 24 8 31	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco



53826	S	Supermercado La Canasta Rps Iwoka	CARRERA 11 21 90 CENTRO COMERCIAL IWOKA	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
54055	S	Comidas Y Restaurantes La Canasta Sas	CR 24 8 31	I5611	Expendio a la mesa de comidas preparadas
64673	S	Almacenes Paraiso Sogamoso	KR 11 23 56	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
68961	S	Almacenes Paraiso S.A No 12 Sogamoso	CL 10 10 56	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
71866	S	Tienda Ara 0306 Sogamoso San Martín Centro	KR 11 10 36	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
98747	O	Makitos Salon De Onces	CARRERA 18 N 8 31	I5613	Expendio de comidas preparadas en cafeterías
71918	S	Tienda Ara 0327 Sogamoso Calle 11	CLL 11 19 85	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
73193	S	Tienda D1 Sogamoso Chapinero	CR 11 38 104-108	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
74193	S	Tienda Ara 0423 Boyaca Sogamoso Cl 13	CL 13 10 45/47	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
74711	S	Tienda D1 Sogamoso Centro	CR 13 11 69	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
75645	S	Tienda D1 Sogamoso Calle 11	CL 11 18 135	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
78061	S	Tienda D1 Sogamoso El Laguito	CL 19 11 36	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
79075	S	Tienda D1 Sogamoso Uptc	CARRERA 14 4 47	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
79651	S	Almacenes Paraiso S.A # 14 Sogamoso	CL 13 12 68	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco



8236	S	Tienda Arauquita	CALLE 7 N 13 46	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
83357	S	Tienda D1 Sogamoso Universidad	KR 11 27 49	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
83511	S	Tienda D1 Sogamoso Plaza 6 De Septiembre	KR 13 15 35	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
83512	S	Tienda D1 Sogamoso Santa Catalina	KR 11 4 39	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
88276	S	Tienda Ara 0883 Sogamoso Cortez	CL 5 2C 07	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
91808	S	Tienda Ara 1072 Sogamoso La Manga	CL 11 38 A 27	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
91934	S	Tienda Ara 1030 Boyaca Sogamoso Universidad	CL 3 SUR 17 38	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
91935	S	Tienda Ara 1064 Boyaca Sogamoso Iwoka	CR 11 26 127	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
92976	S	Almacenes Paraiso S.A. Bic # 16 Sogamoso	CR 17 2 85 LC 101	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
93411	S	Tienda D1 Sogamoso Magdalena	CR 28 4 35	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
94673	S	Almacenes Paraiso S.A. Bic #18	CR 26 8 59	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
99200	S	Tienda D1 Sogamoso El Cortez	CR 4 4 16	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
16714	Sp	Supermercado Tatian	CL 22 17 79 BRR LA ESMERALDA	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados



20871	Sp	Supermercado Richard	CL 6 15 A 39	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
26706	Sp	Supermercado Doña Luz	DG 5 4 27	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
28170	Sp	Supermercado Santa Helena	CL 7 A 26 45	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
33359	Sp	Supermercado Cortes	CL 5 2 A 31	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
38093	Sp	Tienda Rosita W.P	CL 6 18 83	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
41351	Sp	Supermercado La Viña	CL 9 10 22	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
43110	Sp	Supermercado Ikaros	CRA 11 42 16	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
46662	Sp	Supermercado La Cuarta De Sogamoso	CALLE 4 N 14 19	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
47108	Sp	Tienda Las Palmas De La 40	CL 40 10B-37	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
50700	Sp	Supermercado Positivo	KR 14 9 15	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
65085	Sp	Autotienda Juanda	CR 14 1 B 113 SUR	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
65510	sp	Supermercado El Moral	KR 9 A 20 38 - 42 BR LOS ALISOS	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
79287	Sp	Surtiviveres Doris	CL 13 13 46	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
99057	PC	Tienda La Casita Del Pollo	TRANSVERSAL 16 N 16 57	G4711	Comercio al por menor en establecimientos no especializados con surtido compuesto principalmente por alimentos bebidas (alcohólicas y no alcohólicas) o tabaco
99604	PE	Aeropez Marino	CR 18 CL 14 SOGABASTOS	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
82879	sp	El Canasto De La Abuela	CRA 11 35 20 LOCAL 3	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
83128	Sp	Minimarket La 43	KR 11 43 12	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados



83658	Sp	Supermercado Barak	CL 17 9 B 02	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
83683	Sp	Supermercado Los Ayuelos	CL 57 11 A 61	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
85519	Sp	Merka Abastos El Ahorro	CL 14 19 12 LC 01	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
93760	Sp	Supermercado Julisebas	CL 36 10 B BIS 51	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
94093	Sp	Rojas Diaz Yuly Viviana	CR 20 7 10 LC 2	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
98255	PC	Zabdi Carnes Finas	CL 2 B 2 09	G4723	Comercio al por menor de carnes (incluye aves de corral) productos cárnicos pescados y productos de mar en establecimientos especializados
98566	Sp	Supermercado La Imperial	CR 23 2 B 07	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados
98655	Sp	Autoservicio Guadalupe Jf	CR 10 2 20 BRR CATALUÑA	G4721	Comercio al por menor de productos agrícolas para el consumo en establecimientos especializados



17.2. Anexo 2 Encuestas realizadas

