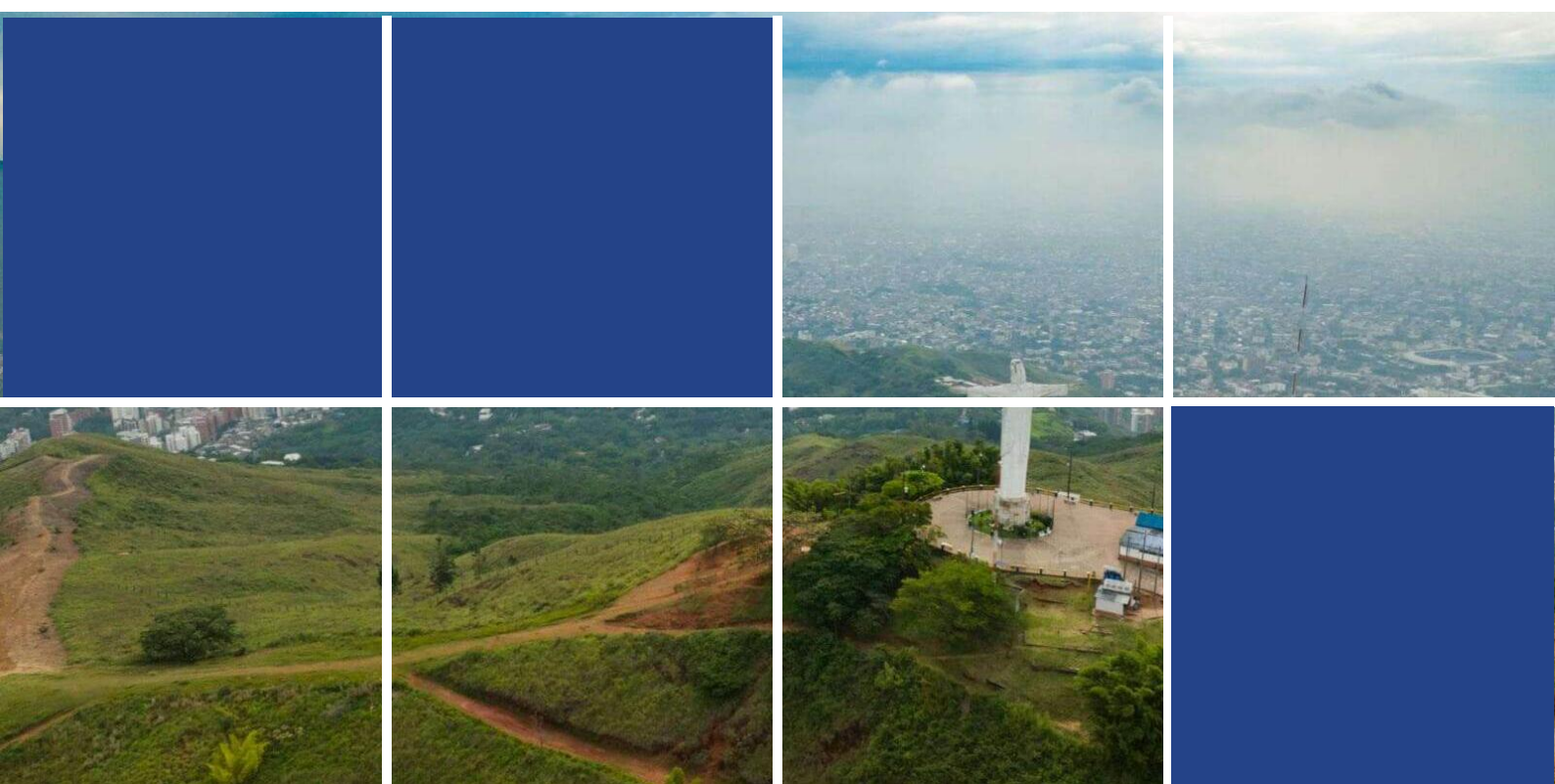


Elaboración de estudios de dimensionamiento y proyección sobre el uso de energías renovables y circularidad en el Valle del Cauca

Informe final de resultados del producto 2.4 – Determinación de la factibilidad preliminar de una planta de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición en el Valle del Cauca



Elaborado para:



Consultoría:

Elaboración de estudios de dimensionamiento y proyección sobre el uso de energías renovables y circularidad en el Valle del Cauca

Cliente:

Invest Pacific

Dirección: Cl. 3 #9-08, Cali, Valle del Cauca

Teléfono: +57 602 893 7882

www.investpacific.org

Elaborado por:

DEUMAN

Dirección: Av. Príncipe de Gales 5921 Of. 1310, La Reina, Santiago, Chile

Teléfono: +56 2 32247478

www.deuman.com

Dato de contacto:

Luis Costa

lcosta@deuman.com

Daniel Contreras

dcontreras@deuman.com

Mariana Ruiz Fajardo

mrui@deuman.com

Lugar y fecha de presentación:

Bogotá, 16 de julio de 2026

Índice

Índice.....	2
Índice de tablas	4
Índice de figuras	5
Siglas y acrónimos	6
Introducción	7
1. Marco conceptual.....	8
2. Marco normativo y señales de política pública	12
3. Metodología	14
3.1. Identificación de flujos de RCD	14
3.2. Desarrollo de un modelo de operación para la planta de aprovechamiento.....	14
3.3. Dimensionamiento de las instalaciones proyectadas	15
3.4. Estimación de capital de inversión y operación	15
4. Identificación de flujos de RCD	17
4.1. Generación de RCD	17
4.2. Disposición de RCD	22
4.3. Aprovechamiento de RCD.....	24
5. Experiencias nacionales e internacionales de plantas de aprovechamiento de RCD.....	30
6. Modelo de operación de una planta de aprovechamiento de RCD	37
6.1. Flujograma de procesos.....	37
6.2. Productos y subproductos	40
6.3. Infraestructura y dimensionamiento industrial	43
6.4. Análisis financiero y de capital humano	44
6.4.1. Inversión inicial (CAPEX)	44
6.4.2. Costos de operación (OPEX)	46
6.4.3. Estructura de capital humano.....	48
7. Adaptación al contexto departamental.....	53
7.1. Condiciones logísticas y territoriales	53
7.2. Adaptación tecnológica de la planta.....	56
7.2.1. Disponibilidad y potencial de aprovechamiento de RCD en el Valle del Cauca	56
7.2.2. Definición de capacidad y escala de la planta de RCD en el Valle del Cauca.....	57
7.2.3. Capacidad de acopio y transferencia	58
7.2.4. Costos de inversión y operación de la planta de RCD propuesta.....	59
7.2.5. Mercado potencial de los productos y subproductos de la planta de RCD	61
7.3. Consideraciones para la implementación	64

7.4. Impacto en emisiones de GEI	66
8. Conclusiones	67
9. Recomendaciones	71
Anexos.....	73
Anexo 1	73
Anexo 2	75
Anexo 3	75
Anexo 4	76
Referencias bibliográficas.....	77

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación de los componentes de RCD	9
Tabla 2. Generación acumulada de RCD por municipio del Valle del Cauca (2016-2020)	19
Tabla 3. Metas de aprovechamiento de RCD a nivel nacional	25
Tabla 4. Categorización de los distritos y municipios	26
Tabla 5. Generación y aprovechamiento de RCD en una empresa constructora en el 2025	27
Tabla 6. Listado de gestores de RCD inscritos en CVC 2025	28
Tabla 7. Benchmarking de plantas de aprovechamiento de RCD	31
Tabla 8. Características técnicas de los productos de RCD pétreos	41
Tabla 9. Componentes del CAPEX para plantas de RCD	44
Tabla 10. Estimación referencial de CAPEX para una planta de RCD	45
Tabla 11. Componentes del OPEX para plantas de RCD	46
Tabla 12. Estimación referencial de OPEX para una planta de 50-100 ton/día de RCD	47
Tabla 13. Matriz de roles, responsabilidades y funciones por áreas operativas y administrativas	49
Tabla 14. CAPEX de una planta de aprovechamiento de RCD de 250 toneladas por día	60
Tabla 15. OPEX de una planta de aprovechamiento de RCD de 250 toneladas por día	61
Tabla 16. Estimación consolidada de ingresos para la planta de 250 t/día	63
Tabla 17. Localización y áreas compatibles para planta de aprovechamiento de RCD en Cali	73
Tabla 18. Variación de precios según los usos y la ubicación de los predios.....	75
Tabla 19. Estimación referencial del costo de la mano de obra para una planta de 250 ton/día de RCD.....	75

Índice de figuras

Figura 1. Composición de los RCD (% en peso)	9
Figura 2. Composición de RCD por actividades	11
Figura 3. Pasos metodológicos de la Fase 4	14
Figura 4. Generación de RCD por establecimientos industriales en Colombia (2020-2023).....	17
Figura 5. Generación anual de RCD en Santiago de Cali en toneladas (2005-2012).....	18
Figura 6. Generación de RCD en el Valle del Cauca (2005-2022).....	21
Figura 7. Disposición de RCD por establecimientos industriales en Colombia (2020-2023).....	22
Figura 8. Top 10 de municipios con mayor volumen acumulado de disposición de RCD en el Valle del Cauca (2016-2020)	24
Figura 9. Comparativa entre generación, disposición y volumen de aprovechamiento estimado de RCD (2016 – 2020)	25
Figura 10. Flujograma general del proceso de aprovechamiento de RCD en plantas de reciclaje.....	37
Figura 11. Estructura orgánica funcional tipo para una planta de aprovechamiento de RCD	48
Figura 12. Condiciones logísticas y de terreno para la planta de aprovechamiento de RCD	53
Figura 13. Predios con uso de suelo compatible para planta de aprovechamiento de RCD en Cali	55
Figura 14. Barreras y oportunidades para la implementación de la planta de RCD	64

Siglas y acrónimos

RCD	Residuos de construcción y demolición
CAMACOL	Cámara Colombiana de la Construcción
CAPEX	Capital Expenditure (Gastos de capital)
CVC	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
MIO	Masivo Integrado de Occidente
OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
OPEX	Operating Expenses (Gastos operativos)
PET	Tereftalato de polietileno
PGIRS	Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos
PNGIRS	Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos
POT	Planes de Ordenamiento Territorial
PVC	Policloruro de vinilo
REP	Responsabilidad extendida del productor
UAESP	Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos
GRECO	Granulados Reciclados de Colombia

Introducción

La gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) representa uno de los principales retos ambientales y operativos en el sector de la construcción, debido a los altos volúmenes generados y a las limitadas tasas de aprovechamiento registradas en el país. En Colombia, la magnitud de esta problemática es significativa, según el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, para el año 2022 se registró una generación total aproximada de 29 millones toneladas de RCD a nivel nacional [1].

A nivel regional, el Valle del Cauca concentra una fracción importante de esta generación. De acuerdo con estimaciones del Grupo de Materiales Compuestos de la Universidad del Valle, en 2022 se generaron aproximadamente 2,5 millones toneladas anuales de RCD en el departamento [2]. Este volumen representa una presión considerable sobre los sistemas de disposición final y evidencia la necesidad de implementar estrategias que permitan su adecuada gestión y aprovechamiento.

En respuesta a esta problemática, el marco normativo colombiano ha establecido lineamientos orientados a incrementar el aprovechamiento de estos residuos. En particular, la Resolución 1257 de 2021 establece metas progresivas de aprovechamiento para grandes generadores, con objetivos que oscilan entre el 15% y el 75% en peso para el período comprendido entre 2023 y 2030, dependiendo de la categoría del municipio [3]. A nivel local, el municipio de Santiago de Cali ha adoptado instrumentos complementarios como el Decreto 0771 de 2018, el cual regula la gestión integral de los residuos de construcción y demolición, definiendo responsabilidades para los generadores, transportadores y gestores, así como lineamientos para su aprovechamiento y disposición final.

No obstante, a pesar de estas exigencias regulatorias y del volumen significativo de residuos generados, la disponibilidad de infraestructura para el tratamiento y valorización de RCD en el Valle del Cauca sigue siendo limitada. Esta brecha entre la generación, las metas normativas y la capacidad instalada conlleva a la necesidad de evaluar alternativas viables que permitan cerrar este desfase.

En este contexto, el presente informe tiene como objetivo determinar la factibilidad preliminar para la implementación de una planta de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición en el Valle del Cauca, evaluando las condiciones técnicas, operativas y económicas necesarias para su desarrollo.

Metodológicamente, el análisis considera, en una primera etapa, la caracterización de los flujos de RCD generados en el Valle del Cauca. Posteriormente, se realiza un benchmarking de experiencias relevantes a nivel nacional e internacional, con el fin de identificar modelos de operación, procesos tecnológicos, productos obtenidos y requerimientos de infraestructura. Asimismo, se incluye una estimación preliminar de inversión (CAPEX), costos operativos (OPEX) y necesidades de capital humano.

A partir de estos elementos, se desarrolla una aproximación técnica y económica adaptada al contexto departamental, incorporando variables como la disponibilidad de residuos, condiciones logísticas y condiciones para su implementación.

1. Marco conceptual

Este apartado presenta los conceptos fundamentales relacionados con la gestión y el aprovechamiento de los residuos de construcción y demolición (RCD). Su objetivo es establecer un marco de referencia claro que facilite la comprensión de los elementos técnicos, ambientales y económicos asociados a este tipo de residuos, así como de los factores que influyen en su valorización.

Los residuos de Construcción y Demolición (RCD) son aquellos residuos sólidos provenientes de actividades de excavación, construcción, demolición, reparaciones o mejoras locativas de obras civiles. Desde una perspectiva técnica, los RCD se clasifican en dos grandes categorías: residuos susceptibles de aprovechamiento y residuos no susceptibles de aprovechamiento [4].

Los **RCD susceptibles de aprovechamiento** incluyen:

- Productos de excavación y sobrantes de la adecuación de terreno, tales como coberturas vegetales, tierras, limos y materiales pétreos.
- Materiales provenientes de cimentaciones, pilotajes, bentonitas y actividades asociadas.
- Materiales pétreos, entre los que se encuentran el hormigón, arenas, gravas, gravillas, cantos, materiales asfálticos, fragmentos de ladrillos y bloques, cerámicos y sobrantes de mezclas de cemento y concreto hidráulico.
- Materiales no pétreos como vidrio, metales (acero, hierro, cobre, aluminio), plásticos (PVC, polietileno, policarbonato, acrílico), espumas de poliestireno y poliuretano, gomas y cauchos, compuestos de madera y cartón-yeso (drywall), entre otros.

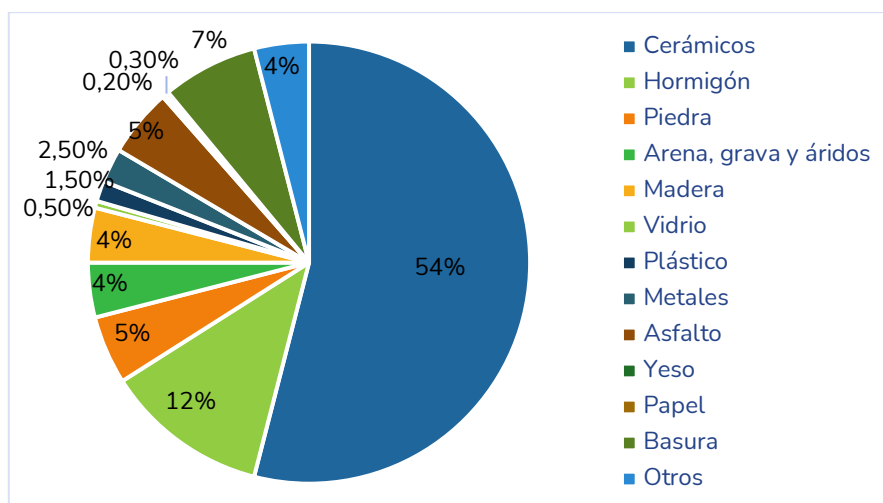
Por su parte, los **RCD no susceptibles de aprovechamiento** corresponden a:

- Aquellos contaminados con residuos peligrosos.
- Aquellos que, por su estado físico o nivel de deterioro, no pueden ser aprovechados.
- Aquellos que presentan características de peligrosidad, los cuales deben gestionarse conforme a la normativa ambiental específica vigente.

Si bien esta clasificación permite identificar el potencial general de aprovechamiento de los RCD, su valorización depende en gran medida de la composición de los residuos generados.

La composición de los residuos determina directamente las tasas de aprovechamiento reales y condiciona el modelo de operación de los procesos de valorización. Según lo reportado por Univalle y CVC [5] (Ver Figura 1), la composición típica de los RCD en peso está dominada por la fracción cerámica (54%), seguida por el hormigón (12%) y la piedra (5%), siendo los materiales pétreos en conjunto los que representan la mayor parte del flujo procesable.

Figura 1. Composición de los RCD (% en peso)



Fuente: Universidad del Valle & CVC [5]

Con base en las características técnicas de cada fracción, la Tabla 1 presenta una clasificación de los componentes típicos de los RCD según su potencial de aprovechamiento en una planta de reciclaje, diferenciando entre materiales aprovechables directamente en planta, materiales que requieren gestión especializada para ser aprovechados y materiales no aprovechables.

Tabla 1. Clasificación de los componentes de RCD

Fracción / material	% en peso	Clasificación	Justificación técnica	Proceso / destino
Cerámicos (ladrillos, tejas, baldosas)	54%	Aprovechable	Alta resistencia a la fragmentación; genera áridos reciclados de buena calidad granulométrica tras trituración y cribado.	Trituración + cribado → áridos reciclados pétreos (bases y subbases viales, rellenos estructurales).
Hormigón	12%	Aprovechable	Material pétreo homogéneo; principal insumo para producción de áridos gruesos y finos reciclados de aplicación constructiva.	Trituración de mandíbula e impacto → árido grueso y fino reciclado; separación magnética del acero embebido.
Asfalto	5%	Aprovechable	Material de recuperación directa para bases viales; su reciclaje en frío o en caliente es una práctica establecida en el sector.	Trituración → material granular reciclado para bases viales o mezcla asfáltica reciclada.
Piedra	5%	Aprovechable	Fracción pétreo natural de alta calidad; puede reutilizarse con mínimo procesamiento en rellenos y obras civiles.	Clasificación granulométrica → áridos naturales reciclados; reutilización directa en obra.
Arena, grava y áridos	4%	Aprovechable	Fracción fina ya clasificada en origen; puede reintegrarse con mínima intervención mecánica.	Cribado y clasificación → reutilización directa como material de relleno o nivelación.
Metales (ferrosos y no ferrosos)	2,5%	Gestión especializada	Alta demanda en el mercado secundario; la separación magnética recupera acero y hierro de forma eficiente dentro de la línea de proceso.	Separación magnética en línea → venta a gestores de reciclaje de metales.

Madera	4%	Gestión especializada	En buen estado puede destinarse a reciclaje; si está contaminada o degradada, su valorización energética (biomasa/pellets) evita su disposición final.	Separación manual en cinta → gestor de reciclaje de madera o valorización energética.
Papel y cartón	0,3%	Gestión especializada	Material reciclable con mercado secundario consolidado; su separación en planta no requiere equipamiento especializado.	Separación manual en cinta → gestor de reciclaje de papel y cartón.
Yeso	0,2%	Gestión especializada	Incompatible con áridos pétreos reciclados; su mezcla eleva el contenido de sulfatos y degrada la calidad del producto final. Requiere acopio separado y remisión a plantas especializadas en reciclaje de yeso.	Acopio diferenciado en planta → gestor autorizado para reciclaje de sulfato de calcio.
Vidrio (incluido laminado)	0,5%	Gestión especializada	El vidrio convencional puede reciclarse, pero el vidrio laminado (DVH, PVB) presenta capas de polímero que dificultan su separación y contaminan otras fracciones. Requiere clasificación visual y remisión a gestor especializado.	Separación manual → gestor autorizado de reciclaje de vidrio; vidrio laminado: disposición diferenciada.
Plásticos (incluido PVC / tuberías)	1,5%	Gestión especializada	Los plásticos de construcción son heterogéneos (PVC, PE, PP). El PVC, presente en tuberías y perfiles, no es compatible con otros polímeros. Requiere clasificación por tipo de polímero.	Separación manual por tipo → gestor autorizado de reciclaje de plásticos; PVC a corriente diferenciada.
Basura (residuos domésticos mezclados)	7%	No aprovechable	Fracción contaminante que reduce la calidad de los áridos reciclados y puede obstruir equipos. Su presencia refleja una disposición informal o sin segregación en origen.	Separación manual en triaje primario → disposición final en instalación autorizada.
Otros (materiales mixtos contaminados)	4%	No aprovechable	Fracción residual de composición indeterminada, puede incluir materiales contaminados con sustancias peligrosas (pinturas, solventes, adhesivos), incompatibles con los procesos mecánicos de la planta.	Triaje de rechazo → disposición final o tratamiento especializado según caracterización.

Fuente: Elaboración propia en base a [5]

En el contexto normativo colombiano, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), a través de la Resolución No. 0472 de febrero de 2017 (modificada por la R. 1257 de 2021), establece los lineamientos para la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición (RCD). Bajo esta normativa, los generadores de RCD son personas naturales o jurídicas que, con ocasión de la realización de actividades de construcción, demolición, reparación o mejoras locativas, generan RCD [6]. Los tipos de generadores son los siguientes:

- **Gran generador de RCD:** requiere la expedición de licencia de construcción en cualquiera de sus modalidades y/o licencia de intervención y ocupación del espacio público. La obra debe tener un área construida igual o superior a 2.000 m².
- **Pequeño generador RCD:** requiere o no de la expedición de licencia de construcción en cualquiera de sus modalidades y/o licencia de intervención de ocupación del espacio público. La obra debe tener un área construida inferior a 2.000 m².

Más allá de la clasificación normativa, el análisis de los flujos en el departamento revela una distribución marcada por la naturaleza del proyecto. Tomando como referencia la dinámica de la capital del Valle del Cauca, en la ciudad de Cali se estima que el 76,6% del volumen total es aportado por constructoras y obras públicas bajo el esquema de “generación formal”, destacándose el impacto de los programas de vivienda VIS. El 23,4% restante proviene de construcciones y remodelaciones particulares dentro del “sector informal” [7]. Esta proporción es

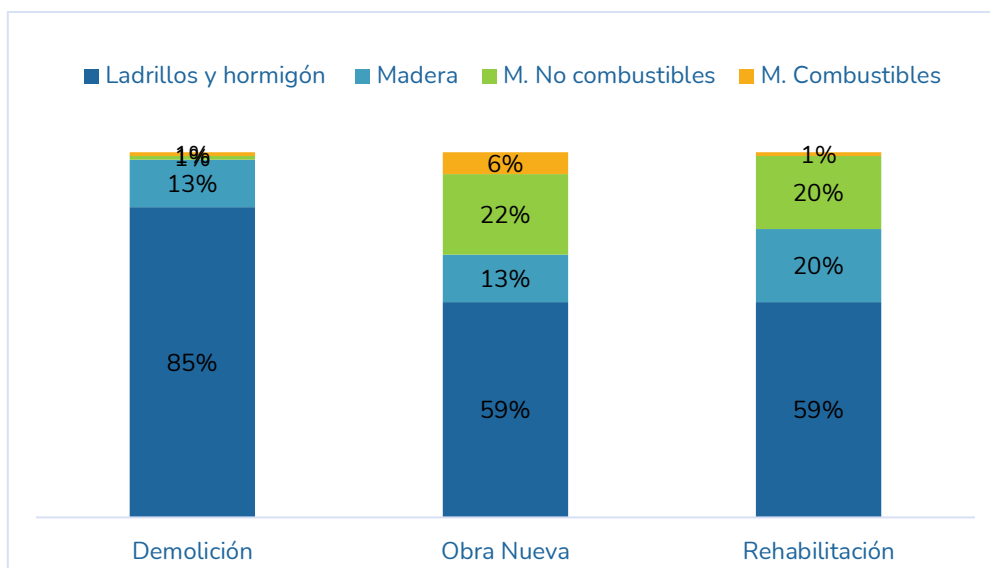
estratégica para la planta, ya que confirma que más de tres cuartas partes del residuo disponible proceden de fuentes organizacionales con flujos constantes y materiales más homogéneos para el aprovechamiento.

No obstante, esta homogeneidad no puede asumirse de manera uniforme para todos los flujos de entrada, pues la composición de los RCD varía significativamente según la tipología de la obra generadora. Como se ilustra en la Figura 2, los residuos de demolición presentan la mayor concentración de materiales pétreos, ladrillos y hormigón representan el 85% del flujo, lo que los convierte en la fracción de mayor rendimiento para la producción de áridos reciclados, aunque con un mayor contenido de contaminantes embebidos (acero, morteros, recubrimientos) que demandan etapas de pretratamiento más exigentes.

En contraste, los RCD de obra nueva y rehabilitación, si bien presentan una proporción menor de materiales pétreos (59% en ambos casos), incorporan fracciones más diversas: los sobrantes de obra nueva son materiales más limpios y homogéneos, con menor grado de contaminación cruzada, pero incluyen un mayor volumen de materiales no combustibles como envases, embalajes y escombros finos (22%), que elevan los costos de clasificación. Por su parte, los RCD de rehabilitación concentran una proporción considerable de madera (20%) y materiales no combustibles (20%), lo que implica mayores requerimientos de separación manual y gestión diferenciada de estas fracciones.

Esta distinción tiene implicaciones directas para el diseño del proceso de la planta, donde un flujo dominado por demoliciones permite una mayor eficiencia en la línea de trituración y cribado, pero exige controles más rigurosos de calidad del árido producido; mientras que un flujo mixto con alta participación de obra nueva y rehabilitación requiere mayor capacidad en la etapa de cribado primario y en la gestión de fracciones secundarias.

Figura 2. Composición de RCD por actividades



Fuente: Universidad del Valle & CVC [5]

2. Marco normativo y señales de política pública

En Colombia, la gestión de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) se encuentra regulada por la Resolución 0472 de 2017, emitida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Esta norma establece un marco claro para la gestión integral de los RCD, desde su generación hasta su disposición final, con un enfoque prioritario en el aprovechamiento y la clasificación adecuada en la fuente. En un contexto donde el sector de la construcción es uno de los mayores generadores de residuos, esta regulación busca mitigar el impacto ambiental asociado, promoviendo la adopción de prácticas responsables que no solo benefician al medio ambiente, sino que también permitan aprovechar los materiales reutilizables, reduciendo costos y abriendo nuevas oportunidades de negocio para los inversionistas que apuesten por el reciclaje y la reutilización de estos materiales [8].

Además, la Resolución 1257 de 2021 refuerza la regulación establecida en 2017, ajustando ciertos aspectos operativos y ampliando las obligaciones para los actores clave del sector, tanto generadores de RCD como gestores de residuos. Esta resolución pone énfasis en la necesidad de establecer programas de gestión eficientes, aumentando los requisitos de trazabilidad y el aprovechamiento de los residuos en cada etapa del proceso [3]. Para los inversionistas, esta es una oportunidad para diversificar su portafolio de inversiones, especialmente en tecnologías y soluciones que faciliten el reciclaje y la reutilización de materiales provenientes de la construcción. La creciente demanda de soluciones sostenibles ofrece un mercado en expansión, respaldado por una regulación que obliga al sector a alinearse con prácticas más responsables y eficientes.

A nivel regional, las corporaciones autónomas regionales (CAR), como la CVC en el Valle del Cauca, supervisan la implementación de estas normativas, asegurando el cumplimiento de las regulaciones ambientales a nivel local. En ciudades como Santiago de Cali, las autoridades han integrado la gestión de RCD dentro de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS), creando un entorno favorable para el desarrollo de iniciativas de reciclaje y valorización de residuos. Adicionalmente, el municipio cuenta con instrumentos regulatorios específicos como el Decreto 0771 de 2018, el cual establece lineamientos para la gestión integral de los RCD, definiendo responsabilidades para generadores, transportadores y gestores, así como obligaciones en materia de aprovechamiento, disposición y trazabilidad. Este marco ha sido complementado mediante actualizaciones recientes que fortalecen los mecanismos de control y seguimiento, en línea con las metas nacionales de aprovechamiento [9]. Este enfoque territorial no solo refuerza la necesidad de adaptar las operaciones a las exigencias locales, sino que también presenta oportunidades de negocio en la construcción de infraestructura verde y soluciones de reciclaje [10].

En el ámbito distrital, el Concejo de Santiago de Cali aprobó el Acuerdo 0574 de 2023, mediante el cual se adopta el Manual de Construcción Sostenible del Distrito Especial de Cali, desarrollado por el Departamento Administrativo de Planeación Municipal en colaboración con la Universidad Javeriana de Cali [11]. Este instrumento establece un sistema de puntaje que permite a los constructores acceder a sellos de calidad; Oro, Plata y Bronce; durante la construcción, los cuales otorgan incentivos como reducciones en impuestos prediales, en el impuesto de delineación urbana, o mayores niveles de edificabilidad en sus proyectos. El Manual busca mejorar los indicadores de sostenibilidad urbana, promoviendo edificaciones y desarrollos urbanos que generen menor impacto ambiental, reduzcan consumos de agua y energía y contribuyan al cumplimiento de metas locales y globales frente al cambio climático y la resiliencia urbana.

Para el proyecto de planta de aprovechamiento de RCD, este instrumento representa una oportunidad estratégica de mercado en la medida en que el Manual incorpore criterios de gestión adecuada de residuos en obra y uso de materiales reciclados como variables de puntuación, los constructores que operen en Cali tendrán un incentivo económico directo para utilizar áridos reciclados producidos por la planta, en lugar de materiales vírgenes.

Un referente relevante a nivel nacional es el caso de Bogotá, donde la Resolución 1115 de 2012 establece la obligación de incorporar porcentajes mínimos de materiales reciclados provenientes de residuos de construcción

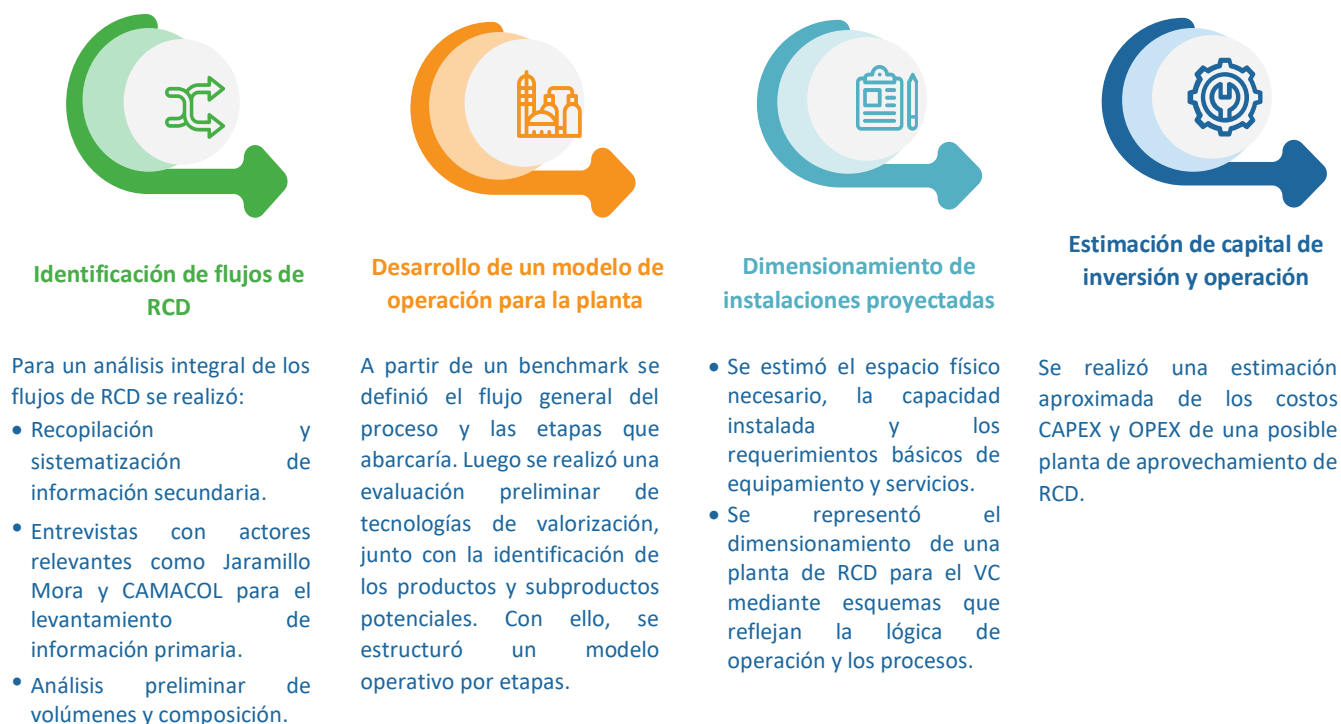
y demolición en proyectos de obra pública. Este instrumento ha permitido dinamizar la demanda de áridos reciclados, al pasar de un enfoque voluntario a uno de cumplimiento obligatorio para los contratistas del Distrito [12]. La experiencia de Bogotá evidencia cómo los instrumentos regulatorios pueden desempeñar un papel determinante en la consolidación de mercados para materiales reciclados. En este sentido, la adopción de medidas similares en el Valle del Cauca, ya sea a través de incentivos o de obligaciones graduales de uso, podría fortalecer significativamente la viabilidad de proyectos de aprovechamiento de RCD, al garantizar una demanda estable para los productos generados.

En este panorama, Colombia se posiciona como un mercado creciente para los inversionistas interesados en el sector de residuos. Con un marco normativo robusto que impulsa el reciclaje y la reutilización de materiales de construcción, se abren oportunidades para invertir en tecnología, procesos innovadores y proyectos que contribuyan a la sostenibilidad y la rentabilidad. La regulación, que promueve la reducción de residuos y el aprovechamiento de materiales, no solo busca mitigar el impacto ambiental, sino también generar valor económico a través de la eficiencia y la innovación en la gestión de los residuos de la construcción.

3. Metodología

Para evaluar la factibilidad preliminar de implementación de una planta de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) en el Valle del Cauca se consideraron los siguientes pasos:

Figura 3. Pasos metodológicos de la Fase 4



Fuente: Elaboración propia

3.1. Identificación de flujos de RCD

Esta etapa metodológica tuvo como objetivo establecer la línea base cuantitativa y cualitativa de los RCD en el Valle del Cauca. Para un análisis integral de los flujos de RCD, se llevó a cabo un proceso de recolección y sistematización de información secundaria, consultando bases de datos de fuentes oficiales como el DANE, el Ministerio de Ambiente y autoridades ambientales regionales, además de la revisión de papers, artículos científicos relacionados con el sector construcción y sus residuos. Esta búsqueda se centró en obtener cifras históricas y actualizadas sobre la generación y disposición final en el Valle del Cauca, permitiendo mapear la trayectoria del residuo desde su origen hasta su disposición.

Complementariamente, se llevó a cabo un levantamiento de información primaria mediante entrevistas semiestructuradas con actores clave de la cadena de valor del sector, tales como Jaramillo Mora y CAMACOL. Estas interacciones permitieron validar los datos teóricos con la realidad operativa del sector constructor e identificar información no considerada en un primer momento. Finalmente, se realizó una estimación aproximada de los volúmenes de generación y disposición de RCD en el Valle del Cauca.

3.2. Desarrollo de un modelo de operación para la planta de aprovechamiento

Esta etapa es considerada como uno de los principales inputs para plantear un modelo preliminar de operación de una futura planta de aprovechamiento a instalarse en el Valle del Cauca. La metodología parte de la definición del flujo general del proceso, donde mediante el desarrollo de un benchmarking de experiencias nacionales e internacional, fueron establecidas las secuencias lógicas de recepción, clasificación, separación, pretratamiento y procesamiento.

Posteriormente, se llevó a cabo una evaluación de tecnologías de valorización, seleccionadas bajo criterios de eficiencia operativa, costos y compatibilidad con la composición de los RCD locales. Este análisis permitió análisis identificar las mejores prácticas aplicables al contexto de valorización del Valle del Cauca.

Finalmente, se determinó el portafolio de productos y subproductos potenciales del proceso de valorización, evaluando además su capacidad de reintegración en las cadenas productivas del territorio.

3.3. Dimensionamiento de las instalaciones proyectadas

En esta fase se desarrolló el dimensionamiento técnico preliminar y a nivel de perfil de la infraestructura requerida para la habilitación de una eventual planta de aprovechamiento de RCD en el departamento. Este ejercicio no corresponde a un diseño de ingeniería detallado, sino a una aproximación conceptual basada en la caracterización de los flujos de residuos identificados previamente.

El proceso partió del análisis de los volúmenes y características de los flujos de RCD identificados previamente, lo cual permitió proyectar la capacidad instalada necesaria y los requerimientos básicos de equipamiento para garantizar una operación eficiente y segura. Para ello, se revisó literatura técnica, estudios de referencia y experiencias comparables a nivel nacional e internacional, con el fin de identificar capacidades promedio de plantas de aprovechamiento que resulten coherentes con el orden de magnitud de residuos disponibles en el territorio.

La metodología consistió en la identificación y delimitación de las áreas funcionales principales, organizadas bajo una lógica de flujo continuo:

- **Zonas operativas:** Áreas de recepción, pesaje, almacenamiento de materia prima, clasificación, tratamiento (trituration y tamizado) y despacho de productos terminados.
- **Zonas de apoyo:** Espacios destinados a oficinas administrativas, talleres de mantenimiento, áreas de servicios auxiliares y seguridad industrial.

Los resultados de esta etapa deben ser considerados como un insumo para el desarrollo de posteriores análisis de factibilidad de implementación de plantas de aprovechamiento de RCD en el Valle del Cauca, que evalúen con mayor detalle requerimientos de habilitación del terreno, compatibilidades y limitaciones con respecto al uso del suelo conforme a lo establecido por instrumentos locales de ordenamiento territorial (POT, PBOT y/o EOT, según aplique) y otras disposiciones establecidas para la instalación de este tipo de proyectos que puedan dictar las diferentes autoridades locales del departamento.

3.4. Estimación de capital de inversión y operación

En esta etapa se realizó una estimación preliminar de los requerimientos de inversión (CAPEX) y de los costos de operación (OPEX) asociados a una planta de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) coherente con los volúmenes departamentales previamente estimados.

Esta estimación no corresponde a un presupuesto de ingeniería de detalle, sino a un ejercicio referencial de orden de magnitud, construido a partir de la capacidad potencial de tratamiento definida en la sección anterior y contrastada con información secundaria proveniente de estudios técnicos, experiencias comparables y referencias de mercado para plantas de características similares.

La aproximación permitió dimensionar financieramente una planta tipo que pueda atender el flujo proyectado de RCD en el Valle del Cauca, considerando los principales componentes de inversión y operación asociados a este tipo de infraestructura.

En términos de inversión inicial (CAPEX), se consideraron de manera agregada los siguientes rubros:

- Adecuación y preparación de terrenos.
- Obras civiles e infraestructura básica.

- Adquisición e instalación de maquinaria y equipos especializados (trituración, clasificación y tamizado).
- Sistemas auxiliares y equipamiento complementario.

En cuanto a los costos operativos (OPEX), se incluyeron estimaciones asociadas a:

- Personal operativo y administrativo.
- Mantenimiento preventivo y correctivo de equipos.
- Consumo energético y servicios auxiliares.
- Costos de gestión y operación continua de la planta.

El resultado de este ejercicio proporciona una referencia financiera preliminar que permite evaluar la escala económica del proyecto y su coherencia con los volúmenes de residuos disponibles en el departamento, constituyendo un insumo para análisis posteriores de prefactibilidad y estructuración.

4. Identificación de flujos de RCD

La determinación de la factibilidad de una planta de aprovechamiento requiere, como paso inicial, el mapeo detallado de los flujos de materiales. En el contexto del Valle del Cauca, este análisis permite dimensionar la infraestructura necesaria y prever la logística de captación. La gestión de estos flujos se fundamenta en la cuantificación de la generación y la trazabilidad hacia los sitios de disposición.

4.1. Generación de RCD

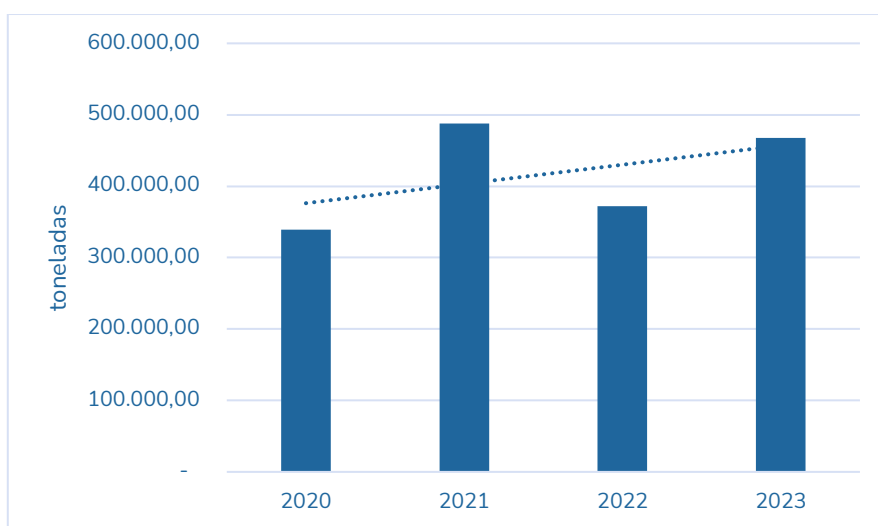
En este apartado se analizan las fuentes de origen y el volumen estimado de residuos para dimensionar la capacidad operativa de la planta. A continuación, se presenta un análisis de la generación de estos RCD a nivel nacional y departamental.

A. Contexto Nacional

La generación de residuos de construcción y demolición en Colombia presenta cifras significativas que varían según la fuente y el alcance del reporte, lo que refleja la complejidad de su monitoreo. Según datos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, para el año 2022 se registró una generación total de 29.208.223,25 toneladas a nivel país [1]. No obstante, diversas agremiaciones y estudios técnicos ofrecen estimaciones que oscilan entre los 18 millones de toneladas anuales, según la Cámara Colombiana de la Construcción (Camacol) [13], y los 22 millones de toneladas reportadas en otros estudios [14]. Esta variabilidad de datos subraya la masiva escala de residuos que el país produce anualmente y la urgente necesidad de infraestructura para su valorización.

Dentro de este universo, es importante diferenciar la procedencia de los residuos para identificar los nichos de captación. Al analizar la generación de RCD por establecimientos industriales mediante los datos de la Encuesta Ambiental Industrial del DANE (ver Figura 4), se observa que este sector aporta una fracción minoritaria al consolidado nacional. Al observar el comportamiento histórico de la industria entre 2020 y 2023, se identifica que la generación se ha mantenido en un rango estable entre las 300.000 y 500.000 toneladas anuales. El pico más alto de este periodo se presentó en el año 2021, con una generación de 487.676 toneladas.

Figura 4. Generación de RCD por establecimientos industriales en Colombia (2020-2023)



Fuente: Elaboración propia en base a información del DANE [14], [15], [15], [15]

Sin embargo, al contrastar la cifra específica de la industria para el año 2022 (372.139 ton) con el total nacional reportado por el Ministerio para el mismo periodo (29.208.223,25 ton), se evidencia que la industria manufacturera representa apenas el 1,27% de la generación total de RCD en Colombia.

Este análisis confirma que, si bien la industria genera un flujo de residuos homogéneo y aprovechable, el volumen crítico que justifica la implementación de plantas de tratamiento a gran escala de RCD reside en las actividades de edificación y obras civiles, las cuales constituyen más del 98% de la masa total de RCD generados en el país.

B. Contexto departamental

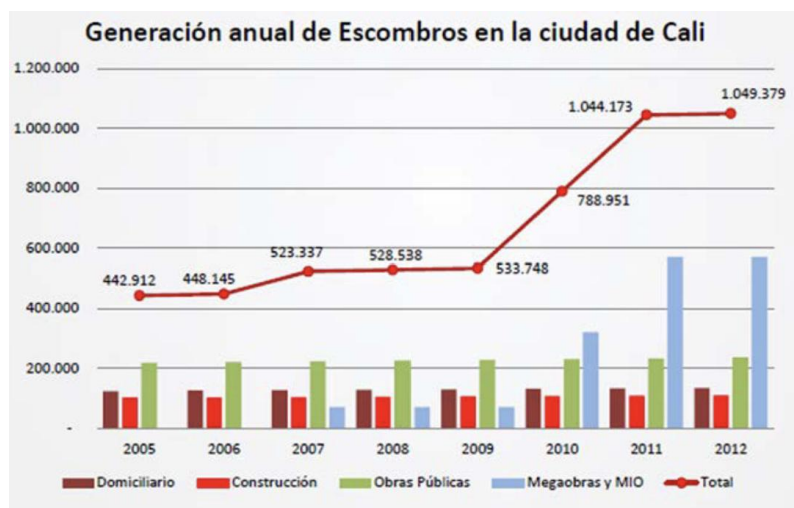
La caracterización de la generación de RCD en el departamento se fundamenta en una transición de datos históricos hacia proyecciones técnicas actuales, permitiendo entender la evolución del mercado de residuos.

• Análisis histórico de la generación en Cali

Al analizar la serie histórica de la ciudad de Cali entre 2005 y 2012, se observa una progresión ascendente marcada por hitos en la infraestructura pública (Ver Figura 5). Durante este periodo, la producción de residuos pasó de 442.912 toneladas en 2005 a un pico de 1.049.379 toneladas en 2012.

Este incremento significativo, que se hizo más evidente a partir del año 2009 (533.748 t), se atribuye directamente a la ejecución de proyectos urbanísticos de gran envergadura, tales como las 21 Megaobras y la construcción del Sistema Masivo Integrado de Occidente (MIO). La Figura 5 permite identificar que, si bien la generación domiciliaria y de construcción privada se mantuvo estable, fueron las obras públicas y los proyectos de transporte masivo los que dispararon el volumen anual, estabilizándose por encima del millón de toneladas hacia el 2012.

Figura 5. Generación anual de RCD en Santiago de Cali en toneladas (2005-2012)



Fuente: [7]

• Línea base histórica y su evolución

Como se analizó anteriormente, Cali pasó de generar 442.912 toneladas en 2005 a más de un millón en 2012. Para el seguimiento de la evolución de los datos de generación de RCD en el departamento, se analizaron los resultados del estudio "Residuos Sólidos y Economía Circular en el Valle del Cauca", desarrollado por la Universidad del Valle y la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) [5].

Este estudio procesó información del Registro Único Ambiental (RUA), permitiendo identificar la generación proveniente del sector manufacturero y de gestores autorizados. Debido a que estos registros consolidan los Residuos Sólidos Industriales No Peligrosos (RSINP) junto con los residuos de construcción y demolición (RCD), se aplicó la siguiente metodología:

1. **Aislamiento del flujo de interés:** Se partió de un perfil donde los suelos de excavación representan el 62% del total de residuo generados en obra. Al excluir este volumen se identifican los residuos

procesables en plantas de aprovechamiento, donde el 38% restante se compone de RCD pétreos (30%) y otros residuos no peligrosos (8%).

2. **Cálculo del factor RCD:** Bajo esta lógica, los RCD representan el 78,94% de ese nuevo total aprovechable. Este factor permitió limpiar las bases de datos del RUA y estimar con precisión el potencial de materiales como concreto y ladrillo.
3. **Consolidación territorial:** Los datos resultantes se agruparon por municipio para el periodo acumulado 2016-2020, permitiendo identificar los nodos geográficos donde la generación es más crítica.

Como se observa en la Tabla 2, la generación se concentra masivamente en el área metropolitana, liderada por Santiago de Cali y seguida por nodos industriales como Yumbo, mientras que municipios como Riofrío presentan los volúmenes más bajos del registro.

Sin embargo, al analizar la distribución municipal con mayor detalle, se identificó que Palmira y Jamundí registran volúmenes de RCD significativamente bajos en relación con su actividad constructora real. Palmira es el segundo municipio más grande del departamento en población, con aproximadamente 350.000 habitantes según el Censo Nacional de Población y Vivienda 2018, y el tercero en extensión territorial [16], con una estructura económica diversificada que incluye industria, agroindustria y un dinamismo inmobiliario consolidado; el DANE la identifica como nodo de desarrollo regional dentro de la política de ordenamiento del Valle del Cauca. Por su parte, Jamundí presenta el mayor crecimiento relativo de viviendas de toda la provincia sur del Valle del Cauca entre 2005 y 2018: su stock de viviendas ocupadas creció un 86,4% y el número de hogares un 73,7% en ese período, impulsado por el desbordamiento urbano de Cali hacia su periferia sur, lo que lo convierte en uno de los municipios con mayor presión constructora del departamento. Este crecimiento está asociado a la gran cantidad de proyectos de vivienda que se han desarrollado en el municipio, en parte porque Cali ha llegado al tope de su espacio habitable para nuevas construcciones, obligando a las inmobiliarias a desplazarse hacia sus municipios aledaños [17].

Que estos dos municipios registren apenas 119.517 y 86.418 toneladas acumuladas respectivamente en el período 2016-2020, por debajo incluso de municipios de menor escala como El Cerrito o Pradera, no refleja necesariamente su generación real de RCD, sino muy probablemente un problema de captura y reporte de la información. Esto está alineado con lo que el propio estudio mencionó, que las estadísticas de generación de escombros son muy escasas y desactualizadas, y presentan discrepancias entre las diferentes fuentes consultadas.

Tabla 2. Generación acumulada de RCD por municipio del Valle del Cauca (2016-2020)

Municipio	Estimado de RCD generado (ton)	Promedio anual estimado (ton/año) ¹
CALI	2.694.265,64	538.853,13
YUMBO	1.664.095,84	332.819,17
EL CERRITO	659.199,77	131.839,95
PRADERA	602.629,20	120.525,84
GUACARI	429.979,17	85.995,83
ZARZAL	357.312,64	71.462,53
TULUA	219.973,11	43.994,62
CANDELARIA	152.909,47	30.581,89
BUGA	147.751,38	29.550,28
PALMIRA	119.516,70	23.903,34
JAMUNDI	86.418,31	17.283,66

¹ El promedio anual se calculó dividiendo el acumulado del período 2016-2020 entre los cinco años del período de reporte

CARTAGO	11.117,94	2.223,59
BUGALAGRANDE	5.851,00	1.170,20
SAN PEDRO	1.886,54	377,31
ANDALUCIA	1.033,86	206,77
LA UNION	1.023,33	204,67
FLORIDA	859,45	171,89
YOTOCO	301,18	60,24
DAGUA	158,12	31,62
CAICEDONIA	149,77	29,95
LA CUMBRE	134,07	26,81
RESTREPO	60,04	12,01
VIJES	53,41	10,68
ROLDANILLO	19,86	3,97
SEVILLA	10,87	2,17
VERSALLES	2,68	0,54
TRUJILLO	1,13	0,23
RIOFRIO	0,89	0,18
Total	7.156.715,39	1.431.343,08

Fuente: Elaboración propia en base a [5]

Esta metodología de cálculo no solo permite estimar la generación, sino que establece la base técnica para analizar la disposición final y los niveles de aprovechamiento que se presentan en los apartados siguientes, asegurando la trazabilidad de la información.

- **Realidad actual en el Valle y Cali**

Una década después, los datos confirman la consolidación de esta tendencia al alza. Según un estudio del Grupo de Materiales Compuestos de la Universidad del Valle, en el año 2022 la generación en el Valle del Cauca alcanzó aproximadamente 4.287 m³/día. Al aplicar la densidad técnica de referencia (1.648,9 kg/m³), esto equivale a una producción de 7.069 toneladas diarias o 2.580.185 toneladas anuales a nivel departamental. Dentro de este panorama, Santiago de Cali se consolida como el principal foco generador del departamento. La capital, junto con su área urbana de influencia directa, aporta un total de 1.778.742 toneladas al año, lo que significa que el 83,9% de todos los RCD producidos en el Valle del Cauca se originan en Cali y sus municipios aledaños [2]. Esta proporción territorial es un factor determinante para la factibilidad del proyecto, ya que asegura la disponibilidad de materia prima en un radio logístico reducido.

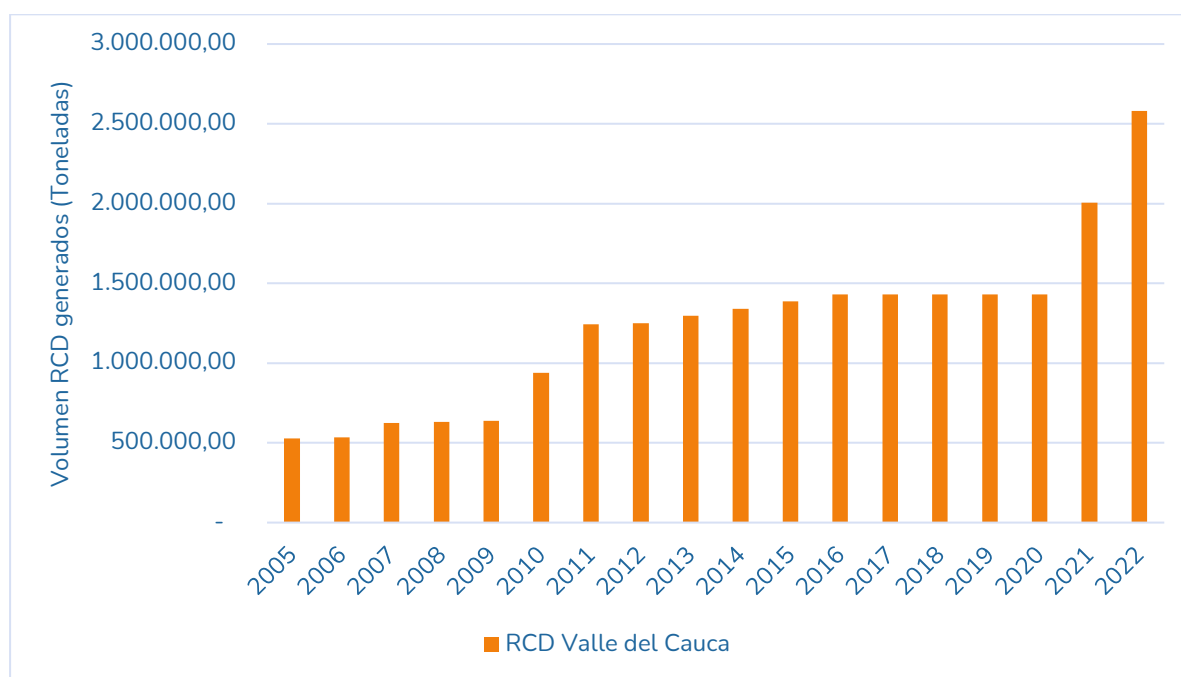
En cuanto a la dinámica específica de la ciudad de Cali, reportes de empresas cementeras [18] y estudios desarrollados por la Universidad del Valle [19] reportan volúmenes diarios que oscilan entre las 2.000 y 2.500 toneladas de RCD. Al analizar estas cifras, se observa una generación de entre 730.000 y 912.500 toneladas anuales provenientes exclusivamente de la capital del Valle del Cauca.

La Figura 6 consolida la evolución histórica de la generación de RCD en el Valle del Cauca entre 2005 y 2022, a partir de fuentes y metodologías diferenciadas según el período disponible. Para el tramo 2005-2012, los datos de base corresponden a registros de generación de la ciudad de Cali; dado que no se encontraron cifras departamentales para ese período, se aplicó el factor de representatividad de Cali frente al total departamental (83,9%), obteniendo así una estimación del volumen para el conjunto del Valle del Cauca. Para el período 2016-2020, los valores graficados corresponden al promedio anual calculado a partir de los datos acumulados de la Tabla 2, derivados del estudio de la Universidad del Valle y la CVC, esto no implica que la generación haya sido constante en esos años, sino que, ante la ausencia de series anuales desagregadas, se asume el promedio como

estimación representativa del período. El dato de 2022 es el único valor departamental directo disponible, proveniente del estudio del Grupo de Materiales Compuestos de la Universidad del Valle.

La lectura conjunta de esta serie refleja una tendencia de crecimiento sostenido, con una aceleración marcada entre 2020 y 2022 que coincide con la recuperación del sector construcción tras la pandemia. Sin embargo, la discontinuidad en los datos, especialmente la ausencia de registros entre 2013 y 2015, y la falta de información para los años 2021, 2023 y 2024, es una limitación del estado actual de la información ambiental en el departamento. Para efectos de visualización de la tendencia, estos años fueron estimados mediante interpolación lineal entre los datos disponibles. Se revisó fuentes oficiales como el SIAC, CVC y DAGMA, sin embargo, no se encontraron series anuales de generación de RCD desagregadas por municipio o departamento disponibles públicamente para el período posterior a 2020. Esta situación limita la posibilidad de actualizar la serie con datos oficiales verificables y constituye, en sí misma, un indicador de las brechas de gestión de información en el sector. Asimismo, es razonable asumir que el volumen de generación de RCD en el Valle del Cauca ha continuado creciendo desde 2022, dado el dinamismo del sector constructor en la región, aunque su cuantificación precisa requerirá de fuentes primarias que aún no están disponibles públicamente.

Figura 6. Generación de RCD en el Valle del Cauca (2005-2022)²



Fuente: [7], [5]

- **Análisis comparativo: el Valle del Cauca en el escenario nacional**

Al integrar las cifras regionales dentro del panorama nacional para el año 2022, se dimensiona la relevancia del departamento en la gestión de RCD en el país. Con una generación de 2.580.185 toneladas anuales, el Valle del Cauca aporta el 8,83% de la generación total de RCD en Colombia [20].

Este porcentaje posiciona al departamento como uno de los mayores aportantes de este flujo de residuos a nivel nacional. Si se considera que casi la totalidad de este volumen se concentra en el área metropolitana de Cali, la implementación de una planta de aprovechamiento en esta zona no solo resolvería una problemática local, sino que impactaría positivamente al cumplimiento de las metas de aprovechamiento a nivel nacional de RCD.

² Los valores correspondientes a 2013-2015 y 2021 fueron estimados mediante interpolación lineal a partir de los datos disponibles en años adyacentes.

4.2. Disposición de RCD

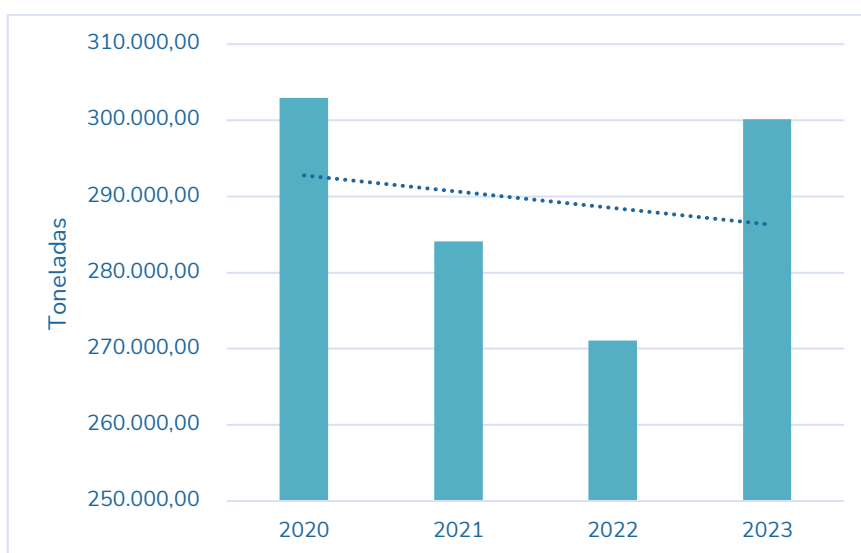
La disposición final de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) consiste en depositarlos de forma controlada y permanente en sitios expresamente habilitados, cuando estos materiales ya no son susceptibles de aprovechamiento.

A. Contexto nacional

La disposición final de RCD en Colombia refleja un reto logístico y operativo considerable. Para el año 2022, según datos del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el volumen de RCD dispuestos legalmente en el país ascendió a 16.263.809,26 toneladas [1]. Al contrastar esta cifra con las 29.208.223,25 toneladas generadas en el mismo periodo, se evidencia que aproximadamente el 44% de los residuos generados a nivel nacional no cuentan con un registro formal de disposición final, lo que sugiere la existencia de canales de gestión informal o una alta tasa de vertimiento en sitios no autorizados.

Dentro del análisis de los flujos formales, se identificó el comportamiento de la disposición proveniente de establecimientos industriales entre 2020 y 2023 (Ver Figura 7). A diferencia de la generación, la disposición industrial ha mostrado una tendencia a la baja hasta el año 2022, con una leve recuperación en el último periodo reportado.

Figura 7. Disposición de RCD por establecimientos industriales en Colombia (2020-2023)



Fuente: Elaboración propia en base a información del DANE [14], [15], [15], [15]

Al comparar el dato de disposición industrial del año 2022 (271.072 ton) con el total nacional de disposición para ese mismo año (16,2 millones de toneladas), se observa que la industria manufacturera representa únicamente el 1,66% de la disposición final de RCD en Colombia.

Este bajo porcentaje de participación de la industria en la disposición final refuerza la conclusión de que el grueso de la presión sobre las escombreras y sitios de transferencia del país proviene del sector constructor. Asimismo, la brecha de más de 12 millones de toneladas entre lo generado y lo dispuesto legalmente a nivel nacional ratifica la oportunidad de mercado para plantas de aprovechamiento que ofrezcan una alternativa técnica y económica frente a la disposición final convencional.

El panorama nacional de disposición final de RCD refleja no solo una brecha cuantitativa, sino también una marcada desigualdad entre ciudades en cuanto a la madurez de sus marcos normativos y su capacidad instalada de aprovechamiento.

Los avances más significativos en gestión formal de RCD a nivel nacional se concentran en Bogotá. La Resolución Distrital 01115 de 2012 estableció metas progresivas de aprovechamiento en obra: 5% entre septiembre de 2013 y agosto de 2014, 10% entre septiembre de 2014 y agosto de 2015, 15% entre septiembre de 2015 y agosto de 2016, 20% entre septiembre de 2016 y agosto de 2017, y 25% a partir de septiembre de 2017 [21]. Este instrumento obligó a los proyectos constructivos del Distrito a reutilizar o aprovechar una fracción creciente de sus residuos en lugar de enviarlos a disposición final, anticipando varios años las metas nacionales establecidas posteriormente por la Resolución MADS 1257 de 2021.

En contraste, el Área Metropolitana del Valle de Aburrá presenta rezagos considerables en infraestructura de aprovechamiento. Para 2016, se dispusieron en escombreras 5.830.251 toneladas de RCD, equivalentes a 18.687 ton/día, con un aprovechamiento de apenas 91,5 ton/día, es decir, el 0,49% del total generado. Un estudio de 2022 basado en entrevistas a la totalidad de los ocho gestores inscritos en la autoridad ambiental del AMVA encontró que aproximadamente el 99,5% de los RCD continúa siendo direccionado a la disposición final, y que, de las dos empresas registradas para aprovechamiento, solo una cuenta con planta de procesamiento propia, lo que evidencia una escasez crítica de actores dedicados a la recuperación de estos residuos en la región. Las barreras más recurrentes identificadas por los gestores fueron la inadecuada separación en la fuente por parte de los generadores, la falta de acompañamiento de la autoridad ambiental y la ausencia de demanda establecida para los materiales reciclados en el mercado constructor [22].

La comparación entre Bogotá, con normativa propia desde 2012 y metas de aprovechamiento exigentes, y el Valle de Aburrá, con altísima dependencia de la disposición final y apenas emergiendo en infraestructura de valorización, ilustra que reducir la presión sobre los sitios de disposición final requiere tanto un marco normativo vinculante como capacidad instalada de aprovechamiento. En este contexto, el Valle del Cauca presenta una brecha estructural en ambas dimensiones: si bien cuenta con un marco normativo nacional y local aplicable (Resolución 1257 de 2021; Decreto 0771 de 2018), aún carece de infraestructura de valorización a escala departamental. Esta situación no solo limita el cumplimiento efectivo de las metas de aprovechamiento, sino que también posiciona al departamento frente a una oportunidad estratégica de desarrollo del sector, en la medida en que avance de forma simultánea en el fortalecimiento regulatorio y en la consolidación de capacidades técnicas y de mercado para la gestión de RCD.

B. Contexto departamental

Debido a la fragmentación de los registros específicos sobre el destino final de los residuos de construcción y demolición en el departamento, la estimación de la disposición final se derivó del análisis técnico de los datos consolidados en el estudio de la Universidad del Valle y la CVC [5].

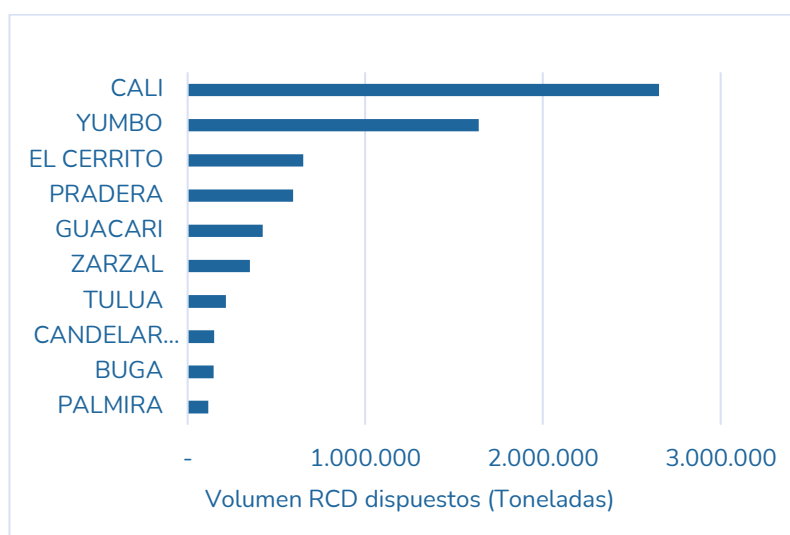
Para este cálculo, se aplicó una tasa de gestión basada en la realidad operativa del territorio entre los años 2016 y 2020. Bajo esta metodología, se asumió que el 15% del volumen total de RCD generado fue sometido a procesos de aprovechamiento o reincorporación, este detalle se explica en la sección 4.3. En consecuencia, el 85% restante fue destinado a disposición final en escombreras autorizadas o sitios de transferencia.

Como resultado de este ejercicio, se estima que el Valle del Cauca dispuso un total acumulado de 7.049.364,66 toneladas de RCD durante el periodo analizado. La distribución de esta carga operativa se presenta en la Figura 8, donde se evidencian los 10 municipios con mayor impacto en el sistema de disposición departamental.

Al analizar la gráfica, se ratifica la presión que ejerce la capital sobre la infraestructura de disposición. Santiago de Cali concentra el 38% del total departamental, lo que equivale a aproximadamente 2,67 millones de toneladas confinadas en este periodo. Es notable también la participación de municipios como Buga, Candelaria y Tuluá, los cuales presentan volúmenes significativos que superan la barrera de las 500.000 toneladas, confirmando que la problemática de disposición no es exclusiva de la capital, sino que afecta a todo el corredor logístico e industrial del departamento.

Al analizar los datos, se ratifica que el área metropolitana de Cali y su zona de influencia industrial son los principales responsables de la presión sobre las escombreras locales. Es de especial relevancia el caso de Yumbo, que se posiciona como el segundo mayor foco de disposición con más de 1,63 millones de toneladas (23,2% del total), lo que subraya la intensa actividad de adecuación y mantenimiento del sector manufacturero. Otros municipios como El Cerrito (649.311 ton) y Pradera (593.589 ton) también muestran cifras considerables, superando a centros urbanos tradicionalmente más grandes como Palmira o Buga en este registro específico. Este escenario confirma que el modelo actual de gestión es prácticamente lineal y que la acumulación de más de 7 millones de toneladas en solo cinco años garantiza un suministro de materia prima constante para cualquier iniciativa de valorización de estos residuos, centrando el mercado objetivo en los municipios Cali y Yumbo.

Figura 8. Top 10 de municipios con mayor volumen acumulado de disposición de RCD en el Valle del Cauca (2016-2020)



Fuente: Elaboración propia en base a [5]

4.3. Aprovechamiento de RCD

A. Estimación teórica

Ante la ausencia de un registro histórico oficial específico de aprovechamiento para el Valle del Cauca durante el periodo analizado, se estableció una estimación técnica basada en referentes normativos nacionales y en la evidencia disponible a nivel territorial.

Para efectos del presente análisis, se adopta como supuesto técnico de trabajo que el 15% de los residuos de construcción y demolición (RCD) generados en el departamento son aprovechados. Este valor no debe interpretarse como una tasa oficial observada, sino como un parámetro conservador de modelación, dada la inexistencia de una cifra consolidada y verificable a escala departamental.

La Guía PGIRS del Ministerio de Vivienda establece que el indicador de aprovechamiento de RCD debe calcularse como la relación entre los residuos aprovechados y los generados, entendiendo estos últimos como la suma de los residuos dispuestos y aprovechados [23]. Sin embargo, la información disponible para el Valle del Cauca no permite aplicar esta metodología de manera agregada, debido a vacíos en la trazabilidad y el reporte de datos.

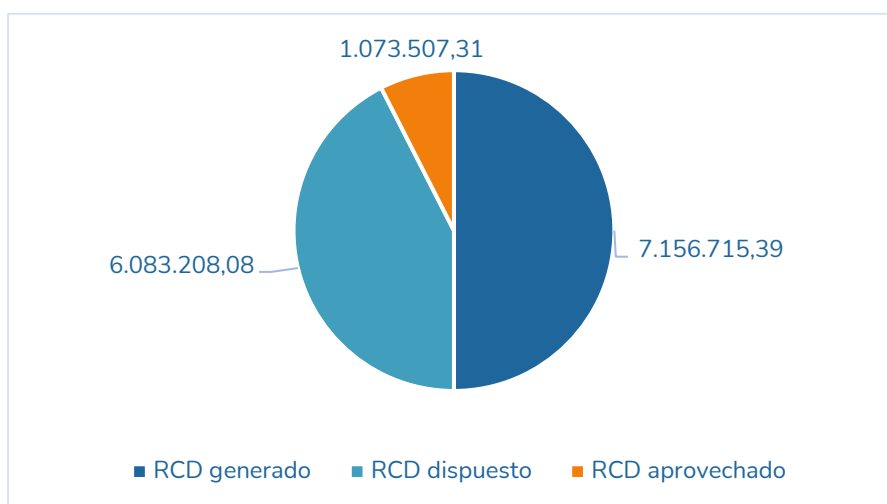
La adopción del 15% se sustenta en una lectura intermedia de la realidad del territorio. Por un lado, el departamento cuenta con gestores registrados ante la CVC que desarrollan actividades como aprovechamiento, almacenamiento en puntos limpios y disposición final, lo que indica que el aprovechamiento no es inexistente [24]. Por otro lado, los seguimientos a los PGIRS municipales evidencian que la mayoría de los municipios no dispone de información clara sobre volúmenes generados, aprovechados o dispuestos [25]. Esta debilidad se

refleja en casos como Jamundí, donde se reporta como no disponible (N.A.) la información relacionada con generación, caracterización, aprovechamiento y disposición de RCD, además de la ausencia de infraestructura adecuada para su gestión [26].

En este contexto, el valor de 15% se considera razonable y conservador al ubicarse por debajo de referentes como el de Bogotá, donde se estima un aprovechamiento cercano al 25%, respaldado por mayores capacidades institucionales, mejor trazabilidad y un mercado más desarrollado para la gestión de RCD. Esta referencia no busca trasladarse directamente al Valle del Cauca, sino utilizarse como un techo comparativo: si un territorio con condiciones más favorables alcanza dicho nivel, resulta prudente adoptar para el departamento una proporción inferior, equivalente aproximadamente al 60% de ese valor. Este ajuste permite reconocer la existencia de nodos formales de aprovechamiento en el Valle, al tiempo que incorpora las brechas de información, infraestructura y seguimiento identificadas a nivel municipal y regional.

Bajo este parámetro, al procesar los datos de generación total obtenidos del estudio de la Universidad del Valle y la CVC para el periodo 2016-2020 (7.156.715,39 toneladas), se estima que el volumen aprovechado alcanzó las 1.073.507,31 toneladas. El volumen restante, correspondiente al 85%, fue destinado a disposición final.

Figura 9. Comparativa entre generación, disposición y volumen de aprovechamiento estimado de RCD en toneladas para el Valle del Cauca (2016 – 2020)



Fuente: Elaboración propia en base a [27]

Este nivel de aprovechamiento del 15%, aunque superior a estimaciones previas, confirma que aún existe un potencial de más de 6 millones de toneladas que no están siendo reincorporadas al ciclo productivo. No obstante, esta cifra corresponde a una estimación preliminar basada en supuestos conservadores y en información histórica, por lo que es probable que el nivel actual de aprovechamiento sea mayor, considerando avances recientes en normativa, mayor fiscalización y el desarrollo progresivo de iniciativas de valorización en el departamento. Aun así, la estimación permite evidenciar la existencia de una brecha significativa.

De acuerdo con el Artículo 19 sobre Metas de Aprovechamiento de RCD establecidas por la Resolución 1257 de 2021 (ver Tabla 3), los grandes generadores tienen la obligación de incrementar progresivamente el porcentaje en peso de residuos aprovechados según la categoría de su municipio.

Tabla 3. Metas de aprovechamiento de RCD a nivel nacional

Categoría especial	Categoría 1, 2, 3	Categoría 4, 5, 6	Cumplimiento de meta
25%	15%	5%	1° de enero de 2023
50%	30%	20%	1° de enero de 2026
75%	60%	40%	1° de enero de 2030

Fuente: [28]

En este sentido, la implementación de una planta de aprovechamiento se vuelve una pieza fundamental para la competitividad departamental, dado que las metas de la Tabla 3 no aplican de manera uniforme a todos los municipios generadores. La Resolución 1257 de 2021 diferencia los porcentajes de aprovechamiento obligatorio según la categoría municipal establecida por la Ley 617 de 2000, la cual clasifica a los municipios atendiendo conjuntamente su población e ingresos corrientes de libre destinación (ICLD) anuales [26]. Esta distinción tiene implicaciones directas para el proyecto puesto que los municipios de mayor jerarquía enfrentan metas más exigentes y en plazos más cortos, pero también cuentan con mayor capacidad institucional y fiscal para promover, financiar y exigir el aprovechamiento de RCD. La infraestructura propuesta permitirá precisamente a estos generadores cumplir con sus obligaciones, evitar las sanciones por incumplimiento y posicionar al departamento como referente en la transición hacia modelos de circularidad.

La Tabla 4 presenta la clasificación estimada de los municipios del Valle del Cauca incluidos en la Tabla 2, con base en las proyecciones de población del DANE para el 2026 [27] y los criterios del Artículo 2° de la Ley 617 de 2000 [26]. Dado que la norma establece que cuando los ICLD de un municipio no correspondan a su rango poblacional, prevalece la categoría asociada a los ingresos, y que no se dispone de los ICLD certificados para todos los municipios del listado, la clasificación aquí presentada debe entenderse como una aproximación orientativa en base a la población de cada municipio.

Tabla 4. Categorización de los distritos y municipios

Categorías	Descripción	Municipios del Valle³
Categoría especial	Todos aquellos distritos o municipios con población superior o igual a los 500.001 habitantes y cuyos ingresos corrientes de libre destinación anuales superen 400.000 salarios mínimos legales mensuales	Santiago de Cali
Primera categoría	Todos aquellos distritos o municipios con población comprendida entre 100.001 y 500.000 habitantes y cuyos ingresos corrientes de libre destinación anuales sean superiores a 100.000 y hasta de 400.000 salarios mínimos legales mensuales	Palmira, Buenaventura, Tuluá, Jamundí, Cartago, Buga, Candelaria, Yumbo
Segunda categoría	Todos aquellos distritos o municipios con población comprendida entre 50.001 y 100.000 habitantes y cuyos ingresos corrientes de libre destinación anuales sean superiores a 50.000 y hasta de 100.000 salarios mínimos legales mensuales	Dagua, Florida, El Cerrito, Pradera
Tercera categoría	Todos aquellos distritos o municipios con población comprendida entre 30.001 y 50.000 habitantes y cuyos ingresos corrientes de libre destinación anuales sean superiores a 30.000 y hasta de 50.000 salarios mínimos legales mensuales	Sevilla, Zarzal, Guacarí, La Unión, Caicedonia, Roldanillo
Cuarta categoría	Todos aquellos distritos o municipios con población comprendida entre 20.001 y 30.000 habitantes y cuyos ingresos corrientes de libre destinación anuales sean superiores a 25.000 y de hasta de 30.000 salarios mínimos legales mensuales	Bugalagrande, Andalucía, Trujillo
Quinta categoría	Todos aquellos distritos o municipios con población comprendida entre 10.001 y 20.000 habitantes y cuyos ingresos corrientes de libre destinación anuales sean superiores a 15.000 y hasta 25.000 salarios mínimos legales mensuales	La Cumbre, Yotoco, Riofrío, Restrepo, Vijes, San Pedro

³ La clasificación se realiza con base exclusivamente en el criterio poblacional del Artículo 2° de la Ley 617 de 2000, usando las proyecciones municipales del DANE para 2026, dado que no se dispone de los Ingresos Corrientes de Libre Destinación (ICLD) certificados para todos los municipios

Sexta categoría	Todos aquellos distritos o municipios con población igual o inferior a 10.000 habitantes y con ingresos corrientes de libre destinación anuales no superiores a 15.000 salarios mínimos legales mensuales	Versalles
-----------------	---	-----------

Fuente: Elaboración propia en base a [29] y [30]

B. Sector construcción

Para contrastar la estimación teórica con la dinámica real del mercado, se analizaron datos operativos de una empresa del sector construcción con proyectos vigentes en el Valle del Cauca. Es importante señalar que esta empresa opera posiblemente bajo estándares ambientales superiores al promedio sectorial, con planes de manejo estructurados y cumplimiento de requisitos contractuales como certificaciones de disposición. Por lo tanto, la información debe interpretarse como un referente de buenas prácticas, más que como una representación del comportamiento promedio del sector, especialmente en el segmento de pequeñas y medianas empresas.

Tabla 5. Generación y aprovechamiento de RCD en una empresa constructora en el 2025

Tipo de Vivienda	RCD Generado (ton)	RCD Disposición Final Pétreo (ton)	RCD Aprovechado Pétreo (ton)	RCD Aprovechado Otros (Cartón, Vidrio, Metal, Papel) (ton)	% Aprovechamiento
VIP ⁴ apto	3.865,02	2.822,40	1.011,90	30,72	27%
VIS ⁵ apto	3.781,03	2.981,60	742,88	56,55	21%
VIS casas	17.469,06	13.603,00	3.739,08	126,98	22%
No VIS apto	7.582,84	4.998,34	2.088,17	496,33	34%
No VIS Casas	4.962,91	3.109,60	1.525,17	328,14	37%

Fuente: Empresa constructora

En este conjunto de proyectos se identificó una generación total de 37.660,86 toneladas de RCD. De este volumen, 27.514,94 toneladas fueron enviadas a disposición final, mientras que las 10.145,92 toneladas restantes fueron aprovechadas, lo que representa un índice de aprovechamiento general del 26,9%. Es importante destacar que, del total aprovechado, 1.088 toneladas corresponden específicamente a materiales que fueron reincorporados de manera directa en las mismas obras durante el periodo 2025.

Al desagregar estos resultados por tipología de proyecto, se observa que los porcentajes de aprovechamiento varían entre el 21% y el 37%. Estos valores superan el 15% teórico considerado en estimaciones iniciales, lo que evidencia que, bajo condiciones adecuadas de gestión, el sector cuenta con capacidades técnicas para incrementar la valorización de RCD. No obstante, es importante señalar que, para el caso del Valle del Cauca, no se encontró información pública desagregada sobre tasas de aprovechamiento por tipo de material (fracción).

Sin embargo, dado que estos resultados provienen de un actor con buenas prácticas consolidadas, no necesariamente reflejan la realidad del conjunto del sector, donde existen brechas importantes en la gestión de residuos.

En este contexto, los resultados permiten identificar una doble lectura, por un lado, existe evidencia de que el aprovechamiento es técnicamente viable y ya se está implementando en ciertos segmentos; por otro, se hace evidente que su masificación depende de condiciones habilitantes adicionales, principalmente asociadas a infraestructura y articulación del sistema.

En línea con lo anterior, el ecosistema formal de gestión de RCD en el Valle del Cauca está regulado por la CVC, que lleva el registro de los gestores inscritos en el departamento conforme a las Resoluciones del MADs 0472 de

⁴ Vivienda de interés prioritario

⁵ Vivienda de interés social

2017 y 1257 de 2021. Según el listado oficial actualizado en 2025, el departamento cuenta con 16 gestores inscritos distribuidos en 7 municipios [28], cuya información se presenta en la Tabla 6.

Tabla 6. Listado de gestores de RCD inscritos en CVC 2025

Nombre o razón social	Actividad ejecutada	Municipio	Cap. almacenamiento RCD (ton/mes)	Cap. aprovechamiento RCD (ton/mes)	Cap. disposición final RCD (ton/mes)	Cap. total disposición final RCD (ton)
Grupo de Occidente S.A.S.	Punto limpio y disposición final de RCD	Candelaria	307.200	0	307.200	715.008
Diego Fernando López	Punto limpio y disposición final de RCD	Palmira	30.000	0	45.000	403.960
Maximina Galarza Gallo	Punto limpio y disposición final de RCD	Palmira	30.000	0	40.000	274.442
CODINSA S.A.S. - CADE San Jorge	Aprovechamiento y punto limpio de RCD	Yumbo	1.000.000	25.000	31.200	5.000.000
Recuperadora de Materiales F.M.	Recolección, transporte y disposición final de RCD	Palmira	15.000	0	32.000	-
Suministramos y Contratamos (1)	Punto limpio y aprovechamiento de RCD	Candelaria	11.200	0	2.800	-
Suministramos y Contratamos (2)	Recolección, transporte, punto limpio, aprov. y disp. final de RCD	Candelaria	15.000	0	40.000	-
Carlos Alberto Parra Toro	Recolección, transporte, punto limpio y disp. final de RCD	Restrepo	180	0	480	23.456
Gustavo Garrido	Recolección, transporte, punto limpio y disp. final de RCD	Candelaria	16.000	0	50.000	450.000
Diego Fernando López (2)	Recolección, transporte, punto limpio y aprovechamiento de RCD	Palmira	20.000	20.000	0	0
Fabiola Asprilla Cáceres	Recolección, transporte, punto limpio y disp. final de RCD	Candelaria	16.000	0	24.000	24.792
Arquitectura Moderna Ambiental E.S.P. S.A.	Punto limpio y disposición final de RCD	Jamundí	32.068	36.650	45.812	144.000
Compañía de Ingeniería	Disposición final de RCD	Yumbo	126.000	0	126.000	326.941

Sanitaria CODINSA S.A.S.						
Gestores y Soluciones El Pacífico S.A.S.	Punto limpio y planta de aprovechamiento de RCD	Cartago	5.000	5.000	-	-
Municipio de Bugalagrande	Disposición final de RCD	Bugalagrande	53	0	70,1	8.400
Recuperadora de Materiales F.M. (2)	Punto limpio y disposición final de RCD	Palmira	15.000	0	35.000	80.000
Total (16 gestores)			1.638.701	86.650	779.562	~7.451.000

Fuente: CVC [31]

El análisis de estas capacidades evidencia una brecha estructural en el sistema, mientras la capacidad de almacenamiento supera las 1.638.000 toneladas mensuales, la capacidad de aprovechamiento efectivo alcanza únicamente 86.650 toneladas mensuales, concentrada en solo 4 de los 16 gestores registrados. Esto implica que cerca del 75% de los gestores opera exclusivamente como punto limpio o sitio de disposición final, sin procesos de transformación o valorización.

A nivel territorial, se observa además una alta concentración geográfica de la infraestructura en la zona periurbana de Cali, particularmente en Candelaria y Palmira, donde se ubican 10 de los 16 gestores. En contraste, municipios con alta generación de RCD, como Cali, Tuluá o Buga, no cuentan con infraestructura suficiente de aprovechamiento, lo que evidencia una cobertura limitada frente a la distribución real de los residuos.

La dinámica operativa del sistema también presenta desafíos relevantes. En Cali, la gestión de RCD varía según el volumen generado: los residuos provenientes de pequeñas intervenciones (remodelaciones o mejoras locativas), los generadores contratan a los denominados "chaneros", quienes transportan el material hasta la Estación de Transferencia ubicada en la carrera 50 con Autopista Simón Bolívar, único sitio autorizado en el perímetro urbano para la recepción transitoria de RCD de origen residencial. Para volúmenes mayores se acude a volqueteros o empresas de aseo registradas. No obstante, los sitios de disposición final autorizados se localizan fuera del perímetro urbano de Cali, principalmente en los municipios de Candelaria, Puerto Tejada y Palmira [32].

De acuerdo con el DAGMA, la ciudad genera aproximadamente 2.100 toneladas diarias de RCD, de las cuales cerca de 500 toneladas corresponden a pequeñas obras. Si bien los grandes generadores tienden a cumplir con la normativa, una proporción significativa de pequeños generadores dispone sus residuos de manera inadecuada en espacios públicos o fuentes hídricas [33].

En este sentido, el componente informal representa una de las principales brechas del sistema. Se estima que alrededor del 30% de los RCD generados en Cali termina en escombreras ilegales, lo que equivale a más de 300.000 m³ anuales adicionales a los 120.000 m³ gestionados en la estación de transferencia formal, distribuidos en más de 27 puntos identificados en la ciudad, lo que evidencia la persistencia del manejo inadecuado pese a los mecanismos de control. Esta situación se ve agravada por la limitada capacidad de dicha infraestructura, que tiende a saturarse en periodos cortos, incentivando prácticas de disposición inadecuadas.

En conjunto, este análisis evidencia que, si bien existen avances en la implementación de prácticas de aprovechamiento en el sector construcción, el sistema actual presenta limitaciones significativas en términos de capacidad instalada, cobertura territorial y control del flujo informal. En este contexto, la implementación de una planta de aprovechamiento de RCD en el Valle del Cauca permitiría no solo procesar el volumen que actualmente se destina a disposición final, sino también capturar una fracción del flujo informal, contribuyendo a incrementar las tasas de valorización y a fortalecer la eficiencia del sistema en su conjunto.

5. Experiencias nacionales e internacionales de plantas de aprovechamiento de RCD

Para el diseño de la planta de aprovechamiento de RCD en el Valle del Cauca, se realizó un ejercicio de benchmarking basado en experiencias nacionales e internacionales, incluyendo casos de Colombia, Perú, España, Argentina, México y China. Este análisis permite identificar modelos operativos consolidados y reconocer tendencias tecnológicas y de mercado aplicables al contexto regional.

La Tabla 7 presenta los principales hallazgos, organizados en cuatro dimensiones clave para la viabilidad del proyecto: (i) flujos y tipología de residuos, que caracterizan la materia prima disponible; (ii) procesos y capacidad instalada, que determinan la escala y configuración operativa; (iii) productos y subproductos, que evidencian las alternativas de valorización; y (iv) recursos, que incluyen requerimientos de inversión y personal. Este análisis constituye un insumo fundamental para definir el dimensionamiento técnico y el enfoque del modelo de negocio propuesto.

Tabla 7. Benchmarking de plantas de aprovechamiento de RCD

Empresa / País	Flujos (ton/año) y tipología	Procesos y Capacidad instalada	Productos y Subproductos	Recursos (inversión y personal)
Granulados de Reciclados de Colombia (GRECO) (Cundinamarca, Colombia)	Rocas, recebo, mixtos, mampostería, concreto y asfalto.	Capacidad de producción: 200 toneladas/hora. Procesos: 1. Báscula y documentación 2. triaje primario 3. zona de descarga 4. triaje secundario 5. trituración y cribado 6. granulados reciclados	Base y sub-base granular, material de relleno, gravas, arenas y filtros.	Personal: 45 empleados. Inversión: No se encontró información
Conesco – Planta de aprovechamiento de RCD (Antioquia, Colombia)	Se procesan 80.841 m ³ al año. Materiales provenientes de excavaciones y demoliciones de las vías (90%) y materiales de edificación (10%).	Planta fija de procesamiento. Procesos: 1. Trituración 2. Clasificación granulométrica 3. Aprovechamiento	Ecoagregados pétreos, afirmados, base granular y subbase granular. Producen agregados que cumplen con las normas técnicas.	No se encontró información sobre datos de personal e inversión
UAESP – Planta de residuos de puntos críticos y arrojo clandestino (RPCC) (Bogotá, Colombia)	RCD proveniente de puntos críticos de arrojo clandestino en vías y espacio público. Incluye escombros, pétreos, concreto y materiales mixtos. En 2026 se habían valorizado 41.892 toneladas mediante clasificación y tratamiento.	Capacidad de producción: 350 toneladas/día. La planta cuenta con un área de 3 hectáreas. Procesos: Recepción, control, preclasificación, separación, tratamiento, valorización, aprovechamiento y disposición final controlada	Agregados reciclados de alta calidad para mantenimiento vial y urbanismo (vías, andenes)	
Cajas Ecológicas (Lima, Perú)	Se procesan 850 toneladas al día. Se recibe concreto, ladrillo, madera, plástico, metales, papel y cartón	Procesos: 1. Recolección 2. separación 3. valorización	Arena reciclada, confitillo (grava fina) y material triturado de concreto y ladrillo	No se encontró información sobre datos de personal e inversión
Empresa Ciclo – Planta de tratamiento de RCD (Lima, Perú)	La planta recibe principalmente escombros segregados y elementos pétreos provenientes de los residuos de la construcción y demolición. Procesa 50 toneladas al día.	Procesos: La planta de Ciclo cuenta con dos líneas de procesamiento claramente diferenciadas: 1. Línea de agregados reciclados: El escombro segregado ingresa a un proceso de trituración. Posteriormente, el material pasa a una zaranda (una criba con distintos niveles de mallas) que se encarga	Agregados Reciclados: Se obtienen tres tipos según su tamaño: agregado fino, agregado intermedio y agregado grueso. Subproductos: -Adoquines Sostenibles para Pavimento -Ladrillos Macizos Sostenibles -Separadores de Concreto	Inversión: Fondos propios de los socios fundadores, fondos ganados a través de concursos, fondos obtenidos por la venta de acciones de la empresa.

Elaboración de estudios de dimensionamiento y proyección sobre el uso de energías renovables y circularidad en el Valle del Cauca

Informe final de resultados del producto 2.4 – Determinación de la factibilidad preliminar de una planta de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición en el Valle del Cauca

		de separar y clasificar el material de acuerdo con su granulometría. 2. Línea de fabricación de ecomateriales: Esta línea utiliza una mezcladora donde se combinan los agregados reciclados de la fase anterior con cemento, agua y aditivos. Esta mezcla se traslada a una máquina de moldeado que ejerce vibración y compactación para darle forma al producto final. Por último, el material fresco pasa por etapas de curado y secado.		
Centro de Reciclaje de la Ciudad (CRC) - Planta de residuos áridos (Buenos Aires, Argentina)	Reciben tierra, ladrillos, escombros, cerámicos, madera, plásticos, voluminosos, entre otros	Capacidad de producción: 2.400 toneladas por día o 61.200 toneladas por mes Procesos: 1. Control de ingreso 2. Derivación y registro de los residuos 3. Manejo de las descargas y sus consecuentes acopios 4. Proceso de selección, transformación y clasificación granulométrica 5. El manejo, carga y expedición de los acopios de lo producido (material recuperado y fracción rechazo)	Áridos reutilizados como materia prima para la elaboración de hormigón	No se encontró información sobre datos de personal e inversión
Construcciones Espías (Monzón, España)	Escombros y materiales pétreos (hormigón, cerámica, metales, madera, plásticos o tierra)	Capacidad de producción: 28.000 toneladas al año Procesos: 1. Recepción, registro, segregación manual y mecánica. 2. Trituración y cribado de materiales pétreos. La planta ocupa 9.000 m²	Áridos reciclados de distintos tamaños para reutilización en la construcción. Tasa de recuperación: >90 % de los residuos ingresados.	No se encontró información sobre datos de personal e inversión
Concretos Sustentables Mexicanos (CSMX) – Planta CIREC y Planta Bordo Poniente (Ciudad de México)	Concreto simple, concreto armado, pétreos, elementos prefabricados mixtos, otros residuos de manejo especial (madera, llantas, balastras. En 2025 recibieron 340 mil m ³ de cascajo.	La norma define a estas plantas por tener procesos de transformación, molienda, cribado y selección para crear agregados reciclados. Además, debe tener equipos para el control de emisiones, gestión de agua y gestión de sedimentos.	Generan agregados reciclados como arena, grava y base hidráulica. En específico grava reciclada controlada ¾ y 3/8, arena controlada reciclada, base hidráulica reciclada, mezcla asfáltica con rap, templada y en frío, concreto hidráulico clase 1 y 2, concreto bajo en emisiones. En 2025 generaron 116 mil m³ agregados de reciclados.	No se encontró información sobre datos de personal e inversión

Elaboración de estudios de dimensionamiento y proyección sobre el uso de energías renovables y circularidad en el Valle del Cauca

Informe final de resultados del producto 2.4 – Determinación de la factibilidad preliminar de una planta de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición en el Valle del Cauca

Jiangsu Wujin Lvhe Environmental Construction Material Technology Co. (China)	Subtipos: RCD en general, mampostería (ladrillos), morteros, concreto, y residuos de decoración.	Capacidad de tratamiento: 1.600.000 toneladas anuales de RCD, logra una tasa de reciclaje superior al 90%. Equipos: 1 equipo móvil importado de trituración y cribado, 1 línea fija de clasificación y graduación, 1 línea de producción de mortero premezclado, 1 línea de producción de mezclas inorgánicas y 3 líneas de producción de productos de cemento. Procesos: 1. Trituración, remoción de impurezas, cribado 2. Lavado y control ambiental	La planta ha procesado y comercializado: • Agregados regenerados (125.000 ton) • Mortero premezclado (94.000 ton) • Macadán estabilizado con cemento (125.000 m³) • Ladrillos de mortero estándar (62.500 m³)	Personal: 100 empleados Inversión: Registra ingresos por ventas anuales de CNY 180 millones. Costos teóricos en China (Referencia): Inversión fija de CNY 55.2M en construcciones y CNY 110.3M en equipos. OPEX estimado de energía CNY 1.55M a 12M al año.
---	--	---	---	---

Fuente: [33], [23], [33], [33], [34], [34], [33], [32], [35], [35], [35], [39]

La información presentada permite identificar patrones comunes y diferencias relevantes en la forma en que se estructuran y operan las plantas de aprovechamiento de RCD, aportando elementos clave para orientar el diseño de la planta en el Valle del Cauca.

El benchmarking evidencia que las plantas de RCD presentan una amplia variabilidad en escala, desde operaciones pequeñas como la Empresa Ciclo en Lima (≈ 50 ton/día), hasta instalaciones de gran capacidad como Jiangsu Wujin Lvhe en China ($\approx 1,6$ millones ton/año) y el Centro de Reciclaje de la Ciudad (CRC) en Buenos Aires (≈ 2.400 ton/día). En el contexto latinoamericano, predominan plantas de escala intermedia como GRECO en Colombia y Cajas Ecológicas en Perú, lo que sugiere un rango de referencia adecuado para el dimensionamiento en el Valle del Cauca.

En términos operativos, se identifica un modelo base común centrado en procesos de trituración y clasificación granulométrica, presente en casos como Conesco (Colombia), CRC (Argentina) y Construcciones Espías (España). Las diferencias se explican principalmente por el nivel de tecnificación: mientras plantas como Jiangsu Wujin Lvhe incorporan múltiples líneas de valorización y control ambiental, otras como Ciclo integran procesos adicionales de fabricación de productos, aunque a menor escala.

Respecto a los productos, el mercado se concentra en agregados reciclados (bases, subbases, arenas y gravas), como se observa en GRECO, Conesco y CSMX en México. En algunos casos, estos materiales se integran a cadenas de valor más amplias, ya sea dentro de la misma planta, como en Ciclo con la fabricación de adoquines y ladrillos, o mediante su uso como insumo en otras industrias, lo que evidencia oportunidades de articulación productiva más que de transformación directa en todos los modelos.

Finalmente, aunque la información sobre inversión y personal es limitada, los casos disponibles muestran referencias puntuales como GRECO (45 empleados) y Jiangsu Wujin Lvhe (100 empleados), indicando que el desempeño no depende únicamente de la escala, sino del nivel de tecnificación y eficiencia operativa. Para el Valle del Cauca, esto sugiere que una planta de capacidad intermedia puede ser viable si se enfoca en procesos eficientes de producción de agregados y en la generación de alianzas para la valorización de productos de mayor valor agregado.

A. Dificultades y riesgos identificados en el benchmarking

Las dificultades identificadas en los casos analizados son recurrentes en distintos contextos geográficos, lo que evidencia que no corresponden a situaciones aisladas, sino a barreras estructurales propias del modelo de aprovechamiento de RCD.

- **Dependencia de subsidios y ausencia de rentabilidad autónoma**

En el caso de LVHE (China), la gerencia ha señalado que la rentabilidad del reciclaje de residuos de construcción es limitada, debido a los altos costos operativos, lo que obliga a depender parcialmente de subsidios gubernamentales [36]. Esta situación se explica, en parte, por la estructura de costos del proceso, ya que los productos reciclados requieren etapas adicionales como clasificación, trituración y acondicionamiento, lo que incrementa los costos de producción frente a materiales convencionales. Como resultado, aunque algunos productos pueden tener precios competitivos, en muchos casos terminan siendo más costosos, afectando su posicionamiento en el mercado.

Este comportamiento ha sido ampliamente documentado por el informe técnico de AECOM, elaborado para el Banco Asiático de Desarrollo y el Ministerio de Vivienda de China, el cual señala que muchas plantas operan por debajo del 50% de su capacidad instalada y que es común encontrar operaciones en punto de equilibrio o con pérdidas. El mismo informe concluye que, sin instrumentos de apoyo adecuados, la viabilidad financiera de estas instalaciones es difícil de sostener [35].

En América Latina se observan patrones similares. CICLO (Lima) requirió financiamiento a través de fondos públicos competitivos (Concytec y StartUp Perú) para su etapa piloto [37], mientras que CSMX en México logró

escalar a nivel comercial mediante un esquema de concesión con el gobierno de la Ciudad de México, que actuó como comprador garantizado de sus productos. Estos casos evidencian la importancia de mecanismos de apoyo o demanda asegurada en las fases iniciales de operación.

- **Baja demanda y desconfianza hacia materiales reciclados**

En Colombia, el gerente de Conesco identifica como principal barrera la resistencia del mercado, aunque los ecoagregados cumplen con las especificaciones técnicas exigidas por normas INVÍAS, persiste desconfianza por parte de interventorías y clientes, lo que obliga a validar cada uso de manera individual [22].

Este fenómeno también se explica por factores estructurales. En el caso de China, se ha documentado que la terminología asociada a “material reciclado” o “residuos” genera rechazo tanto en desarrolladores como en compradores finales, al percibirse como un producto de menor calidad. Adicionalmente, aunque existen estándares de producción, los sistemas de certificación y evaluación de desempeño de estos materiales aún son incompletos, lo que dificulta que los actores del sector construcción confíen plenamente en su uso.

En conjunto, la combinación de percepción negativa, falta de estándares consolidados y ausencia de proyectos demostrativos a gran escala limita la aceptación de los materiales reciclados en el mercado [35].

- **Dificultades en licencias ambientales y uso del suelo**

El establecimiento de plantas de aprovechamiento de RCD enfrenta restricciones relevantes en materia de uso del suelo y licenciamiento ambiental. El reporte AECOM/ADB señala que, en varios casos, las regulaciones urbanas limitan la instalación de este tipo de infraestructura, especialmente en zonas cercanas a centros urbanos, lo que dificulta su localización estratégica y aumenta los tiempos de aprobación [35].

En América Latina, esta barrera se traduce en procesos de licenciamiento largos y costosos. Por ejemplo, CICLO requirió la aprobación de instrumentos de gestión ambiental (IGA) por parte de PRODUCE, además del registro ante el MINAM, lo que evidencia la complejidad regulatoria para nuevos operadores.

- **Escasez de material y baja separación en origen**

En el caso de la planta analizada en China (LVHE), el informe AECOM documenta que la falta de separación en origen de los residuos de construcción y demolición tiene un impacto directo sobre los costos de tratamiento y la calidad de los productos reciclados. En particular, debido a la ausencia de regulación efectiva en los procesos de demolición, los residuos suelen ser almacenados de manera conjunta, incluyendo concreto, ladrillo, tierra, madera, plásticos e incluso residuos domésticos, lo que obliga a las plantas de aprovechamiento a realizar procesos adicionales de clasificación. Esta situación incrementa significativamente los costos operativos y reduce la calidad de los materiales recuperados [35].

Esta problemática no es exclusiva de este contexto y ha sido evidenciada en el caso colombiano. De acuerdo con información levantada con gestores en el estudio sobre la gestión de RCD en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, la mayoría identificó la inadecuada separación en la fuente por parte de los generadores como la principal barrera operativa. Esta situación tiene un impacto directo en la viabilidad del aprovechamiento, ya que los procesos de clasificación posterior en planta o en puntos limpios implican altos costos y tiempos operativos.

En este sentido, un gestor del sector señaló que el problema más frecuente en la operación está asociado a la inadecuada separación en la fuente, lo que genera pérdidas significativas de material potencialmente aprovechable debido al desconocimiento por parte de las empresas generadoras. Este planteamiento evidencia cómo la falta de cultura y conocimiento en los generadores incide directamente en la pérdida de valor del residuo [22].

Esta problemática es especialmente relevante para el Valle del Cauca, donde se estima que una proporción significativa de los RCD es gestionada a través de canales informales. En particular, se ha identificado que cerca del 30% del flujo puede estar siendo dispuesto en escombreras ilegales o sin trazabilidad, lo que limita el acceso a material aprovechable y podría afectar la estabilidad del suministro para una planta formal.

En conjunto, estas dificultades resaltan la necesidad de complementar el diseño técnico de la planta con estrategias orientadas a asegurar la demanda, facilitar el acceso al material y articular el proyecto con instrumentos regulatorios y de política pública.

6. Modelo de operación de una planta de aprovechamiento de RCD

Conforme a lo identificado en el benchmarking realizado, el modelo de operación de una planta de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) comprende un conjunto de procesos orientados a la recepción, clasificación, transformación y valorización de materiales provenientes de actividades constructivas. Estas instalaciones tienen como objetivo recuperar fracciones aprovechables, principalmente áridos reciclados, mediante procesos mecánicos y manuales que permiten separar impurezas y obtener productos con características granulométricas definidas.

En términos generales, la operación de este tipo de plantas se organiza en una serie de etapas secuenciales que incluyen el control de ingreso de residuos, su clasificación inicial, la preparación del material para el procesamiento, la transformación mediante trituración y cribado, y finalmente el almacenamiento y expedición de los materiales recuperados. A lo largo del proceso se separan tanto los materiales valorizables como las fracciones no aprovechables, las cuales deben ser gestionadas adecuadamente mediante su disposición final o tratamiento complementario.

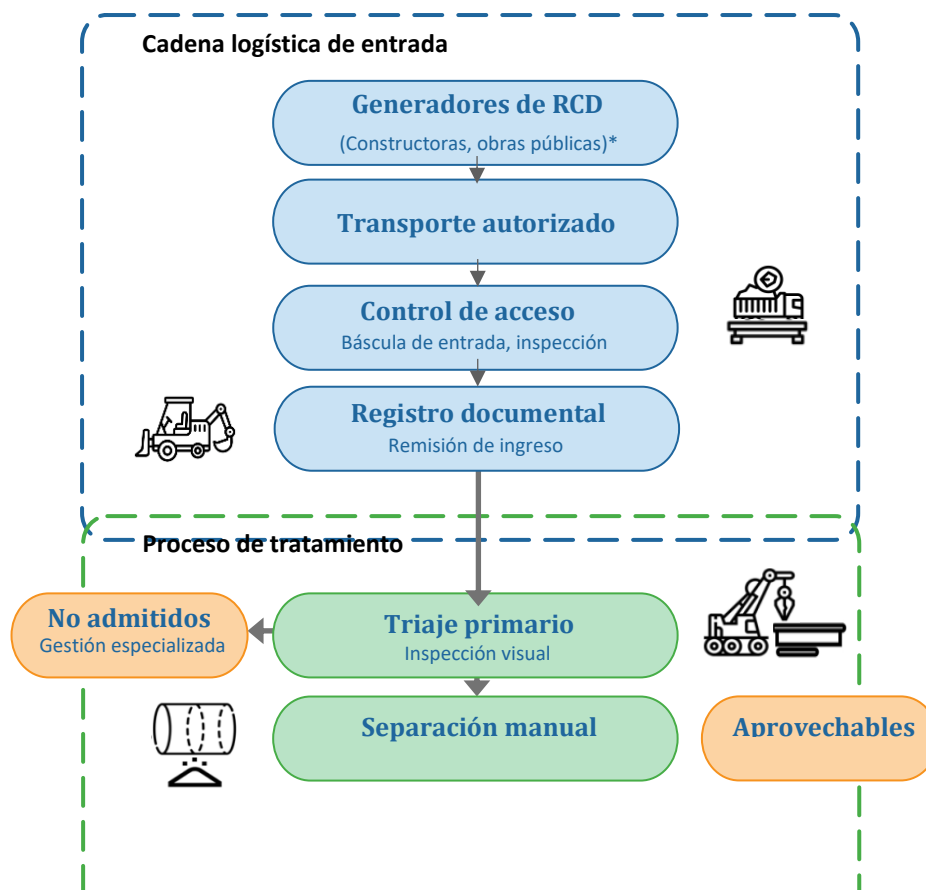
Este esquema de funcionamiento es consistente con las configuraciones utilizadas en diversas plantas de reciclaje de RCD a nivel internacional, donde la combinación de preclasificación manual, separación mecánica y trituración permite transformar los residuos en insumos reutilizables para nuevas aplicaciones en el sector de la construcción [38].

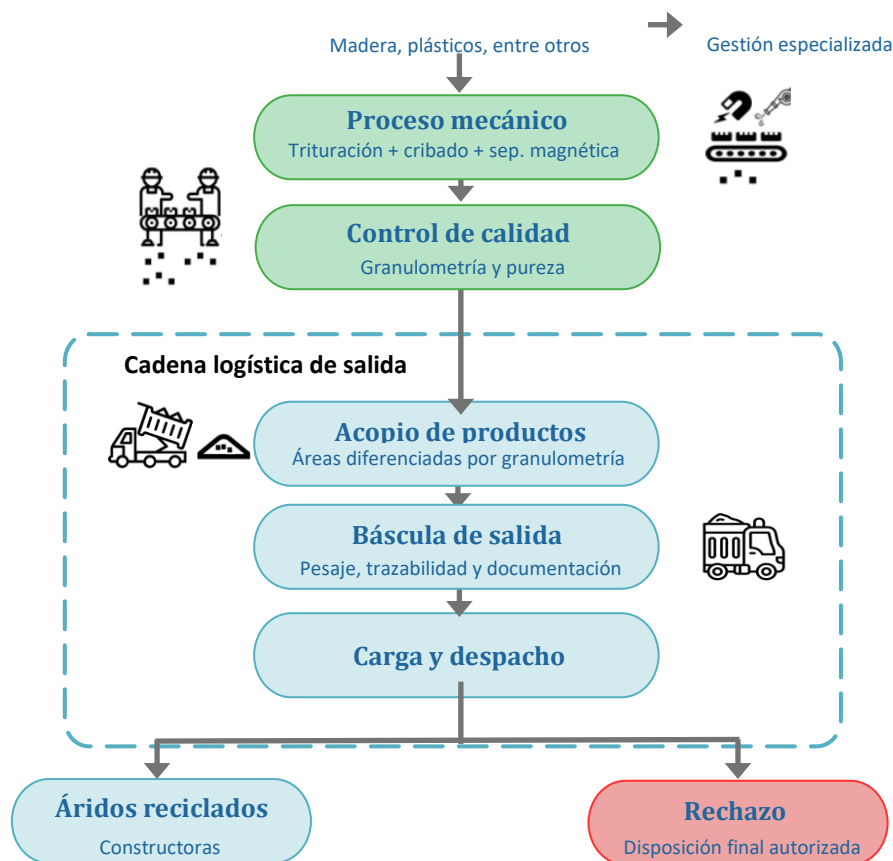
6.1. Flujoograma de procesos

El proceso de tratamiento de residuos de construcción y demolición en una planta de aprovechamiento se estructura generalmente en cinco etapas principales: control de ingreso, clasificación inicial de residuos, manejo de descargas y acopios, procesamiento mecánico y clasificación granulométrica, y finalmente almacenamiento y expedición de los materiales recuperados.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta el flujoograma general del proceso de tratamiento de residuos de construcción y demolición en una planta de aprovechamiento, el cual resume las principales etapas en cadena logística de entrada, proceso de tratamiento y cadena logística.

Figura 10. Flujoograma general del proceso de aprovechamiento de RCD en plantas de reciclaje





Nota aclaratoria (*) Conforme a lo documentado la mayor parte de aprovechamiento de RCD proviene del sector formal, pero cabe resaltar que también hay una proporción generada por el sector informal

Fuente: Elaboración propia en base a [39]

A. Cadena logística de entrada

Antes de ingresar al área de proceso, los vehículos que transportan los residuos pasan por un punto de control de acceso donde se registra la información del transporte y se realiza el pesaje en báscula de entrada. A la entrada de la planta, la báscula permite llevar un control de información tanto de las cantidades de RCD que ingresan como de las cantidades de áridos reciclados que salen. Con cada ingreso se genera un albarán que permanece abierto hasta que el vehículo pesa a la salida para calcular el peso neto; este documento constituye el registro de trazabilidad del material admitido. Una vez completado el registro, el vehículo es autorizado para ingresar al área de descarga dentro de la planta.

B. Proceso de tratamiento

B.1 Triaje primario

Una vez que el vehículo ingresa a la planta y completa el registro en báscula, se realiza una inspección visual de los residuos transportados. De acuerdo con el tipo de residuo, su composición y características, se determina la derivación correspondiente. Los residuos no admitidos entre los que se incluyen fibrocemento, membranas asfálticas, residuos peligrosos, patogénicos, residuos sólidos domiciliarios y espuma de poliuretano, entre otros, son derivados a otros centros de tratamiento o disposición final autorizados. Los residuos admitidos son aquellos compatibles con el proceso de reciclaje de áridos: restos de obra, hormigón, ladrillo, cerámica y materiales pétreos en general.

Los vehículos con carga admitida son a su vez clasificados en dos corrientes según composición, homogeneidad y granulometría: residuos con alto porcentaje de áridos procesables, que se dirigen directamente a la línea de

procesamiento, y residuos con bajo porcentaje de áridos procesables, que se derivan hacia un área de acopio de rechazo.

B.2 Separación de fracciones

En la zona de descarga, los residuos admitidos son sometidos a una preselección manual no automatizada. En esta etapa los operarios retiran impurezas de grandes dimensiones como objetos voluminosos, maderas, plásticos, papel y cartón que por su tamaño son fácilmente identificables y separables a simple vista. Estas fracciones secundarias valorizables son agrupadas en contenedores diferenciados para su posterior remisión a gestores especializados.

Adicionalmente, cuando los residuos incluyen estructuras de hormigón armado de gran tamaño, se utiliza equipo retroexcavador con accesorios específicos, como garra demoledora, para desarmarlo y ajustar el material a las dimensiones requeridas por la línea de procesamiento. El material pétreo resultante, ya libre de impurezas voluminosas y fracciones secundarias, es dirigido hacia la línea de procesamiento mecánico.

B.3 Proceso mecánico

Una vez preparado, el material es alimentado de manera continua a la línea de procesamiento mecánico, donde se desarrollan diversas etapas de separación y transformación. Generalmente, el proceso incluye:

- **Clasificación inicial mediante cribado o trommel**, que permite separar partículas finas de mayor tamaño.
- **Separación de metales mediante sistemas magnéticos**, recuperando materiales ferrosos presentes en los residuos.
- **Eliminación de impurezas livianas** mediante sistemas de soplado o aspiración.
- **Trituración del material mineral**, generalmente mediante trituradoras de mandíbulas o de impacto, para reducir el tamaño de los residuos y generar áridos reciclados.
- **Clasificación granulométrica mediante zarandas vibratorias**, que separan el material en distintas fracciones según su tamaño.

B.4 Control de calidad

Previo al acopio final, el material procesado pasa por un control de calidad donde se verifican parámetros granulométricos y de pureza para garantizar que las fracciones producidas cumplan con las especificaciones técnicas requeridas para su comercialización.

C. Cadena logística de salida

Como resultado del proceso se obtienen diversas fracciones de áridos reciclados como polvo o arena fina, grava reciclada y áridos de diferentes granulometrías, que son conducidas automáticamente hacia patios de acopio diferenciados por tipo de producto. Desde estas zonas, el material es cargado mediante cargador frontal sobre volqueta para su despacho. Al igual que en la entrada, cada salida es registrada en báscula, llevando un control de información de las cantidades de áridos reciclados que salen de la planta, lo que permite cuantificar con precisión la producción y la tasa de aprovechamiento real del proceso. Cada despacho se formaliza con la emisión del certificado de aprovechamiento y los soportes de trazabilidad exigidos por la Resolución 1257 de 2021, garantizando el seguimiento del material desde su ingreso como residuo hasta su salida como producto reciclado. Los materiales de rechazo que no pueden ser aprovechados en planta son remitidos a instalaciones de disposición final autorizadas.

Es importante destacar que la fracción de material valorizado al final del proceso no solo provendrá de la producción de áridos granulométricamente clasificados, sino también de otros materiales valorizables como

maderas, papeles, plásticos, metales, que fueron obtenidos mediante la selección manual en la zona de descarga y la separación magnética en la línea de procesamiento.

6.2. Productos y subproductos

El proceso de tratamiento y valorización de residuos de construcción y demolición (RCD) permite recuperar diversos materiales que pueden reincorporarse a la cadena productiva del sector de la construcción. Estos productos se obtienen principalmente a partir del procesamiento de residuos minerales como hormigón, ladrillos, morteros y materiales pétreos, cuya composición y caracterización como flujo de entrada se presenta en detalle en la sección 1 del presente informe, los cuales son transformados mediante trituración, clasificación y separación mecánica para generar áridos reciclados y otros materiales aprovechables.

En Colombia, el aprovechamiento de RCD se considera una estrategia clave dentro de la economía circular del sector construcción, debido al alto consumo de recursos naturales asociado a esta industria. El sector de la construcción utiliza aproximadamente el 60 % de los recursos naturales extraídos y genera más del 20 % de los residuos asociados a los materiales utilizados en obra, lo que evidencia el potencial de valorización de estos residuos mediante su transformación en nuevos materiales de construcción [40].

En este contexto, las plantas de aprovechamiento de RCD permiten producir materiales secundarios que pueden sustituir parcialmente agregados naturales, reduciendo la extracción de recursos y los impactos ambientales asociados a la disposición de escombros [41].

Del procesamiento del RCD se derivan tres corrientes de salida diferenciadas: un producto principal de áridos reciclados clasificados por granulometría, que representa entre el 56,8% y el 71,1% del total del RCD procesado según el nivel de segregación en origen [42]; materiales secundarios recuperables con mercados activos, principalmente metales ferrosos y no ferrosos, cuya proporción recuperable se estima en torno al 4-6% del flujo de entrada en función de la composición del RCD recibido [43]; y una fracción de rechazo (plásticos, madera y materiales contaminados) que representa típicamente entre el 20% y el 30% del total ingresado y requiere gestión como residuo en instalación autorizada. Cada una de estas corrientes se describe a continuación.

A. Productos principales

El principal producto generado en plantas de tratamiento de RCD corresponde a áridos reciclados, obtenidos a partir de la trituración y clasificación de materiales pétreos como hormigón, ladrillos, bloques cerámicos o morteros. Estos materiales pueden separarse en diferentes fracciones granulométricas que posteriormente se utilizan como agregados en obras de construcción.

Estudios académicos sobre el aprovechamiento de RCD indican que, tras el proceso de trituración y clasificación, es posible obtener fracciones gruesas, finas y polvo, que pueden emplearse como agregados reciclados en diversas aplicaciones de la construcción.

Las fracciones granulométricas más comunes que se obtienen incluyen:

- **Árido grueso reciclado**, utilizado en bases y subbases viales o en mezclas de concreto con sustitución parcial de agregados naturales.
- **Árido fino reciclado**, que puede emplearse en morteros, rellenos o mezclas de menor resistencia.
- **Material granular o zahorra**, utilizado en rellenos estructurales, nivelación de terrenos o estabilización de suelos.

En lo que respecta a los requerimientos de calidad y aceptación comercial de los productos obtenidos a partir del aprovechamiento de RCD, se propone clasificar la producción de la planta en diferentes grados de agregado reciclado, definidos según su granulometría, composición, desempeño mecánico y uso final esperado. Esta clasificación permite diferenciar los productos con potencial de mayor valor comercial, como agregados para

concreto no estructural, prefabricados o capas granulares, de aquellos con aplicaciones de menor exigencia técnica, como material de relleno, nivelación o cobertura.

La aceptación de estos productos en el mercado no dependerá únicamente del volumen disponible, sino de su capacidad para cumplir especificaciones técnicas verificables mediante ensayos de laboratorio. Por ello, cada corriente de producto deberá contar con una ficha técnica que incluya, como mínimo: tamaño nominal, curva granulométrica, porcentaje de finos, absorción, densidad, resistencia al desgaste, contenido de partículas livianas o contaminantes, presencia de yeso, madera, plástico, vidrio, metales, asfaltos u otros impropios, y uso recomendado. En el caso colombiano, estas especificaciones deberán verificarse con base en las normas NTC aplicables para agregados de concreto, las especificaciones INVIAS para materiales granulares en infraestructura vial, y, cuando no exista una norma colombiana específica para agregado reciclado, normas internacionales equivalentes como ASTM.

Tabla 8. Características técnicas de los productos de RCD pétreos

Producto	Granulometría referencial	Uso potencial	Especificaciones mínimas	Normas aplicables
Agregado reciclado grueso tipo ARG-19	4,75-19mm	Concreto no estructural, prefabricados, bordillos, bloques, cunetas, bases granulares de baja exigencia	Material predominantemente pétreo o concreto triturado; curva granulométrica controlada; contenido de finos menor a 3–5% para usos cementicios; desgaste Los Ángeles recomendado $\leq 40-50\%$; absorción controlada; libre de madera, plástico, yeso, vidrio y metales visibles; contaminantes livianos preferiblemente $<1\%$ en masa	NTC 174 (Colombia) o equivalente ASTM C33/C33M para agregados de concreto; ASTM C136/C136M para granulometría; ASTM C117 para finos; ASTM C131/C131M para abrasión; especificaciones INVIAS si se usa en capas granulares
Agregado reciclado medio tipo ARM-12	4,75-12,5mm	Prefabricados menores, adoquines no estructurales, morteros gruesos, capas drenantes o mezclas granulares	Granulometría uniforme; bajo contenido de finos; partículas limpias, duras y estables; control de absorción por mayor porosidad del RCD; ausencia de yeso, madera, plástico y residuos orgánicos; control de partículas cerámicas si el uso es cementicio	NTC 174 / ASTM C33/C33M; ASTM C136/C136M; ASTM C117; ASTM C131/C131M; normas de producto aplicables para prefabricados
Agregado reciclado fino tipo ARF-4	0-4,75mm	Morteros no estructurales, prefabricados de baja exigencia, cama de tuberías, nivelación, mezclas granulares	Módulo de finura y curva granulométrica controlada; contenido de finos menor a 5–10% según uso; ausencia de arcillas expansivas, materia orgánica y yeso; humedad controlada; no recomendable para concreto estructural sin validación de diseño de mezcla	NTC/ASTM para agregado fino; ASTM C136/C136M; ASTM C117; ensayos de materia orgánica y partículas deleznales según NTC/ASTM equivalentes
Material granular reciclado para subbase	0-37,5mm, dependiente de la especificación de obra	Subbase granular, mejoramiento de caminos internos, plataformas, parqueaderos, vías secundarias	Granulometría continua; plasticidad baja o nula; CBR conforme al diseño vial; desgaste Los Ángeles dentro de límites de especificación; bajo contenido de finos plásticos; libre de residuos orgánicos, yeso, madera, plástico y metales	Especificaciones Generales de Construcción de Carreteras INVIAS, artículos de afirmados, subbases y bases granulares; métodos de ensayo INV; ASTM equivalentes para granulometría, abrasión y finos.

				INVIAS mantiene sus documentos técnicos y especificaciones como referencia para obras viales.
Material granular reciclado para base	0-25mm o 0-37,5mm según diseño	Base granular en aplicaciones no críticas o con validación de desempeño	Exigencia superior a subbase: granulometría bien graduada, mayor resistencia mecánica, menor plasticidad, control estricto de finos y desgaste; requiere ensayos de compactación, CBR, abrasión y durabilidad antes de aceptación	INVIAS para bases granulares; métodos INV; ASTM C136/C136M, ASTM C117, ASTM C131/C131M como equivalentes de ensayo
Material reciclado para relleno y nivelación	0-75mm según obra	Rellenos, nivelación de terrenos, conformación de plataformas, cobertura operativa	Control básico de tamaño máximo; ausencia de residuos peligrosos, orgánicos, yeso en exceso, madera, plástico y metales; humedad adecuada para compactación; no debe usarse en concreto ni capas estructurales sin reclasificación	Resolución 0472 de 2017 y Resolución 1257 de 2021 para gestión/aprovechamiento de RCD; especificaciones particulares de obra; ensayos de compactación y granulometría cuando aplique.

Fuente: Elaboración propia a partir de [44], [45], [46], [47], [48], [49], [50]

Diversos estudios y guías técnicas indican que los áridos reciclados provenientes de RCD pueden utilizarse en bases y subbases de carreteras, prefabricados de concreto, bloques y elementos constructivos, así como en la fabricación de nuevos materiales de construcción [51].

B. Materiales separados durante el proceso

Además del aprovechamiento de la fracción mineral, el proceso de clasificación de los RCD permite recuperar otros materiales presentes en los residuos de obra, los cuales pueden ser enviados a gestores especializados para su reciclaje.

Durante la operación de plantas de tratamiento de RCD se separan comúnmente materiales como:

- Metales ferrosos y no ferrosos (acero, hierro, aluminio)
- Madera
- Plásticos

Estos materiales suelen extraerse mediante sistemas de separación magnética, clasificación manual o cabinas de selección instaladas en las líneas de tratamiento.

De este grupo solamente los metales, principalmente el hierro, pueden ser valorizados. Para ser precisos, los metales pueden venderse como chatarra a través de recicladores, ascendiendo el valor de este producto a COP 781.000 la tonelada [52]. En caso de lata o aluminio adecuadamente separados este valor podría ascender hasta COP 5.600.000 [52], pero la obtención de estos metales en forma suficientemente limpia para su venta en este rango de precio es complicada. En tal sentido, la principal vía de valorización de metales ferrosos sería su venta como chatarra.

En general, las plantas de reciclaje de RCD producen como resultados áridos reciclados y materiales valorizables, mientras que los componentes no aprovechables se destinan a disposición final.

C. Fracción no aprovechable

Durante el proceso de tratamiento también se genera una fracción de residuos que no puede ser valorizada debido a su composición, contaminación o incompatibilidad con los procesos de reciclaje. Esta fracción, conocida como rechazo, incluye materiales como residuos mezclados con contaminantes, algunos compuestos no reciclables o elementos que no cumplen con los requisitos de calidad para su aprovechamiento. Esta fracción

suele representar aproximadamente el 20-30% de los residuos que llegan a la planta, y deben ser gestionados mediante su transporte a instalaciones autorizadas de disposición final o tratamiento especializado, garantizando un manejo ambientalmente adecuado [53].

Entre estos materiales se suelen encontrar el plástico y la madera, dado que su nivel de contaminación suele ser excesivamente alto. Sumado a esto, en el caso del plástico, los tipos de plásticos que se encuentran son sumamente diversos, siendo desde tubos de PVC hasta botellas tiradas por los trabajadores de la obra. Esto suele significar que los productos plásticos se encuentran en proporciones inconsistentes y con cantidades significativas de contaminantes, imposibilitando su valorización. Si bien esto podría revertirse con una mejor separación en la obra de la que se reciban los residuos, estos productos no deben ser considerados como parte de la fracción aprovechable.

6.3. Infraestructura y dimensionamiento industrial

El dimensionamiento e infraestructura de una planta de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) depende principalmente de factores como la capacidad de tratamiento de residuos, la composición de los flujos de entrada, el nivel de tecnificación de los procesos y los productos finales que se desean obtener. A partir del benchmarking realizado en plantas de Colombia, Perú, Argentina y España, se observa que existe una amplia variabilidad en las capacidades de procesamiento y en la complejidad de las configuraciones operativas, lo que permite establecer referencias para el diseño de este tipo de instalaciones.

En particular, se identifica que plantas con mayores capacidades de tratamiento, como el Centro de Reciclaje de la Ciudad en Buenos Aires (2.400 ton/día), presentan líneas de procesamiento más robustas e integradas, incorporando múltiples etapas de clasificación, separación y transformación mecánica. En contraste, plantas de menor escala, como algunas instalaciones en España (28.000 ton/año), operan con configuraciones más simples, centradas principalmente en procesos de trituración y cribado, con menor nivel de automatización.

Esta relación evidencia que, a medida que aumenta la capacidad de tratamiento, se requiere una mayor complejidad tecnológica e infraestructura más extensa, incluyendo sistemas continuos de alimentación, múltiples equipos de trituración, líneas de clasificación más sofisticadas y mayores áreas de acopio para materiales de entrada y productos reciclados. Asimismo, plantas de mayor escala suelen incorporar sistemas adicionales de control de polvo, gestión de aguas y manejo logístico interno, necesarios para garantizar la operación eficiente y el cumplimiento de normativas ambientales.

En términos de infraestructura industrial, las plantas de RCD se estructuran generalmente en torno a los siguientes componentes:

- **Áreas de recepción y control:** incluyen básculas, accesos vehiculares y zonas de inspección para el registro y validación de los residuos entrantes.
- **Zonas de descarga y almacenamiento temporal:** destinadas al acopio inicial de residuos, cuya extensión depende del volumen de entrada y la continuidad operativa de la planta.
- **Áreas de pretratamiento y clasificación:** donde se realizan actividades de triaje manual o mecánico para remover materiales no procesables o separar fracciones valorizables.
- **Línea de procesamiento mecánico:** compuesta por equipos de trituración, cribado, separación magnética y sistemas de transporte (cintas), cuya configuración y capacidad determinan el rendimiento global de la planta.
- **Zonas de acopio de productos y rechazos:** espacios diferenciados para el almacenamiento de áridos reciclados según granulometría, así como de materiales no aprovechables.
- **Infraestructura auxiliar:** incluye vías internas, sistemas de drenaje, control de emisiones (polvo y ruido), áreas administrativas y servicios para el personal.

Adicionalmente, el dimensionamiento del espacio requerido debe considerar variables operativas clave como la rotación de materiales, tiempos de almacenamiento, logística de transporte interno y externo, y condiciones de mercado para los productos reciclados. Estudios internacionales indican que las plantas de reciclaje de RCD pueden ocupar desde algunos miles hasta varias hectáreas, dependiendo de su capacidad y del grado de integración de los procesos.

6.4. Análisis financiero y de capital humano

El análisis financiero de una planta de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) permite estimar los requerimientos de inversión y los costos asociados a su operación, constituyendo un elemento clave para evaluar su viabilidad económica. En esta sección se analizan, en primer lugar, los costos de inversión (CAPEX), relacionados con el diseño, construcción y puesta en marcha de la planta, y, en segundo lugar, los costos operacionales (OPEX), asociados a su funcionamiento.

Ambos componentes se evalúan en función de la capacidad de tratamiento, el nivel de tecnificación de la planta y las condiciones operativas identificadas en los apartados anteriores, permitiendo establecer rangos de referencia para el desarrollo del proyecto.

6.4.1. Inversión inicial (CAPEX)

La inversión de capital (CAPEX) corresponde al conjunto de costos necesarios para la implementación de una planta de aprovechamiento de RCD, abarca desde la preparación técnica y legal del predio hasta la adquisición de activos fijos y la puesta en marcha de los sistemas de procesamiento.

El nivel de inversión requerido depende principalmente de la capacidad de procesamiento de la planta, la complejidad de las líneas de tratamiento y el grado de automatización de los procesos, observándose, a partir del benchmarking, una relación directa entre escala de operación y magnitud del CAPEX.

En la Tabla 9 se presenta el desglose de los tres componentes estratégicos que integran la inversión inicial. Esta clasificación permite diferenciar entre la infraestructura de soporte para la operación industrial (Terreno y habilitación), los activos destinados a la transformación física del residuo (Equipamiento y maquinaria) y los elementos complementarios que garantizan la habitabilidad y el soporte administrativo (Muebles y enseres).

Tabla 9. Componentes del CAPEX para plantas de RCD

Componentes	Descripción
Terreno y habilitación (obra civil)	Comprende la adquisición del predio y todas las intervenciones físicas definitivas necesarias para transformar el terreno en una plataforma industrial operativa. Incluye la infraestructura que soporta las cargas de la maquinaria y las edificaciones de servicio. También incluye las licencias ambientales.
Equipamiento y maquinaria	Representa la inversión en tecnología de procesamiento y logística interna. Son los activos móviles y fijos encargados de la transformación mecánica de los RCD y el movimiento de grandes volúmenes de material.
Muebles y enseres	Incluye el equipamiento complementario necesario para la habitabilidad de las zonas administrativas y el soporte operativo del personal, asegurando el cumplimiento de las condiciones de trabajo.

Fuente: Elaboración propia

A partir de los componentes identificados, es posible estructurar una estimación referencial del CAPEX para una planta tipo de aprovechamiento de RCD. Dado que los costos específicos pueden variar según la ubicación, escala y tecnología utilizada, se presentan a continuación rangos de inversión basados en supuestos de capacidad y configuración operativa.

Tabla 10. Estimación referencial de CAPEX para una planta de RCD

Componente	Subcomponente	Unidad	Supuesto	Costo estimado (COP)
Terreno y habilitación (obra civil)	Costo total		Para un terreno de 3000 m ²	1000 millones-8000 millones
	Costo total		Para un terreno de 7000m ²	2.265 millones-19.000 millones
	Costo total		Para un terreno de 15.000 m ²	4800 millones-42000 millones
Equipos y maquinaria	Volqueta sencilla	unidad	Capacidad: 11 - 11,68 ton	52.300.000 – 83.000.000
	Báscula	unidad	Capacidad: 20 - 40 ton (máx.)	5.000.000 - 17.230.350
	Tolva de Alimentación	unidad	Capacidad: 30 ton /h Marca: Cromang Ingeniería	19.800.000
	Trituradora de impacto (pequeña)	unidad	Capacidad: 10 ton/h Marca: Cromang Ingeniería	25.000.000
	Trituradora de impacto (mediana)	unidad	Capacidad: 15-50 ton/h	54.305.817-144.815.514
	Trituradora de impacto (grande)	unidad	Capacidad: 50-120 ton/h	144.815.514 - 325.834.906
	Trituradora de mandíbula (pequeña)	unidad	Capacidad: 19 - 20 ton/h	30.000.000 – 36.000.000
	Trituradora de mandíbula (mediana)	unidad	Capacidad: 20-50 ton/h	25.342.714-90.509.696
	Trituradora de mandíbula (grande)	unidad	Capacidad 50-150 ton/h	108.611.635-362.038.785
	Banda Transportadora	unidad	Capacidad: 30 ton/h Marca: Cromang Ingeniería	10.200.000
	Separador Magnético	unidad	Capacidad: 10 ton/h Marca: Dismet	11.000.000
	Separador Magnético	unidad	15-50 ton/h	10.861.163-72.407.757
	Separador Magnético	unidad	50+ ton/h	72.407.757-579.262.056
	Criba	unidad	Capacidad: 30 ton Marca: Cromang Ingeniería	30.000.000
	Retroexcavadora	unidad	Capacidad: 7.4 - 7.8 ton	72.000.000 – 100.000.000
Muebles y enseres	Sillas escritorio	unidad	Cantidad: 4	399.600
	Escritorio	unidad	Cantidad: 4	559.600
	Computador de escritorio	unidad	Cantidad: 4	4.396.000
	Impresora multifuncional	unidad	Cantidad: 2	840.000

Fuente: [54]

La tabla presentada detalla los costos asociados a la adquisición del terreno, habilitación y maquinaria para una planta de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD), especificando cómo varían estos costos en función de la capacidad de la planta y de los equipos necesarios para su funcionamiento.

En cuanto a los costos de terreno y habilitación (obra civil), estos dependen directamente de la capacidad de la planta e incluyen. También incluye los costos asociados con las licencias ambientales y la normativa vigente. Para una planta con capacidad de 50-150 ton/día, el costo estimado de habilitación es de COP 2.896 millones, lo que incluye la preparación del terreno, excavación, cimentación y la instalación de redes de servicios básicos. En contraste, para una planta de mayor capacidad, de más de 150 ton/día, el costo de habilitación aumenta considerablemente, alcanzando COP 12.671 millones. Esta diferencia refleja la mayor inversión requerida para obras civiles, infraestructura y servicios en plantas de mayor tamaño.

En cuanto a los equipos y maquinaria, los costos también muestran una variabilidad significativa según la capacidad de los mismos. Por ejemplo, la tolva de alimentación con una capacidad de 30 ton/h tiene un costo de COP 19.800.000, mientras que las trituradoras de impacto pequeña, con una capacidad de 10 ton/h, tienen un costo de COP 25.000.000. A medida que aumenta la capacidad de los equipos, también lo hace el costo, como se observa en el caso de las trituradoras de impacto medianas (15-50 ton/h), cuyos precios varían entre COP 54.305.817 y COP 144.815.514. Las trituradoras de mandíbula, con capacidades mayores (50-150 ton/h), tienen un costo que oscila entre COP 108.611.635 y COP 362.083.785, dependiendo de la capacidad y la marca.

En resumen, los costos de la planta de aprovechamiento de RCD varían considerablemente dependiendo de su capacidad de procesamiento. Las plantas de mayor capacidad requieren no solo una mayor inversión en terreno e infraestructura, sino también equipos de mayor capacidad, lo que se refleja en los costos de maquinaria y equipos. Esta relación entre capacidad y costo es evidente tanto en la habilitación del terreno como en la adquisición de maquinaria, mostrando cómo los costos se incrementan de manera proporcional al tamaño y la capacidad de la planta.

6.4.2. Costos de operación (OPEX)

Los costos operacionales (OPEX) corresponden a los gastos asociados al funcionamiento continuo de una planta de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD), incluyendo aquellos requeridos para el procesamiento de los residuos, el mantenimiento de los equipos y la gestión operativa general. A diferencia del CAPEX, estos costos se incurren de manera recurrente durante la vida útil del proyecto y están directamente relacionados con la capacidad de tratamiento, el nivel de utilización de la planta y el grado de mecanización de los procesos.

En el caso de plantas de RCD, el OPEX está fuertemente influenciado por el consumo energético de los equipos de trituración y clasificación, la operación de maquinaria pesada, los requerimientos de mano de obra y los costos asociados a la gestión de materiales no valorizables.

Tabla 11. Componentes del OPEX para plantas de RCD

Componentes	Descripción
Mano de obra	Representa los costos asociados al personal operativo, administrativo y de supervisión necesarios para el funcionamiento de la planta.
Energía eléctrica	Comprende los consumos de electricidad de los equipos de trituración, clasificación y transporte interno.
Combustibles	Representa los costos asociados al consumo de combustibles, principalmente diésel, utilizados por maquinaria móvil como cargadores frontales, excavadoras y otros equipos de apoyo.
Mantenimiento	Comprende los costos asociados a la conservación de los equipos e infraestructura, incluyendo mantenimiento preventivo y correctivo, reposición de piezas de desgaste y servicios técnicos especializados.
Servicios públicos	Representa los costos asociados a la provisión de servicios básicos necesarios para la operación de la planta, incluyendo el consumo de agua para el control de polvo, limpieza de instalaciones y procesos auxiliares.

Fuente: Elaboración propia

A partir de los componentes operacionales identificados, en la Tabla 12 se presenta una estimación referencial de los costos operacionales anuales para una planta tipo de aprovechamiento de RCD. Dado que estos costos pueden variar en función de la escala de operación, el nivel de utilización de la capacidad instalada y las condiciones locales, se utilizan rangos de estimación para un primer año de operación representativo.

Estos valores se basan en supuestos de operación continua y en referencias obtenidas de literatura técnica y benchmarking nacional, constituyendo una aproximación preliminar para el análisis financiero del proyecto.

Tabla 12. Estimación referencial de OPEX para una planta de 50-100 ton/día de RCD

Componente	Tamaño de planta	Costo estimado Año 1 (COP)
Mano de obra	Planta de 50 ton/día	129.969.646 - 400.685.056
Energía eléctrica	Planta de 50 ton/día	6.751.800 - 17.155.179
Combustibles	Planta de 50 ton/día	13.530.000 - 16.174.487
Mantenimiento de maquinas	Planta de 50 ton/día	3.538.738 - 7.560.000
Servicios públicos	Planta de 50 ton/día	1.440.000 - 1.854.000
Costo total	Planta de 50 ton/día	155.230.184-443.428.722
Mano de obra	Planta de 100 ton/día	259.939.292-801.370.112
Energía eléctrica	Planta de 100 ton/día	13.503.600-34.310.358
Combustibles	Planta de 100 ton/día	27.060.000-32.348.974
Mantenimiento de maquinas	Planta de 100 ton/día	7.077.476-15.120.000
Servicios públicos	Planta de 100 ton/día	2.880.000-3.708.000
Costo total	Planta de 100 ton/día	310.460.368-886.857.444

Fuente: [55]

La tabla presentada muestra una estimación referencial de los costos operativos (OPEX) para plantas de reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCD), con capacidades de 50 y 100 toneladas por día. Los valores varían dependiendo de los componentes que se incluyen en los costos operativos, como mano de obra, energía eléctrica, combustibles, mantenimiento de máquinas y servicios públicos.

Para una planta de 50 ton/día, los costos totales estimados para el primer año oscilan entre COP 155,23 millones y COP 443,42 millones, con mano de obra representando el mayor costo dentro de esta planta, alcanzando entre COP 129,97 millones y COP 400,68 millones. Otros gastos relevantes son la energía eléctrica y mantenimiento de máquinas, con costos en el primer año entre COP 6,75 millones y COP 17,16 millones y entre COP 3,54 millones y COP 7,56 millones, respectivamente.

Por otro lado, para una planta de 100 ton/día, los costos totales se estiman entre COP 310,46 millones y COP 886,86 millones, destacando que los costos de energía eléctrica y combustibles aumentan considerablemente, alcanzando COP 13,50 millones a COP 34,31 millones para la energía eléctrica y COP 27,06 millones a COP 32,35 millones para los combustibles.

Es importante mencionar que una planta de 100 toneladas por día es relativamente pequeña dentro del espectro de plantas industriales dedicadas al reciclaje de RCD. Las plantas más grandes, con capacidades de 1000 ton/día o más, suelen tener costos operativos bastante mayores debido a la escala de operación, el volumen de residuos a tratar, y la complejidad de los procesos industriales involucrados. Por lo tanto, los costos operativos de plantas de mayor capacidad podrían superar significativamente los valores mencionados en esta tabla, especialmente en lo que respecta a energía, personal y mantenimiento de equipos, dado el mayor volumen de residuos procesados y la necesidad de instalaciones y maquinaria más sofisticada.

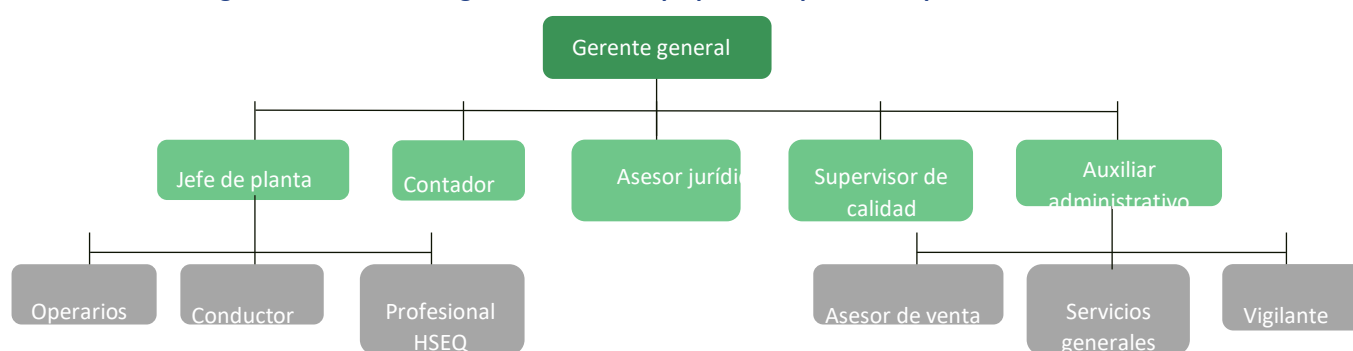
En conclusión, aunque las cifras presentadas son indicativas de los costos aproximados para plantas de tamaños modestos, en el caso de proyectos más grandes, los costos de operación también se incrementarán proporcionalmente.

6.4.3. Estructura de capital humano

El capital humano representa el activo estratégico fundamental para la operatividad de una planta de aprovechamiento de RCD. La gestión de este recurso no solo se orienta a la ejecución de tareas mecánicas, sino a la supervisión técnica, el cumplimiento de rigurosos protocolos de seguridad industrial y la garantía de calidad de los áridos recuperados. La configuración del equipo de trabajo responde a una estructura interdisciplinaria que equilibra las capacidades administrativas, comerciales y operativas de campo.

La organización del talento humano se estructura de manera jerárquica para facilitar la gestión por procesos y el control de las líneas de producción. En la Figura 11 se presenta el organigrama general tipo para una planta de aprovechamiento de RCD, donde se detallan los perfiles clave, desde la dirección estratégica y el control de calidad hasta el personal de operación de maquinaria y triaje manual, necesarios para el funcionamiento integral de la instalación.

Figura 11. Estructura orgánica funcional tipo para una planta de aprovechamiento de RCD



Fuente: [55]

Posteriormente, es fundamental desglosar las responsabilidades inherentes a cada nivel del esquema propuesto. La especialización de los roles permite que las actividades de recepción, procesamiento y administración se ejecuten bajo parámetros de eficiencia técnica.

En la Tabla 13 se muestran los cargos, la cantidad requerida por cargo, las funciones, perfiles, tipos de contratos, modalidades del contrato y jornada del personal necesario para la planta de aprovechamiento de RCD, como se muestra a continuación:

Tabla 13. Matriz de roles, responsabilidades y funciones por áreas operativas y administrativas

Personal	Cantidad requerida	Funciones	Perfil requerido	Tipo / Modalidad de contrato	Jornada
Gerente general	1	Será el responsable de planificar el proyecto y los recursos a su cargo, integrar los esfuerzos de todas las áreas de la empresa, administrador de recursos físicos, tecnológicos, humanos y financieros.	Persona capaz de capacitar, supervisar, motivar y corregir al personal a cargo, con habilidades de liderazgo, comunicación y compromiso. Con estudios en economía, administración, finanzas y/o producción. Experiencia mínima 2 años en cargos similares	Contrato laboral/ Contrato a término indefinido	Tiempo completo
Profesional HSEQ	1	Responsable de diseñar y estructurar un programa de salud, seguridad y medio ambiente y de implementarlo.	Profesional en Seguridad y Salud en el Trabajo o profesional con posgrado/ especialización en SST, con licencia en SST vigente expedida por la Secretaría de Salud, certificación del curso virtual de 50 horas en SST (Res. 4927 de 2016 del Ministerio del Trabajo), y conocimiento en gestión ambiental y normativa RCD (Resoluciones 0472 de 2017 y 1257 de 2021). Experiencia mínima de 2 años en cargos relacionados con SG-SST en empresas industriales o de gestión de residuos.	Contrato laboral/ Contrato a término indefinido	Tiempo completo
Auxiliar administrativo	1	Su función principal recursos humanos y tendrá a su cargo otras áreas. Deberá archivar, planificar y coordinar las actividades a su cargo, desarrollando los respectivos informes.	Persona responsable, con habilidades de comunicación y trabajo autónomo. Estudiante de últimos semestres o profesional en Administración, contabilidad o áreas afines. Experiencia mínima 1 año en cargos similares.	Contrato laboral/ Contrato a término indefinido	Tiempo completo
Jefe de planta	1	Dirigir, controlar y apoyar la técnica utilizada en el proceso de fabricación, y realizar la estructura de los trabajadores que laboran en la planta, con base a normas de calidad, medio ambiente y prevención de riesgos laborales.	Ingeniero de producción con mínimo 3 años de experiencia en el cargo.	Contrato laboral/ Contrato a término indefinido	Tiempo completo
Operarios área de pesaje y tratamiento RCD	2	Encargados del funcionamiento y control de equipos y maquinas, en los procesos de	Técnicos en producción y manejo de máquinas.	Contrato laboral/ Contrato a término indefinido	Tiempo completo

Elaboración de estudios de dimensionamiento y proyección sobre el uso de energías renovables y circularidad en el Valle del Cauca

Informe final de resultados del producto 2.4 – Determinación de la factibilidad preliminar de una planta de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición en el Valle del Cauca

Operarios zona mezcladora y bloquera	2	producción, siguiendo instrucciones del jefe de planta.			
Operarios zona de secado, almacenamiento final y cargue de productos	2				
Conductor camión	4	Encargado del transporte, entrega y traslado por la planta de los materiales de construcción, verificación diaria del estado del vehículo y reportar las posibles fallas presentadas al jefe de planta.	Conductores con licencia de conducción categoría C2. Experiencia en retroexcavadora /minicargador/ volqueta sencilla, mínima de 1 año.	Contrato a término indefinido	Tiempo completo
Supervisor de calidad	1	Encargado de inspeccionar los productos fabricados, realizando pruebas de laboratorio para cumplir con especificaciones de alta calidad. Realiza visitas para supervisar la producción.	Persona capaz de realizar informes dirigidos al jefe de planta, sobre el estado de la producción. Atender cualquier inquietud del personal. Con conocimientos en pruebas de laboratorio para prefabricados de construcción, supervisor de calidad. Experiencia mínima 6 meses en cargos a fines.	Contrato por prestación de servicios / Contrato por labor realizada	Tiempo por hora labor
Contador	1	Documentar informes financieros de la empresa, revisar libros contables, analizar ganancias y gastos, elaborar balance de libros financieros.	Persona que asesore a la empresa en la parte financiera, mejoras para el negocio, reducción de costos, insolvencias, entre otros, presentado informes mensuales. Con estudios en Contaduría pública o contabilidad o afines. Experiencia mínima 2 años.	Contrato por prestación de servicios/ Contrato por labor realizada	Tiempo por hora labor
Asesor jurídico	1	Asesoramiento en actuaciones jurídicas, defender los intereses de la empresa en juicios, aconsejar en materia de derecho empresarial y participar en negociaciones laborales.	Profesional en derecho encargado de asesorar a la empresa en temas jurídicos, con conocimiento en normativa laboral, mercantil o tributaria. Experiencia mínima 1 año.	Contrato por prestación de servicios/ Contrato por labor realizada	Tiempo por hora labor
Asesor de ventas	1	Administración y manejo del punto de venta, alcanzar metas establecidas en el presupuesto de ventas.	Profesional en administración de empresas, mercadeo y publicidad, comunicación, ingenierías). Mínimo 2 años de experiencia en ventas de materiales para la construcción y/o industria metalmecánica.	Contrato laboral/ Contrato a término indefinido	Tiempo completo

Elaboración de estudios de dimensionamiento y proyección sobre el uso de energías renovables y circularidad en el Valle del Cauca

Informe final de resultados del producto 2.4 – Determinación de la factibilidad preliminar de una planta de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición en el Valle del Cauca

Servicios generales	1	Persona responsable del aseo de las áreas asignadas y prestar el servicio de cafetería.	Velar por la buena presentación y orden de las -oficinas y zonas comunes de la dependencia asignada. Sin o con experiencia en cargos similares.	Contrato por prestación de servicios/ Contrato por labor realizada	Tiempo por hora labor
Vigilante	1	Ejercer la vigilancia y protección de bienes muebles e inmuebles. Así como la protección de las personas que puedan encontrarse en los mismos.	Persona que cuente con curso de vigilancia y tenga 1 año de experiencia en cargos relacionados	Contrato laboral/ Contrato a término indefinido	Tiempo completo

Fuente: [55]

Adicionalmente, más allá de los empleos directos asociados a la estructura organizacional de la planta, la implementación de este tipo de proyectos genera impactos positivos en el empleo indirecto y en el desarrollo económico local. En particular, se dinamizan actividades relacionadas con el transporte de residuos, el mantenimiento de equipos, la comercialización de materiales reciclados y la prestación de servicios asociados, ampliando así la cadena de valor del aprovechamiento de RCD.

A nivel internacional, distintos estudios y experiencias en la implementación de plantas de reciclaje de residuos de construcción y demolición evidencian que estas iniciativas contribuyen a la generación de empleo local, la formalización de actividades vinculadas a la gestión de residuos y el desarrollo de nuevas oportunidades económicas [56].

7. Adaptación al contexto departamental

En el contexto de la gestión de residuos de construcción y demolición en el Valle del Cauca, resulta fundamental analizar las condiciones que inciden en la implementación de soluciones de aprovechamiento en el territorio. Este tipo de iniciativas requiere considerar no solo las características de los residuos generados, sino también los factores logísticos, tecnológicos y operacionales que pueden influir en su desarrollo.

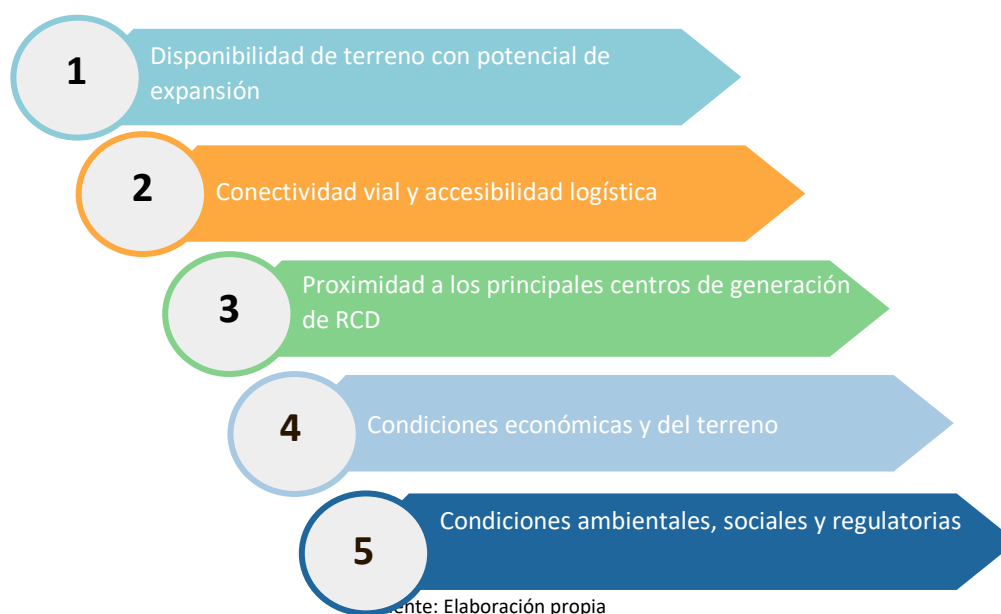
En este sentido, la adaptación de una planta de aprovechamiento de RCD al contexto departamental implica evaluar diversos elementos que condicionan su viabilidad y desempeño, así como su articulación con las dinámicas locales del sector construcción y gestión de residuos.

A continuación, se presentan las principales condiciones a considerar para la implementación de una planta de aprovechamiento de RCD en el Valle del Cauca.

7.1. Condiciones logísticas y territoriales

La ubicación de una planta de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) en el Valle del Cauca debe responder a un conjunto de criterios logísticos, territoriales, ambientales y económicos que inciden directamente en su viabilidad técnica, operativa y financiera. La Figura 12 agrupa estos criterios considerados.

Figura 12. Condiciones logísticas y de terreno para la planta de aprovechamiento de RCD



En primer lugar, se debe considerar la **disponibilidad de terreno** con potencial de expansión, asegurando que el área seleccionada permita no solo la instalación de la infraestructura inicial, sino también el crecimiento progresivo de la planta en función del aumento en la generación de RCD o de mejoras en los sistemas de recolección y separación en origen. Este aspecto resulta especialmente relevante en contextos donde se espera una mayor presión por valorización de residuos en el mediano y largo plazo.

La **conectividad vial y accesibilidad logística** constituye otro factor determinante, dado que la operación de este tipo de instalaciones depende del transporte constante de grandes volúmenes de materiales. En este sentido, se priorizan ubicaciones cercanas a corredores logísticos estratégicos, vías arteriales y rutas de alto flujo de carga, que faciliten el tránsito de vehículos pesados, reduzcan tiempos de desplazamiento y minimicen costos de transporte. Asimismo, es importante considerar restricciones de movilidad urbana, como limitaciones de ingreso de camiones o congestión en zonas urbanas densas.

Un criterio clave adicional corresponde a la **proximidad a los principales centros de generación de RCD** y a los mercados de destino de los materiales reciclados. En el contexto del Valle del Cauca, la ciudad de Cali se posiciona

como el principal generador de estos residuos, concentrando gran parte de la actividad constructiva del departamento. De acuerdo con la información presentada en la Tabla 2 de la sección 4.1 los municipios de Cali y Yumbo destacan como los mayores generadores de RCD en el Valle del Cauca, con volúmenes acumulados de 2.694.265,64 y 1.664.095,84 toneladas para el periodo 2016-2020, respectivamente. En este sentido, el área de influencia comprendida entre estos municipios se configura como una zona estratégica para la localización de la planta, ya que permitiría optimizar la captación de residuos y reducir los costos asociados al transporte. Asimismo, esta proximidad favorece la comercialización de los materiales reciclados, particularmente agregados para la construcción, al encontrarse cerca de los principales centros de demanda. De esta manera, la adecuada selección de la ubicación no solo impacta la eficiencia logística del sistema, sino también la viabilidad económica del proyecto en su conjunto.

Desde el punto de vista económico, el **costo del suelo** debe ser evaluado en conjunto con otros factores como la disponibilidad de servicios básicos (agua, energía, alcantarillado) y las condiciones del terreno (topografía, capacidad portante, necesidad de adecuaciones). Terrenos de menor costo pueden implicar mayores inversiones en adecuación o mayores costos logísticos, por lo que es necesario realizar un análisis integral que equilibre estos aspectos.

Además, se deben considerar **condiciones ambientales y sociales**, tales como la distancia a zonas residenciales, con el fin de mitigar posibles impactos asociados a ruido, emisiones de material particulado y tráfico de camiones. La ubicación en zonas industriales o con vocación logística puede facilitar la aceptación social del proyecto y reducir riesgos de conflicto con comunidades cercanas.

Finalmente, la localización debe ser compatible con los instrumentos de ordenamiento territorial vigentes, particularmente en lo relativo a los usos de suelo permitidos. En Colombia, los Planes de Ordenamiento Territorial (POT), regulados por la Ley 388 de 1997, establecen la zonificación y los usos del suelo a nivel municipal, incluyendo las áreas destinadas a actividades industriales y de manejo de residuos. En este sentido, la selección del predio debe asegurar su localización en zonas aptas para este tipo de actividades, conforme a lo definido en los POT de municipios como Cali, así como el cumplimiento de los requisitos asociados al licenciamiento ambiental y permisos sectoriales.

Con el fin de complementar los criterios generales de localización, se desarrolló un análisis geoespacial orientado a identificar zonas específicas dentro del municipio de Santiago de Cali con potencial para la instalación de una planta de aprovechamiento de RCD. Para ello, se utilizaron datos oficiales de la Infraestructura de Datos Espaciales de Santiago de Cali (IDESC) y la cartografía del Plan de Ordenamiento Territorial (POT) [57], aplicando una serie de filtros técnicos de viabilidad.

En primer lugar, se estableció un criterio de área mínima de 7.000 m² (0,7 ha), correspondiente al espacio requerido para la implementación de una planta de escala compacta, de acuerdo con el diseño operativo propuesto en la Sección 7.1, que incluye zonas de acopio, báscula y áreas de maniobra para vehículos de carga. En segundo lugar, se aplicó un filtro de compatibilidad de uso de suelo, seleccionando únicamente predios clasificados como Áreas de Actividad Industrial con vocación estrictamente industrial, y excluyendo zonas de uso mixto o condicionadas a desarrollos futuros. Finalmente, se incorporó un criterio de riesgo ambiental, descartando predios ubicados en zonas con amenaza de inundación asociada al río Cauca.

Como resultado de este proceso, se identificaron 54 predios viables con uso de suelo industrial confirmado y áreas entre 7.345 m² y 103.801 m². Estos predios se concentran principalmente en dos zonas estratégicas dentro de la ciudad, las cuales presentan condiciones diferenciadas desde el punto de vista logístico y operativo:

- **Clúster norte (corredor Cali-Yumbo)**

Ubicado en las comunas 4 y 5, este clúster agrupa predios en sectores como Calima, Bolivariano, Flora Industrial y La Alianza, así como en el eje de Salomia y el corredor del Ferrocarril. Se caracteriza por una alta disponibilidad de suelo, con predios de mayor tamaño (varios superiores a 40.000 m²), y una conectividad directa con el

corredor Cali-Yumbo, principal eje logístico e industrial del departamento. Su principal ventaja radica en la cercanía a uno de los mayores focos de generación de RCD y a zonas industriales consolidadas, lo que favorece tanto la captación de residuos como la comercialización de materiales reciclados.

- **Clúster centro-orientado (corredor Calle 25)**

Localizado en la comuna 8, este clúster incluye predios en los barrios Industrial y El Troncal. Su principal fortaleza es la proximidad a zonas de alta actividad constructiva en el centro y sur de la ciudad, lo que permite reducir distancias de transporte para una parte significativa de los generadores. No obstante, presenta predios de menor tamaño (entre 7.345 m² y 21.698 m²), lo que podría limitar la escala de operación o requerir soluciones más compactas.

En conjunto, estos resultados evidencian que el municipio de Cali cuenta con zonas concretas y normativamente compatibles para la instalación de una planta de aprovechamiento de RCD. La distribución espacial de los predios identificados se presenta en la Figura 13, mientras que el detalle de su localización, barrios y áreas asociados se incluye en el Anexo 1. La selección final del predio deberá considerar un balance entre todos los puntos mencionados anteriormente.

Figura 13. Predios con uso de suelo compatible para planta de aprovechamiento de RCD en Cali



Fuente: Elaboración propia en base a [57]

Es preciso señalar que el presente análisis se circunscribe al municipio de Santiago de Cali, identificado como el principal foco de generación de RCD del departamento. Su inclusión en este análisis responde a la ventaja logística que ofrece la proximidad entre los puntos de generación y la planta de tratamiento: menores distancias de transporte se traducen directamente en menores costos operativos y en una mayor competitividad del modelo de negocio.

Para la identificación de predios, se utilizó la cartografía oficial del modelo de ocupación establecido en el POT de Cali (Acuerdo 0373 de 2014), que define las zonas con vocación de uso industrial dentro del perímetro municipal. No obstante, este ejercicio tiene un alcance exploratorio y debe entenderse como un primer filtro de viabilidad normativa. Los 54 predios identificados cumplen con los criterios de uso de suelo, área mínima y ausencia de amenaza por inundación, pero su disponibilidad real para adquisición o arrendamiento deberá verificarse en una etapa posterior mediante consulta directa al mercado inmobiliario y tramitación del concepto de uso de suelo. La compatibilidad normativa no garantiza por sí sola la instalación de la planta, ya que esta dependerá adicionalmente de los requisitos técnicos, ambientales y urbanísticos que defina la autoridad local competente para cada predio específico.

Finalmente, si bien Cali concentra la mayor proporción de la generación departamental de RCD, una estrategia de gestión territorial integral deberá contemplar la instalación de plantas en otros focos relevantes como Yumbo, Candelaria y Jamundí, cuya dinámica constructiva e industrial justifica análisis de localización similares al aquí presentado, con mayor nivel de detalle y adaptados a los instrumentos de ordenamiento territorial vigentes en cada municipio.

7.2. Adaptación tecnológica de la planta

La presente sección desarrolla la adaptación tecnológica de una planta de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) al contexto específico del Valle del Cauca. A partir de los criterios técnicos, logísticos y territoriales previamente analizados, se establecen los principales supuestos de diseño que permiten dimensionar la capacidad operativa de la planta, definir sus requerimientos de infraestructura y estimar sus implicaciones económicas y de mercado.

Para ello, el análisis se estructura en los siguientes puntos:

7.2.1. Disponibilidad y potencial de aprovechamiento de RCD en el Valle del Cauca

El dimensionamiento de una planta de reciclaje de residuos de construcción y demolición (RCD) en el Valle del Cauca parte de una comprensión realista de la disponibilidad de residuos y de las condiciones operativas que determinan su aprovechamiento efectivo. En este sentido, el dimensionamiento de la planta no debe basarse únicamente en la generación total, sino en el volumen de residuos que efectivamente pueden ser procesados bajo condiciones técnicas viables.

De acuerdo con los resultados presentados en la sección 4, el Valle del Cauca registró en 2022 una generación aproximada de 2.580.185 toneladas de residuos de construcción y demolición (RCD). Este valor corresponde al último dato disponible con un nivel adecuado de confiabilidad para el departamento, por lo que se adopta como referencia para el presente análisis. No obstante, es importante señalar que la generación de RCD podría haber experimentado un incremento en años recientes, en línea con las tendencias observadas en el sector de la construcción.

En términos de gestión, actualmente solo una fracción cercana al 15% de estos residuos es aprovechada, mientras que el 85% restante se destina a disposición final, lo que evidencia un amplio margen para el desarrollo de infraestructura de valorización en el departamento.

Sin embargo, el total de residuos generados no es completamente apto para su procesamiento en planta, debido a factores como la presencia de materiales no reciclables, contaminación, mezclas inadecuadas y pérdidas propias de las etapas de clasificación y transformación. En términos operativos, se estima que entre un 60% y un 80% de los RCD pueden ser efectivamente procesados, dependiendo de variables como la segregación en origen y la eficiencia de las operaciones. Para efectos del presente análisis, se adopta un valor representativo del 70% como supuesto de diseño.

Bajo este enfoque, del total generado en el departamento, aproximadamente 2.193.157 toneladas corresponderían al flujo actualmente destinado a disposición final y, por tanto, susceptibles de ser captados por una planta de aprovechamiento. De este volumen, se estima que cerca de 1.535.210 toneladas podrían ser efectivamente procesadas bajo condiciones operativas adecuadas, lo que evidencia la magnitud significativa del recurso disponible para su valorización y reincorporación al ciclo productivo.

A nivel territorial, una proporción significativa de este flujo se concentra en el corredor Cali-Yumbo, que constituye el principal eje de generación de RCD del departamento. Para el período 2016-2020, los municipios de Cali y Yumbo registraron volúmenes acumulados de generación de 2.694.266 y 1.664.096 toneladas, respectivamente, lo que equivale a un promedio conjunto cercano a 870.000 toneladas anuales.

Al aplicar las tasas actuales de disposición final (85%) y el factor de procesabilidad adoptado (70%), se obtiene un flujo potencialmente aprovechable del orden de 1.400 a 1.500 toneladas diarias en este corredor, consolidándolo como el principal ámbito de captación para una planta de valorización de RCD.

7.2.2. Definición de capacidad y escala de la planta de RCD en el Valle del Cauca

Con base en la disponibilidad de residuos estimada en el apartado anterior y en referentes técnicos del benchmarking nacional e internacional, se propone la implementación de una planta de aprovechamiento de RCD con una capacidad de procesamiento de aproximadamente 250 toneladas por día, equivalente a cerca de 57.000 toneladas anuales.

La definición de esta capacidad responde a una combinación de criterios de captación de mercado, escala operativa eficiente y comparabilidad con experiencias existentes. Desde la perspectiva de captación, el corredor Cali-Yumbo concentra el mayor flujo de RCD del departamento, con un volumen significativo de residuos actualmente no valorizados. En este contexto, una planta de 250 toneladas por día permitiría captar una fracción del orden del 10% al 15% del flujo potencialmente aprovechable en el corredor Cali-Yumbo, estimado en aproximadamente 1.400 a 1.500 toneladas diarias según lo desarrollado en el apartado anterior. Este nivel de captación resulta consistente con una fase inicial de implementación, considerando que la tasa de aprovechamiento formal en el departamento no supera actualmente el 15%.

En cuanto a referentes nacionales, se observa que la planta de Conesco S.A.S. en Bello (Área Metropolitana del Valle de Aburrá) opera con una capacidad anual de 80.841 m³ [22], lo que, asumiendo una densidad promedio de 1,5 t/m³, equivale aproximadamente a 500 toneladas diarias. Este valor debe interpretarse como una estimación referencial, dada la variabilidad en la composición y compactación del material. Por su parte, en el Distrito Capital la planta de la UAESP alcanza aproximadamente 350 toneladas por día en un mercado de mayor escala poblacional y territorial [58], lo que resulta consistente con el volumen de generación de RCD en Bogotá. No obstante, se observa que, aun cuando el Área Metropolitana del Valle de Aburrá presenta una menor población total en comparación con Bogotá, la capacidad instalada de procesamiento puede ser superior en ciertos casos. Esta situación se explica por factores como un mayor nivel de consolidación institucional, una gestión más articulada de los RCD y una mayor eficiencia en la captación del flujo hacia plantas de aprovechamiento, lo que permite sostener operaciones de mayor escala.

En este contexto, la planta propuesta, con una capacidad de 250 toneladas por día para una fase inicial en el Valle del Cauca, se ubica en un rango intermedio frente a los referentes nacionales analizados, siendo consistente con las condiciones del mercado regional.

Si bien al considerar únicamente la ciudad de Cali se obtendrían capacidades de diseño menores, la propuesta incorpora un enfoque regional al incluir el corredor Cali-Yumbo y otros generadores cercanos, lo que amplía el ámbito de captación y justifica una mayor escala operativa. Asimismo, esta capacidad se ajusta a las condiciones actuales del departamento, caracterizadas por niveles aún pequeños de aprovechamiento y una limitada consolidación del sistema de gestión de RCD, permitiendo un crecimiento progresivo en la medida en que se fortalezca la captación y trazabilidad de los residuos.

Finalmente, esta capacidad resulta coherente con un esquema de desarrollo progresivo del sistema de valorización de RCD en el departamento. Considerando el volumen potencialmente procesable estimado, el mercado permitiría la implementación de múltiples plantas de escala similar en el mediano-largo plazo, configurando una red distribuida de aprovechamiento que reduzca la dependencia de una única instalación de gran tamaño y favorezca una mayor cobertura territorial y eficiencia logística. Esta captación, sin embargo, está condicionada a la capacidad de agregación formal del flujo de RCD, aspecto que se desarrolla en el apartado siguiente.

7.2.3. Capacidad de acopio y transferencia

El dimensionamiento de una planta de aprovechamiento de RCD no puede derivarse únicamente del volumen de generación departamental o de la brecha entre generación y aprovechamiento presentada en la sección 4. Ambos indicadores describen un potencial teórico, pero la cantidad de residuo que efectivamente puede alimentar una instalación de procesamiento está determinada por la capacidad de la infraestructura de acopio y transferencia que agrega ese flujo antes de que llegue a planta.

A. Desbalance entre almacenamiento y procesamiento en la red de gestores actuales

Como se presentó en la Tabla 6, los 16 gestores de RCD inscritos ante la CVC reportan una capacidad conjunta de almacenamiento de 1.638.701 toneladas/mes, frente a una capacidad de aprovechamiento efectivo de apenas 86.650 toneladas/mes, concentrada en solo 4 de los 16 gestores. Este desbalance indica que la red actual está configurada predominantemente como infraestructura de acopio pasivo y disposición, no como una cadena de suministro especializada capaz de entregar material pre-clasificado a una planta de procesamiento. Adicionalmente, la distribución geográfica de estos gestores no coincide con los focos de generación donde 10 de los 16 se ubican en Candelaria y Palmira, mientras que Cali y Yumbo, que concentran el 83,9% de la generación departamental, no cuentan con gestores propios registrados de escala comparable.

B. Saturación en el punto de transferencia actual

El único sitio autorizado en el perímetro urbano de Cali para la recepción transitoria de RCD de origen residencial es la Estación de Transferencia ubicada en la Carrera 50 con Autopista Simón Bolívar. Información reciente de la Alcaldía de Cali permite dimensionar la fragilidad de este nodo único: en enero de 2024 la estación operaba al 30% de su capacidad operativa, recibiendo en promedio 350 m³/día de RCD, luego de una intervención de la Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos (UAESP), alcanzó un poco más del doble de esa capacidad hacia enero de 2025, recibiendo 600 m³/día y gestionando un total de 178.000 toneladas durante ese año. La instalación tiene una capacidad de acopio física reportada de hasta 10.000 toneladas antes de requerir evacuación, y ha presentado episodios recurrentes de saturación documentados en años anteriores, cuando la ausencia de evacuación oportuna generó acumulaciones de hasta 25.969 toneladas [59], [60], [61].

Este caso ilustra un punto clave para el dimensionamiento de la planta propuesta y es que incluso el nodo de acopio mejor gestionado del departamento opera con muy poco margen de holgura, depende de una intervención administrativa continua para no colapsar, y no incorpora ninguna función de pre-clasificación previa a la entrega del material. En consecuencia, no puede asumirse que la sola existencia de flujo no aprovechado sea equivalente a flujo disponible para una planta puesto que ese flujo primero debe ser agregado, y actualmente la única infraestructura formal que cumple esa función en Cali opera al límite de su capacidad.

C. Requerimientos de especialización del acopio

Más allá de la capacidad volumétrica, la literatura técnica sobre infraestructura de aprovechamiento de residuos sólidos en Colombia distingue entre puntos de acopio genéricos y Estaciones de Clasificación y Aprovechamiento (ECA), estas últimas diseñadas específicamente para incorporar funciones de pesaje, selección y clasificación previas al almacenamiento del material aprovechable [62]. Si bien el marco de las ECA se ha desarrollado principalmente para residuos sólidos aprovechables de origen domiciliario y no para RCD de forma específica, sus lineamientos de zonificación (recepción, pesaje, clasificación, almacenamiento diferenciado y zona de rechazos) son directamente aplicables al diseño de un nodo de acopio especializado para RCD, y su lógica operativa refuerza un punto ya identificado previamente en el benchmarking internacional del presente informe en el que se resalta que la ausencia de separación en origen o en un punto intermedio incrementa los costos de tratamiento en planta y reduce la calidad del árido recuperado.

Esto tiene una implicación directa para el proyecto que se traduce en la necesidad tanto de ampliar la capacidad de acopio (más toneladas almacenables) y especializar el acopio (pre-clasificación antes de la entrega a planta), por tanto el dimensionamiento de una planta centralizada de 250 ton/día debe considerar:

- El fortalecimiento de 2 a 3 nodos de acopio especializado (posiblemente sobre la base de gestores ya inscritos ante la CVC) como condición habilitante previa o simultánea a la puesta en marcha de la planta.
- La necesidad de un nodo de acopio propio en Yumbo, dado que actualmente no existe infraestructura formal de escala relevante en ese municipio pese a ser el segundo generador del departamento.
- La revisión de la capacidad real de la Estación de Transferencia de Cali como fuente potencial de suministro formal, considerando que opera hoy al 100% de su capacidad y no tiene margen para absorber un incremento de demanda sin inversión adicional.

7.2.4. Costos de inversión y operación de la planta de RCD propuesta

En términos de inversión, el CAPEX estimado para una planta de aprovechamiento de RCD con capacidad de 250 toneladas por día comprende principalmente tres componentes: la adquisición del terreno, la compra de maquinaria y equipos para el procesamiento de materiales, y el equipamiento básico administrativo necesario para la operación, como se planteó en la sección 6.4.1.

El CAPEX fue desarrollado a partir de información base del año 2019, desagregada por partidas de obra civil, maquinaria, equipos e ingeniería. Para su actualización a valores de 2026, se aplicó una metodología de indexación combinada: se utilizaron las variaciones anuales del ICOCIV desde 2021, mientras que para el año 2020 se empleó el ICCP, índice históricamente utilizado para costos de construcción pesada en Colombia, el detalle se encuentra en el Anexo 4.

Esta actualización se aplicó a todos los componentes del CAPEX, con excepción del costo del terreno, el cual fue estimado de manera independiente a partir de precios de mercado actuales en las zonas de referencia. Este enfoque permite capturar tanto la inflación general como las dinámicas específicas de los costos asociados al sector, al tiempo que incorpora condiciones reales del mercado inmobiliario para la localización de la planta.

Como resultado de esta actualización, se obtuvo un incremento acumulado de 52,98% frente a los valores originales de 2019, reflejando la evolución de los precios de insumos, maquinaria y servicios. De esta manera, el CAPEX estimado para 2026 proporciona una base consistente para la planeación financiera del proyecto.

Como se observa en la Tabla 14, la inversión total estimada asciende a aproximadamente COP 4,77 mil millones, valor que se encuentra en línea con los rangos observados para plantas de capacidad similar. Dentro de este total, el componente más representativo corresponde a la compra del terreno. Para su estimación, se tomó como referencia el precio de mercado en la zona industrial de Yumbo (COP 420.000/m²), el cual corresponde al valor

reportado para lotes industriales de gran formato en el corredor Cali-Yumbo y representa el precio más alto del rango consultado. Para el predio de referencia de 7.000 m², esto equivale a COP 2.940 millones. No obstante, este costo puede variar de forma significativa según la zona de localización elegida: en municipios como Palmira, con oferta industrial comparable, el precio por metro cuadrado oscila entre COP 200.000 y COP 350.000, lo que podría reducir el costo del terreno hasta COP 1.400 millones, un ahorro de hasta COP 1.540 millones frente al escenario base. El detalle de los predios de referencia consultados se presenta en el Anexo 2.

Tabla 14. CAPEX de una planta de aprovechamiento de RCD de 250 toneladas por día

Componente	Capacidad	Cantidad	Costo estimado (COP)
Compra de terreno ⁶	7000m ²	1	2.940.000.000
Báscula	40 ton	5	131.794.947
Báscula	20 ton	2	18.357.600
Trituradora de impacto	15 ton/h	2	152.980.000
Trituradora de mandíbula	19 ton/h	2	91.788.000
Tolva de alimentación	30 ton/h	1	30.290.040
Volqueta sencilla	11 ton	10	800.085.400
Banda Transportadora	30 ton/h	2	21.207.920
Separador Magnético	15 ton/h	2	33.655.600
Criba	30 ton	2	91.788.000
Retroexcavadora	7 ton	4	434.463.200
Sillas	-	4	916.962
Escritorio	-	4	1.284.114
Computador de escritorio	-	4	10.087.501
Impresora multifuncional	-	4	1.927.548
Costo total			4.770.626.832

Fuente: [42], [45], [63], [46]

En cuanto a los costos operativos (OPEX), estos se asocian principalmente a la mano de obra, el consumo energético, los combustibles, el mantenimiento de equipos y los servicios públicos necesarios para la operación continua de la planta.

De manera referencial, el costo operativo anual se estima en un rango entre COP 2.065 millones y COP 3.882 millones, dependiendo de factores como el nivel de utilización de la capacidad instalada, la intensidad en el uso de maquinaria y las condiciones de operación y mantenimiento.

Este rango evidencia la sensibilidad del OPEX a la eficiencia operativa y a la gestión de recursos, destacando la importancia de contar con personal calificado y equipos en condiciones óptimas para garantizar la estabilidad del proceso.

El componente de mano de obra representa el rubro más variable dentro del OPEX (COP 649,8 millones - COP 2.003,4 millones anuales), reflejando distintos escenarios de dotación. El valor inferior corresponde a una operación en etapa inicial con personal reducido, mientras que el superior considera una estructura completa acorde con la capacidad instalada.

El detalle desagregado de la nómina se presenta en el Anexo 3. En particular, la configuración completa de personal arroja un costo anual de COP 1.239,6 millones, valor que se ubica en el rango medio-alto del OPEX estimado y resulta consistente con la escala de la planta propuesta.

⁶ Los costos de habilitación del predio (preparación del terreno, cimentación, redes y adecuaciones) no están incluidos en esta partida y deben estimarse según las condiciones específicas del sitio

Tabla 15. OPEX de una planta de aprovechamiento de RCD de 250 toneladas por día

Componente	Costo estimado (COP)
Mano de obra	649.848.230 - 2.003.425.280
Energía eléctrica	33.759.000 - 85.775.895
Combustibles	67.650.000 - 80.872.435
Mantenimiento de maquinas	17.693.690- 92.700.000
Agua	1.296.315.000 -1.619.797.500
Costo total	2.065.265.920 - 3.882.571.110

Fuente: [55]

7.2.5. Mercado potencial de los productos y subproductos de la planta de RCD

A. Fuentes de ingreso en plantas RCD

Una planta de aprovechamiento de RCD genera ingresos a partir de dos fuentes simultáneas y complementarias que definen la viabilidad financiera del modelo: la tarifa que cobra a los generadores por recibir sus residuos y la venta de los productos procesados a compradores del sector construcción. Esta distinción es fundamental para evaluar correctamente la oportunidad de negocio.

- **Cobro por recepción de RCD o tarifa de aprovechamiento**

Este ingreso proviene de los generadores de los grandes generadores de RCD del departamento, entre estos constructoras, empresas de demolición, concesiones viales, quienes pagan una tarifa por entregar sus residuos en una instalación autorizada. Esta tarifa está regulada por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) mediante la fórmula $VBA = CRT + CDF$, que suma el costo de recolección y transporte al costo de disposición final. Para el Valle del Cauca, la tarifa base regulada es de 107.165 COP por tonelada, con un techo de 160.747 COP por tonelada para gestores del departamento [58]. Para una planta que recibe 250 t/día durante 300 días al año (75.000 t/año), este flujo de ingreso representaría entre 8.037 millones COP y 12.056 millones COP anuales, llegando a constituir el componente de mayor peso en la estructura de ingresos⁷.

Este ingreso responde a una necesidad real del generador, siendo el pago de la tarifa de disposición formal el mecanismo que permite al gran generador el cumplimiento de las metas de aprovechamiento progresivas exigidas por la Resolución 1257 de 2021.

- **Venta de productos y subproductos procesados**

Áridos reciclados:

Como se menciona en secciones anteriores, el principal producto de una planta de aprovechamiento de RCD son los áridos reciclados clasificados granulométricamente, llegando a representar entre el 65% y el 70% del flujo de entrada procesado. Para el caso de una planta de 250 t/día, la producción efectiva de áridos reciclados oscilaría entre 48.750 y 52.500 toneladas anuales.

El precio de venta al comprador varía según la calidad del árido y el uso final. Para el caso de zahorra reciclada de concreto (fracción 0/40 mm) como material de base granular, el generador de precios nacional establece un costo de 31.709 COP por tonelada [58], mientras que para áridos de mayor procesamiento y aplicación en concreto no estructural o prefabricados, el rango estimado es de 50.000 COP a 65.000 COP por tonelada [59].

⁷ La tarifa de aprovechamiento regulada por la CRA (COP 107.165–160.747/t) aplica a gestores autorizados. No todos los generadores del Valle del Cauca entregan formalmente su RCD a gestores certificados; el ingreso real dependerá del nivel de formalización del flujo de residuos que la planta logre captar. No se dispone de dato específico para el Valle del Cauca sobre la proporción del RCD generado que actualmente se entrega a gestores autorizados frente al que se dispone informalmente.

Conforme a esto, el ingreso anual por venta de áridos se situaría entre los 1.546 millones COP y 3.413 millones COP, dependiendo la calidad del mismo⁸.

La aplicación de los áridos reciclados en el Valle del Cauca incluye bases y subbases granulares para vías urbanas e intermunicipales, rellenos y nivelaciones de terreno, bases comparadas para plataformas y parqueaderos, y materia prima para prefabricados de bajo impacto estructural [20].

Chatarra metálica:

Los metales ferrosos recuperados mediante separadores magnéticos representan aproximadamente el 3-5% del flujo de entrada, equivalentes a entre 2.250 y 3.750 toneladas anuales, para la planta de referencia. En el mercado local del Valle del Cauca, el hierro y acero de construcción cotiza entre 1.200.000 COP y 1.800.000 COP por tonelada a 2025⁹ [60], lo que representa un ingreso adicional anual de entre 2.700 millones COP y 6.750 millones COP. Por otro lado, los metales no ferrosos como el aluminio y el cobre, que aunque están presentes en menor proporción suelen tener valores unitarios ligeramente superiores: aluminio 4.000.000 – 6.000.000 COP/ton y cobre 20.000.000 – 30.000.000 COP/ton [60]. Sin embargo, sobre estos su grado de pureza desde un flujo de RCD mixto es variable, por lo que no se considera como ingreso base en proyecciones financieras.

B. Compradores identificados en el Valle del Cauca

A continuación, se detallan 4 segmentos del mercado que pueden configurarse dentro del ecosistema de la cadena de valor de RCD como los principales compradores locales de productos y subproductos.

- **Prefabricadores con líneas de eco-productos**

Se identifican empresas ubicadas en Cali que comercializan productos prefabricados que incorporan porcentajes variables de agregados reciclados tales como Premoldeados S.A.S y Maecol S.A.S. La primera empresa cuenta con una línea de eco-productos, que incorporan entre el 4% y el 80% de áridos reciclados de RCD, destacando productos como ecoadoquines (80% RCD), ecolosetas y pisos permeables (80% RCD), sardineles para vías (45-50% RCD) y mobiliario urbano (4-10% de RCD). Sus precios se gestionan por cotización de volumen y disponen además de un canal outlet con descuentos para inventarios de alta rotación [60], [64]. Por otro lado, la empresa Maecol produce mampostería y prefabricados con agregados reciclados compactados, compatibles con los requisitos de carga y sismicidad de la NSR-10 [65]. Empresas como estas podrían constituir compradores directos y estables para la planta, en la medida en que requieren suministro continuo de áridos reciclados con especificaciones técnica verificable.

- **Obras públicas municipales y departamentales**

Los contratos de obra pública del departamento representan el mayor segmento de demanda potencial por volumen. Los precios de referencia oficiales para materiales instalado en el Valle del Cauca son 67.610 COP/m³ para base granular y 101.420 COP/m³ [66], valores que frente a los áridos reciclados pueden competir directamente cuando el análisis de ciclo completo, incluyendo la tarifa de disposición de escombros generados en la propia obra, se incorpora al presupuesto de licitación.

- **Empresas constructoras**

Los grandes constructores del mercado inmobiliario de Cali y el Valle del Cauca son a la vez los principales generadores de RCD y potenciales compradores de áridos reciclados: entre los actores identificados en el

⁸ El precio de COP 31.709/t (zahorra reciclada, fracción 0/40 mm) proviene del generador de precios nacional CYPE Ingenieros y corresponde al valor de adquisición del material en obra estándar. El rango de COP 50.000–65.000/t corresponde a estimaciones de la literatura para áridos de mayor calidad y aplicaciones de valor agregado. No se obtuvieron cotizaciones directas de plantas de aprovechamiento en el Valle del Cauca; ambos rangos son referencias indicativas para la proyección financiera

⁹ Los precios de chatarra (COP 1.200.000–1.800.000/t para hierro/acero) corresponden a compradores activos en Cali para 2025 y representan el techo del rango para material bien clasificado. El acero de demolición con adherencias de concreto y corrosión puede negociarse en el extremo inferior del rango o por debajo.

mercado local se encuentran Constructora Meléndez, Constructora Bolívar, Constructora Sudamericana, Constructora Normandía, LATCO S.A. y Somos Grupo Constructor. Como se mencionó, para estos actores, adquirir áridos reciclados certificados a un gestor autorizado computa directamente en su Programa de Manejo Ambiental de RCD (PMA-RCD) ante la CVC y el DAGMA, facilitando el cumplimiento de las metas de la Resolución 1257 de 2021.

- **Chatarrerías y comercializadores de metales**

Para la fracción metálica recuperada, el mercado local de Cali cuenta con compradores establecidos que operan con pago inmediato y absorción de grandes volúmenes, sin requerir contratos de largo plazo.

C. Experiencias locales documentadas

El uso de áridos reciclados de RCD en obras de infraestructura del Valle del Cauca ya cuenta con antecedentes verificados que respaldan técnica y logísticamente el modelo:

Entre ellos destaca el Proyecto Vial Nueva Malla Vial del Valle del Cauca – Accesos Cali y Palmira (Consortio Constructor Nueva Malla Vial) [64], [67], [68], el cual incorporó el aprovechamiento estructural de bases y subbases de asfalto recuperado (RAP) y concretos hidráulicos triturados, para la conformación de terraplenes, estabilización de bermas y subbases de las segundas calzadas. Además, en la obra de Patios y Talleres del Sistema Integrado de Transporte Masivo [69] se utilizaron agregados reciclados de la trituración de concretos de demolición de las antiguas vías de Cali para conformar las bases compactadas de alta capacidad portante que soportan el tránsito constante de buses articulados y biarticulados, optimizando costos de adquisición de materiales pétreos.

Estas experiencias demuestran que la demanda técnica para áridos reciclados ya existe en el Valle del Cauca y que los requerimientos de resistencia y compactación de obras de alta exigencia pueden ser cumplidos con material procesado localmente.

D. Estimación consolidada de ingresos para la planta de 250 ton/día

Consolidando lo detallado anteriormente, el potencial anual de ingresos de la planta se presenta bajo dos escenarios descritos a continuación.

Tabla 16. Estimación consolidada de ingresos para la planta de 250 t/día

Fuente de ingreso	Volumen producido/ monto unitario estimado	Escenario conservador	Escenario optimista
Tarifa de aprovechamiento	75.000 t/año x 107.165-160.747 COP/t	8.037 millones COP	12.056 millones COP
Venta de áridos reciclados	48.750-52.500 t/año x 31.709-65.000 COP/t	1.546 millones COP	3.413 millones COP
Venta de chatarra ferrosa	2.250-3750 t/año x 1.200.000-1.800.000 COP/t	2.700 millones COP	6.750 millones COP
Ingreso total anual estimado		12.283 millones COP	22.219 millones COP

Fuente: Elaboración propia a partir de [52], [70], [71]

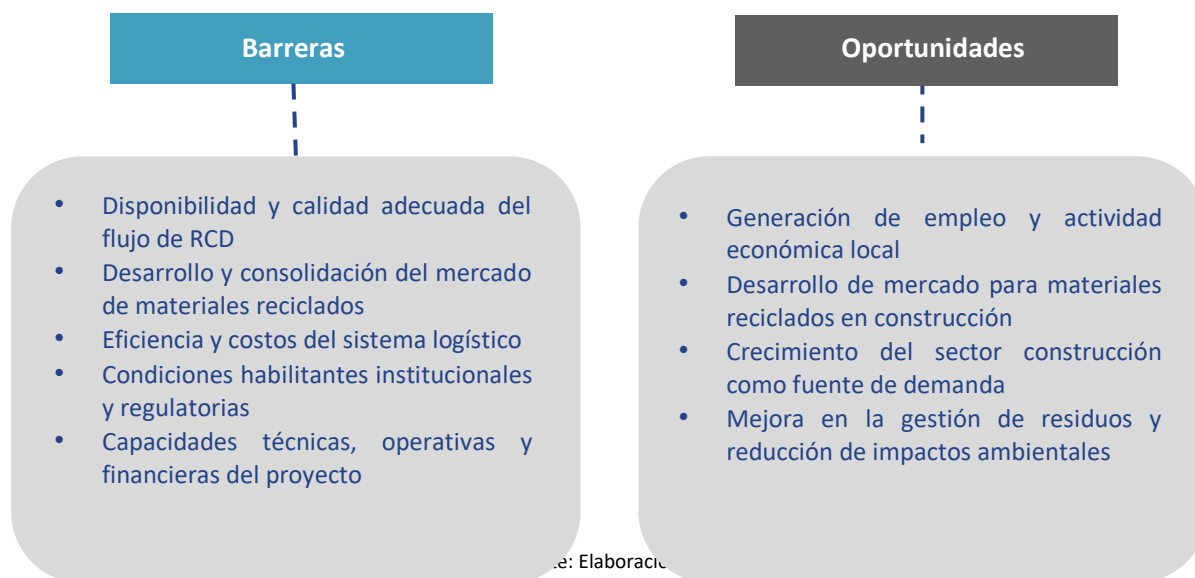
Frente a un OPEX anual estimado de COP 2.065–3.882 millones, ambos escenarios generan margen operativo positivo, incluso en el escenario conservador. La diferencia entre escenarios es explicada principalmente por la tarifa de aprovechamiento, que depende del volumen de generadores formales que la planta logre captar, y por el precio de la chatarra, que varía según la calidad del metal recuperado. La consolidación de contratos de

recepción con grandes generadores es, por tanto, la palanca de mayor impacto sobre los ingresos totales de la operación.

7.3. Consideraciones para la implementación

A continuación, en la Figura 14 se presentan las principales barreras y oportunidades asociadas a la implementación de una planta de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) en el Valle del Cauca, considerando factores técnicos, logísticos, económicos, ambientales y de mercado que inciden en su viabilidad.

Figura 14. Barreras y oportunidades para la implementación de la planta de RCD



A. Barreras

La implementación de una planta de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) en el Valle del Cauca enfrenta una serie de barreras que deben ser consideradas para evaluar su viabilidad de manera realista. Una de las principales se relaciona con la necesidad de asegurar un flujo constante, suficiente y técnicamente aprovechable de residuos. En la práctica, no basta con que exista generación de RCD en el territorio; también es necesario que dichos residuos lleguen a la planta con niveles razonables de segregación, trazabilidad y calidad. Cuando los materiales se mezclan excesivamente, contienen impurezas o no siguen rutas formales de disposición, el proceso de valorización se vuelve más costoso y menos eficiente.

A ello se suma la barrera comercial asociada al posicionamiento de los productos reciclados en el mercado local. Aunque los áridos reciclados y otros materiales provenientes de RCD tienen potencial de uso, su inserción en el sector construcción todavía puede verse limitada por percepciones sobre desempeño, calidad o confiabilidad técnica. En un contexto como el Valle del Cauca, esto implica que la planta no solo tendría que procesar residuos, sino también contribuir a consolidar la demanda por materiales valorizados, lo cual requiere articulación con constructoras, desarrolladores, actores públicos y potenciales compradores. Sin una salida comercial suficientemente clara, el proyecto podría enfrentar dificultades para sostener su operación en el tiempo.

Otra barrera relevante se relaciona con la logística del sistema. La viabilidad de una planta de RCD depende de la proximidad a los principales focos de generación, de la accesibilidad vial y de la existencia de condiciones adecuadas para el transporte de materiales de entrada y salida. En un territorio amplio y dinámico como el Valle del Cauca, los costos logísticos pueden incidir de manera importante sobre la rentabilidad del proyecto, especialmente si los residuos se generan de manera dispersa o si no existen mecanismos suficientemente consolidados para su recolección, acopio y traslado hacia una instalación centralizada.

Asimismo, deben considerarse barreras de carácter institucional y operativo. La puesta en marcha de una planta de este tipo requiere suelo compatible con uso industrial, permisos, inversiones en infraestructura y una estructura organizativa capaz de sostener el funcionamiento de la instalación. **Esto implica no solo recursos financieros, sino también capacidades técnicas, administrativas y de gestión.** En este sentido, la factibilidad del proyecto dependerá de que exista un entorno habilitante que permita articular la inversión con las necesidades reales del territorio y con una cadena de suministro suficientemente ordenada.

B. Oportunidades

Pese a estas limitaciones, la implementación de una planta de aprovechamiento de RCD en el Valle del Cauca presenta oportunidades importantes desde el punto de vista económico, social y ambiental. En primer lugar, destaca su capacidad de generar empleo, tanto en la fase de construcción como durante la operación de la planta. Este tipo de proyectos requiere personal para actividades como recepción, clasificación, procesamiento de materiales, mantenimiento y gestión administrativa, lo que puede contribuir a la creación de empleos formales y a la dinamización de la economía local.

En este sentido, y en coherencia con lo desarrollado en la sección 6.4.3 sobre la estructura de capital humano, la operación de una planta de RCD requiere una organización funcional que integra perfiles técnicos, operativos y administrativos. Esto evidencia su potencial para generar empleo directo e indirecto en el territorio, así como oportunidades de inclusión laboral para población local, particularmente en zonas cercanas al área de influencia del proyecto. Más allá del número de trabajadores que pueda requerir la instalación, lo relevante es que se trata de una infraestructura con capacidad de activar actividades complementarias en transporte, mantenimiento, comercialización y soporte operativo.

A nivel de mercado, el aprovechamiento de RCD presenta una oportunidad vinculada al desarrollo progresivo de demanda para materiales reciclados en el sector construcción. Aunque su adopción aún enfrenta barreras comerciales y de percepción, en Colombia ya existen antecedentes regulatorios y de gestión pública que respaldan su incorporación. El caso de Bogotá resulta especialmente relevante, dado que cuenta con instrumentos normativos y administrativos específicos para la gestión de RCD y su aprovechamiento, lo que refleja una trayectoria institucional favorable hacia la valorización de estos residuos. En consecuencia, más que asumir un porcentaje específico de uso, resulta metodológicamente más robusto señalar que ya existen experiencias nacionales que demuestran la viabilidad técnica y regulatoria de los materiales reciclados, y que estas pueden servir como referencia para su escalamiento en el Valle del Cauca.

Desde una perspectiva social y ambiental, la implementación de esta infraestructura también representa una oportunidad para mejorar las condiciones del entorno urbano y periurbano. Una planta de aprovechamiento de RCD puede contribuir a reducir impactos asociados a la disposición inadecuada de residuos, como la ocupación de espacio público, la formación de puntos críticos y las afectaciones paisajísticas. En un territorio como el Valle del Cauca, donde la presión urbana y constructiva es significativa, esto podría traducirse en mejoras concretas en la calidad de vida de las comunidades y en una gestión más ordenada y sostenible de los residuos del sector construcción.

En síntesis, aunque la implementación de una planta de RCD en el Valle del Cauca enfrenta barreras relacionadas con la calidad de los residuos, la logística, la consolidación de mercado y las condiciones institucionales, también presenta oportunidades importantes en materia de empleo, desarrollo de nuevos productos, dinamización de la economía circular y mejora ambiental del territorio. Por ello, su viabilidad dependerá no solo de la disponibilidad de residuos, sino de la capacidad de articular adecuadamente la oferta de materiales, la demanda del sector construcción y las condiciones de operación necesarias para sostener el proyecto en el tiempo.

7.4. Impacto en emisiones de GEI

El reciclaje y valorización de los residuos de construcción y demolición (RCD) contribuye a la mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente mediante la sustitución de materias primas vírgenes y la reducción de residuos enviados a disposición final.

En particular, los áridos reciclados, que constituyen el principal producto generado en plantas de aprovechamiento de RCD, presentan beneficios asociados a la disminución en la extracción de materiales naturales y a la reducción de distancias de transporte. En este sentido, el uso de áridos reciclados en la fabricación de hormigón puede evitar hasta 13,8 kg de CO₂ por tonelada de hormigón, dependiendo de factores logísticos como las distancias de transporte [72]. Si bien el impacto unitario es acotado, su efecto agregado resulta relevante debido al alto volumen de materiales que se procesan en este tipo de instalaciones.

Los ahorros en emisiones se deben, en gran medida, a la recuperación de materiales con mayor intensidad de carbono, como los metales. En particular, la reutilización de acero reciclado permite evitar aproximadamente 1,5 toneladas de CO₂ por cada tonelada reciclada [72]. Asimismo, en el caso de la madera, su valorización energética mediante la producción de pellets puede evitar alrededor de 600 kg de CO₂ por tonelada procesada.

De manera complementaria, diversos estudios, como el publicado en la revista científica *Environmental Research and Public Health* [72] y un reporte del Estado de Nueva York [73], han demostrado que el reciclaje de una tonelada de RCD mixto puede generar ahorros de emisiones en un rango de entre 50 y 150 kg CO₂e por tonelada reciclada.

En este contexto, la reducción total de emisiones depende en gran medida de la composición de los residuos procesados, así como de la proporción de materiales valorizables de mayor impacto, como metales y madera. Bajo estos supuestos, una planta de aprovechamiento de RCD que procesa 250 toneladas por día podría generar una reducción anual estimada de entre 3.600 y 10.800 toneladas de CO₂e, lo que evidencia su contribución potencial a la mitigación del cambio climático a nivel regional.

8. Conclusiones

- El levantamiento de información sobre generación y disposición de RCD en el Valle del Cauca presenta limitaciones estructurales que condicionan la precisión de cualquier ejercicio de dimensionamiento. El referente más completo disponible para el departamento es el estudio de la Universidad del Valle y la CVC (2016-2020) y la estimación del Grupo de Materiales Compuestos de la Universidad del Valle, que constituye la base central del análisis de flujos presentado en este informe; sin embargo, los propios autores del primer estudio reconocen brechas en la trazabilidad y cobertura de los datos, derivadas de la dispersión de fuentes, la heterogeneidad en los registros municipales y la ausencia de un sistema de información departamental unificado sobre RCD. En consecuencia, los volúmenes de generación utilizados en este estudio deben interpretarse como estimaciones de alta referencia y no como cifras definitivas, los flujos reales podrían diferir de los aquí proyectados en función del nivel de formalización del sector, de la dinámica constructiva de cada período y de la mejora en los mecanismos de reporte.
- El departamento del Valle del Cauca generó aproximadamente 2.580.185 toneladas de RCD en 2022, equivalentes a 7.069 toneladas diarias, lo que lo posiciona como el responsable del 8,83% de la producción nacional en ese año. Dentro de este volumen, el 83,9% se origina en el área de influencia de Santiago de Cali, incluyendo Yumbo como segundo generador con 1.664.096 toneladas acumuladas en el período 2016-2020, lo que concentra geográficamente la materia prima en un radio logístico acotado y reduce de manera significativa los costos de captación y transporte. Esta densidad territorial de generación constituye la condición de mercado más favorable para la viabilidad de una planta de aprovechamiento en la región.
- La concentración de generación en el corredor Cali-Yumbo justifica la priorización de una primera instalación en ese eje, pero no agota la necesidad departamental de infraestructura de aprovechamiento. Municipios como Candelaria, Jamundí, Palmira y Buenaventura presentan flujos propios de RCD que, aunque menores al del corredor principal, son suficientes para sustentar instalaciones de menor escala sin riesgo de escasez de materia prima. La instalación de plantas descentralizadas en estos territorios ofrece una ventaja adicional: reduce sustancialmente los costos de transporte que implicaría trasladar los residuos generados en esos municipios hacia una única planta centralizada en Cali, mejorando la competitividad logística del modelo. Adicionalmente, la presencia de infraestructura local de aprovechamiento permitiría a estas administraciones municipales avanzar en el cumplimiento de las metas progresivas establecidas por la Resolución 1257 de 2021, que aplican por igual a todos los grandes generadores del territorio nacional con independencia de su localización. En consecuencia, la planta propuesta en el corredor Cali-Yumbo debe entenderse como el primer nodo de un sistema regional distribuido, y no como una solución única y suficiente para la escala del problema departamental.
- Del total generado en el Valle del Cauca, se estima que solo aproximadamente el 15% es actualmente sometido a procesos de valorización, mientras que el 85% restante se destina a disposición final o a canales informales. Este desequilibrio replica el patrón nacional, donde el 44% de los residuos generados no cuenta con registro formal de disposición final, y evidencia que la brecha no es de generación sino de infraestructura de tratamiento. En el caso particular de Cali, el análisis de flujos muestra que aproximadamente el 23,4% del volumen total proviene del sector informal, construcciones y remodelaciones particulares sin obligación de reporte, fracción que en su mayoría termina en rellenos no autorizados o puntos críticos de arrojo, sustrayéndose tanto de los registros como del sistema formal de gestión. Esta generación informal no es marginal: representa casi una cuarta parte del flujo total de la ciudad y constituye tanto una brecha de trazabilidad para las autoridades ambientales como una fuente de materia prima potencialmente captable con los instrumentos de control adecuados. Para el corredor Cali-Yumbo en conjunto, el flujo diario no valorizado supera las 2.000 toneladas, volumen

suficiente para sustentar varias plantas de aprovechamiento sin riesgo de escasez de materia prima en el corto y mediano plazo.

- La Resolución 0472 de 2017, modificada por la Resolución 1257 de 2021, establece obligaciones claras para los generadores de RCD en materia de gestión, trazabilidad y disposición en sitios autorizados. Sin embargo, este marco regula el origen del residuo, no el destino del producto reciclado. A diferencia de Bogotá, donde la Resolución 1115 de 2012 de la Secretaría Distrital de Ambiente estableció metas progresivas de incorporación de áridos reciclados en obra pública, el Valle del Cauca carece de instrumentos normativos que creen demanda institucional por los productos que una planta de aprovechamiento generaría. Esta ausencia es la barrera comercial más estructural que enfrenta el modelo de negocio en el territorio.
- La CVC mantiene un registro activo y actualizado de gestores de RCD autorizados en el departamento que incluye operadores distribuidos en varios municipios del Valle del Cauca. La existencia de este ecosistema formal de actores es un activo institucional significativo ya que a diferencia de regiones donde el sector está completamente atomizado o es informal, el Valle del Cauca cuenta con una base de gestores sobre la cual construir una cadena de valor más integrada. Este registro favorece la articulación entre los grandes generadores obligados a gestionar formalmente sus RCD y los operadores capacitados para recibirlos, reduciendo los vacíos en el ecosistema de actores que en otros contextos han frenado el desarrollo del sector. La principal oportunidad de mejora radica en fortalecer la capacidad técnica de estos gestores para transitar desde modelos de simple disposición hacia modelos de aprovechamiento y valorización efectiva.
- El análisis comparativo de nueve plantas en cinco países; Colombia, Perú, Argentina, España, México y China; revela un patrón consistente: las operaciones sostenidas en el tiempo combinan, sin excepción, al menos una de estas tres condiciones: un comprador institucional garantizado para sus productos, un subsidio gubernamental de disposición o transporte, o una obligatoriedad normativa de uso de material reciclado en obra pública. Conesco S.A.S. (AMVA), el único referente colombiano con planta fija dedicada a RCD, documenta que cada venta implica convencer individualmente a la interventoría, lo que limita estructuralmente su escala. CSMX CIREC (Ciudad de México) operó solo tras obtener una concesión pública con el gobierno distrital como comprador garantizado. Jiangsu LVHE (China) declara explícitamente que opera con subsidios porque sin ellos el reciclaje de RCD no es rentable. Esta evidencia internacional establece que el éxito de la planta en el Valle del Cauca dependerá no solo de la disponibilidad de residuos, sino de la construcción deliberada de un entorno habilitante que incluya demanda asegurada, condiciones de suelo industrial adecuadas y separación en origen por parte de los generadores.
- Colombia cuenta ya con un conjunto documentado de experiencias en aprovechamiento de RCD que incluye la planta GRECO en Cundinamarca, la planta de Conesco S.A.S. en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, y la planta UAESP en Bogotá. La existencia de estas instalaciones en operación genera un ecosistema de respaldo que reduce sustancialmente la incertidumbre técnica de una inversión en el Valle del Cauca: existen proveedores de equipos con experiencia local, modelos operativos probados en contextos colombianos, y lecciones aprendidas sobre los cuellos de botella logísticos, comerciales y normativos que enfrenta este tipo de proyectos.
- Para una planta de aprovechamiento de RCD con capacidad de 250 toneladas por día en el corredor Cali-Yumbo, el CAPEX estimado asciende a COP 4.771 millones, que incluye la adquisición de equipos, mobiliario y compra de terreno. El OPEX anual se sitúa en un rango de COP 2.065 a COP 3.882 millones, con el componente de mano de obra como el más variable en función de la configuración de personal adoptada. Estos parámetros son consistentes con los referentes internacionales del benchmarking y con la estructura de costos observada en plantas de escala comparable en América Latina. El horizonte de recuperación de la inversión dependerá críticamente del nivel de utilización de la planta y de la

capacidad de la operación para consolidar contratos estables tanto de recepción de RCD como de venta de productos, por lo que la estructuración comercial previa al inicio de operaciones es tan determinante como el dimensionamiento técnico de la instalación.

- Una planta de aprovechamiento de RCD de 250 t/día requiere una estructura de personal de entre 20 y 25 cargos directos en operación plena, que incluye perfiles técnicos (operadores de maquinaria, técnicos de laboratorio, coordinador HSEQ con licencia SST vigente), administrativos (gerente, coordinador de ventas, contador) y de soporte operativo (vigilancia, servicios generales). A estos empleos directos se suman los indirectos generados en la cadena de transporte, mantenimiento de equipos, proveeduría de insumos y comercialización de productos. En el contexto del Valle del Cauca, donde el sector de gestión ambiental de residuos se encuentra en etapa de consolidación, cada nueva planta de aprovechamiento contribuye a formalizar un segmento de la economía que hoy opera en su mayoría de forma informal, a construir capacidades técnicas locales en gestión de RCD y a fortalecer el tejido empresarial del sector ambiental del departamento.
- El modelo financiero de una planta centralizada de aprovechamiento de RCD genera ingresos a partir de dos fuentes distintas: la tarifa de aprovechamiento cobrada a los generadores por la recepción de sus residuos regulada por la CRA en un rango de COP 107.165 a COP 160.747 por tonelada para el Valle del Cauca y la venta de los productos procesados a compradores del sector construcción. Para la planta de 250 t/día operando 300 días al año, la tarifa de aprovechamiento sobre el flujo total recibido (75.000 t/año) generaría entre COP 8.037 y COP 12.056 millones anuales, a los que se suman los ingresos por venta de áridos reciclados (COP 1.546–3.413 millones) y chatarra metálica (COP 2.700–6.750 millones), para un potencial total consolidado de entre COP 12.283 y COP 22.219 millones anuales. Este potencial de ingresos cubre el OPEX estimado en cualquiera de los escenarios, y la tarifa de aprovechamiento es el componente de mayor impacto, dado que está respaldada por la obligatoriedad que la Resolución 0472 de 2017 y la Resolución 1257 de 2021.
- Los productos de la planta encuentran demanda potencial en tres segmentos diferenciados del mercado regional: empresas prefabricadoras con líneas de eco-productos, como Premoldeados S.A.S. (Premolda) y Maecol S.A.S., que incorporan entre el 4% y el 80% de áridos reciclados en sus mezclas; la obra pública departamental y municipal, cuyos precios de referencia de la Gobernación del Valle del Cauca para base y subbase granular son técnicamente compatibles con áridos reciclados de calidad certificada; y el sector constructor privado, que enfrenta obligaciones crecientes de aprovechamiento bajo la normativa vigente. Las experiencias locales documentadas como Nueva Malla Vial del Valle del Cauca y Patios del MIO confirman que el mercado técnico ya existe y que los requisitos de desempeño de obras de alta exigencia pueden ser satisfechos con material reciclado procesado localmente. Sin embargo, la activación sostenida de esta demanda requiere instrumentos normativos que hoy están ausentes en el departamento: una ordenanza o decreto que establezca porcentajes mínimos obligatorios de uso de áridos reciclados en contratos de obra pública, similar a la Resolución 1115 de 2012 de Bogotá, es la condición habilitante de mayor impacto para consolidar el mercado de forma estructural y no depender exclusivamente de la disposición voluntaria de cada comprador
- El cruce automatizado de capas cartográficas del POT de Cali con tres filtros de viabilidad permitió identificar 54 predios con compatibilidad normativa verificada, concentrados en dos clústeres logísticamente estratégicos: el clúster norte (comunas 4 y 5, Centralidades Industrial y El Ferrocarril, corredor Carrera 1 hacia Yumbo) y el clúster centro-oriente (comuna 8, barrios Industrial y El Troncal, corredor Calle 25). Este ejercicio tiene alcance exploratorio y debe complementarse con la verificación de disponibilidad real de predios en el mercado. Más allá de Cali, otros municipios como Yumbo, Candelaria y Jamundí presentan flujos de generación que justifican análisis de localización equivalentes adaptados a los Esquemas de Ordenamiento Territorial (EOT) y Planes Básicos de Ordenamiento

Territorial (PBOT) vigentes en cada municipio, como parte de una estrategia departamental de localización planificada de infraestructura de valorización.

9. Recomendaciones

- La medida de mayor impacto para destrabar el mercado de RCD en el Valle del Cauca es la creación de demanda institucional garantizada mediante instrumento normativo. Sin embargo, dado el rol de Invest Pacific como agencia de promoción y atracción de inversión, la acción recomendada no es expedir dicha normativa sino promover y acompañar activamente el diálogo con la Gobernación del Valle del Cauca, la Alcaldía de Cali y la CVC para impulsar la formulación de una ordenanza o decreto que establezca porcentajes mínimos obligatorios de incorporación de áridos reciclados en contratos de obra pública del orden territorial, iniciando en un 5-10% y aumentando progresivamente hasta el 25%, siguiendo el modelo de la Resolución 1115 de 2012 de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá. Este tipo de instrumento convierte a la entidad pública en el primer comprador institucional de la planta, replicando la condición de viabilidad documentada en los casos de CSMX en Ciudad de México y en las ciudades chinas que han logrado escalar el aprovechamiento de RCD a través de sistemas de franquicia con compra obligatoria de productos reciclados en obra pública.
- La eficiencia de cualquier planta de aprovechamiento depende directamente de la calidad y homogeneidad del RCD que recibe: un flujo bien segregado en origen reduce los costos de tratamiento, mejora el rendimiento de áridos y amplía el rango de aplicaciones comerciales del producto final. En este sentido, se recomienda que Invest Pacific promueva y facilite la articulación entre la CVC, el DAGMA y CAMACOL Valle del Cauca para impulsar la adopción de protocolos de separación en origen en las principales constructoras del departamento, particularmente aquellas con obras superiores a 2.000 m² que ya están obligadas por la Resolución 0472 de 2017 a reportar y gestionar formalmente sus residuos.
- La brecha de información identificada sobre generación, caracterización y flujos de RCD en el departamento no puede cerrarse únicamente desde las fuentes institucionales disponibles. Se recomienda que Invest Pacific promueva y facilite espacios de trabajo con las principales constructoras del Valle del Cauca y con CAMACOL como actor gremial articulador, con el doble propósito de robustecer la estimación de flujos reales de generación y de incorporar al análisis la perspectiva de quienes operan cotidianamente en el territorio. Estos actores tienen información de primera mano sobre volúmenes generados por tipo de proyecto, costos actuales de disposición, disposición a pagar tarifas de aprovechamiento formal y necesidades de materiales reciclados que podrían convertirlos en compradores potenciales.
- En una primera etapa de implementación, se recomienda que el operador de la planta enfoque su portafolio de clientes prioritariamente en los grandes generadores de RCD del departamento, aquellos con obras superiores a 2.000 m² obligados a gestionar formalmente sus residuos bajo la Resolución 0472 de 2017 y la Resolución 1257 de 2021, antes de desarrollar la estrategia de venta de áridos al mercado abierto. Esta orientación responde a una lógica financiera clara: la tarifa de aprovechamiento cobrada por la recepción de RCD constituye el ingreso de mayor volumen y más predecible de la operación, ya que está respaldada por una obligación legal del generador y no por una decisión discrecional de compra. Consolidar contratos de recepción con tres a cinco grandes generadores del corredor Cali-Yumbo antes del inicio de operaciones equivale a garantizar un piso de ingresos que cubre el OPEX desde los primeros meses, reduciendo significativamente el riesgo financiero de la etapa de arranque.
- Una de las barreras comerciales más documentadas en el benchmarking internacional y confirmada en el caso colombiano por la experiencia de Conesco S.A.S. en el AMVA es la desconfianza de interventorías y compradores frente a los áridos reciclados, aun cuando estos cumplen con las especificaciones técnicas aplicables. Se recomienda que Invest Pacific impulse, en alianza con CAMACOL Valle del Cauca y centros de investigación como la Universidad del Valle, la realización de ensayos de caracterización y desempeño de áridos reciclados producidos en el departamento bajo las normas NTC para agregados de concreto y las especificaciones INVÍAS para materiales granulares en infraestructura vial. La

publicación de estos resultados en un formato accesible para interventorías, diseñadores estructurales y contratistas, respaldada por el alcance gremial de CAMACOL, tiene el potencial de reducir la barrera de desconfianza de forma sistemática, sustituyendo el argumento comercial caso a caso por evidencia técnica verificable que opere como bien público para todo el sector.

- El análisis de ingresos presentado en este estudio se apoya en referencias de precios nacionales (generador de precios CYPE Ingenieros, tarifas reguladas CRA) y en estimaciones de la literatura, dado que no se obtuvo respuesta de las cotizaciones realizadas a actores locales identificados como compradores de áridos reciclados en el Valle del Cauca durante el período de elaboración del informe. Se recomienda consolidar una base de datos de precios locales actualizados, que incluya cotizaciones de compradores de áridos reciclados, prefabricadores, chatarrerías y gestores de metales del departamento, como insumo prioritario para el estudio de factibilidad económica detallado que debe preceder cualquier decisión de inversión. Esta información permitirá ajustar el modelo de ingresos a la realidad del mercado regional, reducir el rango de incertidumbre de las proyecciones financieras y fortalecer la credibilidad del análisis de rentabilidad ante inversionistas y entidades de financiamiento.
- El análisis geoespacial de predios viables para la instalación de una planta de RCD en Cali se realizó con base en la cartografía oficial del Acuerdo 0373 de 2014, un instrumento de más de once años de vigencia que, si bien sigue siendo aplicable durante el período de transición ordenado por el Tribunal Contencioso Administrativo del Valle del Cauca, podrá ser reemplazado por un nuevo POT. En ese lapso de tiempo, la dinámica urbana de Cali puede haber experimentado una expansión considerable en términos de nuevos desarrollos, cambios de vocación de suelo y presión sobre las zonas industriales existentes, lo que hace plausible que una rezonificación actualizada modifique el mapa de áreas compatibles identificadas. Se recomienda que el análisis de localización sea revisado y actualizado en cuanto el nuevo POT de Cali sea adoptado, y que se realicen ejercicios equivalentes en los municipios de Yumbo, Candelaria y Jamundí utilizando sus respectivos instrumentos de ordenamiento territorial vigentes, como paso previo a cualquier proceso de adquisición de predios o inicio de trámites ante las autoridades de planeación.
- Se recomienda que Invest Pacific evalúe y presente a potenciales inversionistas un modelo de entrada por fases, en el que una primera etapa con equipamiento semimóvil o modular de menor capacidad (50–100 t/día) permita validar los flujos de RCD captables, consolidar los primeros contratos de recepción con grandes generadores y construir la cartera de compradores de áridos, antes de comprometer el CAPEX completo de la instalación fija. Este modelo reduce el riesgo de entrada, acorta el tiempo hasta el primer ingreso y genera aprendizaje operativo local antes de la inversión de mayor escala. Varios de los casos del benchmarking internacional, incluyendo CICLO en Lima y las plantas móviles utilizadas en la Nueva Malla Vial del Valle del Cauca, ilustran que la validación de mercado a menor escala es una práctica habitual antes de la inversión en infraestructura permanente.

Anexos

Anexo 1

Tabla 17. Localización y áreas compatibles para planta de aprovechamiento de RCD en Cali

Localización / Barrios	Área (m²)
Calima	71.631,50
Bolivariano	34.798,84
Bolivariano	9.298,83
Salomia	10.210,62
Salomia	9.737,63
Fátima	8.716,53
Salomia	28.921,41
El Sena	19.047,22
El Sena	67.561,20
Villa del Prado - El Guabito	32.373,78
Villa del Prado - El Guabito	17.812,17
Industrial	21.698,42
Santander	7.448,50
Santander	7.621,81
Santander	10.539,71
Santander	11.965,03
Las Delicas	9.262,63
Las Delicas	7.669,64
Las Delicas	11.541,31
Manzanares	24.196,23
Manzanares	77.248,18
Manzanares	12.840,35
Sultana - Berlín - San Francisco	9.294,67
La Esmeralda	10.178,69
La Esmeralda	9.172,12

La Esmeralda	19.491,77
La Esmeralda	13.550,53
La Esmeralda	7.926,39
Flora Industrial	19.858,10
Flora Industrial	22.919,08
Flora Industrial	22.357,67
Flora Industrial	41.680,63
Flora Industrial	19.513,54
Flora Industrial	19.083,82
Flora Industrial	12.251,88
La Alianza	10.194,74
La Alianza	28.839,19
La Alianza	12.904,42
La Alianza	10.881,46
La Alianza	14.929,52
La Alianza	103.801,41
La Alianza	10.197,68
El Sena	11.668,32
Villa del Prado - El Guabito	46.674,57
Industrial	9.155,82
Industrial	8.310,99
Industrial	7.838,96
Industrial	7.655,73
Industrial	8.265,67
Industrial	8.148,44
Industrial	7.345,24
Industrial	7.499,30
Industrial	8.828,05
El Troncal	15.132,25

Anexo 2

Tabla 18. Variación de precios según los usos y la ubicación de los predios

N°	Ubicación	Modalidad	Área (m²)	Precio total (COP)	Precio/m² (COP)	Uso
1	Yumbo	Venta	38,400	16,128,000,000	420,000	Industrial
2	Palmira	Venta	39,827	13,890,000,000	348,758	Comercial/industrial
3	Palmira	Venta	32,000	6,400,000,000	200,000	Industrial
4	Palmira	Venta	18,000	4,000,000,000	222,222	Comercial/industrial
5	Yumbo	Venta	2,000	2,000,000,000	1,000,000	Industrial
6	Yumbo	Venta	1,532	1,378,000,000	899,478	Comercial/industrial
7	Yumbo	Arriendo	9,817	65,000,000	6,621	Industrial
8	Yumbo	Arriendo	2,520	38,520,000	15,286	Industrial
9	Yumbo	Arriendo	2,200	47,000,000	21,364	Industrial

Fuente: Fincaraiz [74]

Anexo 3

Tabla 19. Estimación referencial del costo de la mano de obra para una planta de 250 ton/día de RCD

Jornada	Cargo	Profesión	N° de personas	Salario mensual por persona (COP)	Salario total
Tiempo completo	Gerente general	Economía, administración, finanzas y/o producción	1	10.356.000	10.356.000
Tiempo completo	Profesional HSEQ	Profesional en Seguridad y Salud en el Trabajo	1	5.730.000	5.730.000
Tiempo completo	Auxiliar administrativo	Administración, contabilidad o áreas afines	1	5.178.000	5.178.000
Tiempo completo	Jefe de planta	Ingeniero de producción, industrial	1	6.040.000	6.040.000
Tiempo completo	Operarios	Técnicos en producción y manejo de máquinas	10	3.114.000	31.140.000
Tiempo completo	Conductor	Conductores de camiones (licencia C2 o superior)	4	2.932.000	11.728.000
Tiempo completo	Supervisor de calidad	Ingeniería Ambiental, Ingeniería Química, Ingeniería Industrial	1	7.147.000	7.147.000
Tiempo parcial	Contador	Contaduría pública o contabilidad	1	4.664.100	4.664.100
Tiempo parcial	Asesor jurídico	Derecho	1	5.230.500	5.230.500
Tiempo completo	Asesor de ventas	Administración de empresas, mercadeo y publicidad	2	5.178.000	10.356.000
Tiempo parcial	Servicios generales	--	1	2.864.399	2.864.399

Tiempo completo	Vigilante	--	1	2.864.399	2.864.399
Gasto mensual					103.298.398
Gasto anual					1.239.580.776

Fuente: Elaboración propia en base a los costos enviados por Invest Pacific

Anexo 4

Tabla 20: Actualización de CAPEX a precios de 2026

Componente	Valor original	Variación 2019-2026	Valor final
Compra y habilitación de terreno	4.499.000.000	+52.98%	6.884.100.000
Básculas grandes	86.100.000	+52.98%	131.794.947
Básculas pequeñas	12.000.000.	+52.98%	18.357.600
Trituradoras de impacto	100.000.000	+52.98%	152.980.000
Trituradoras de mandíbula	60.000.000	+52.98%	91.788.000
Tolvas de alimentación	19.820.000	+52.98%	30.290.040
Volquetas sencillas	523.000.000	+52.98%	800.085.400
Banda transportadora	20.400.000	+52.98%	31.207.920
Separador magnético	22.000.000	+52.98%	33.655.600
Criba	60.000.000	+52.98%	91.788.000
Retroexcavadora	284.000.000	+52.98%	434.463.200
Sillas	599.500	+52.98%	916.962
Escritorio	839.000	+52.98%	1.284.114
Computadoras	6.594.000	+52.98%	10.087.501
Impresoras	1.260.000	+52.98%	1.927.548
-	Total: 5.696.000.000	+52.98%	Total: 8.714.726.832

Referencias bibliográficas

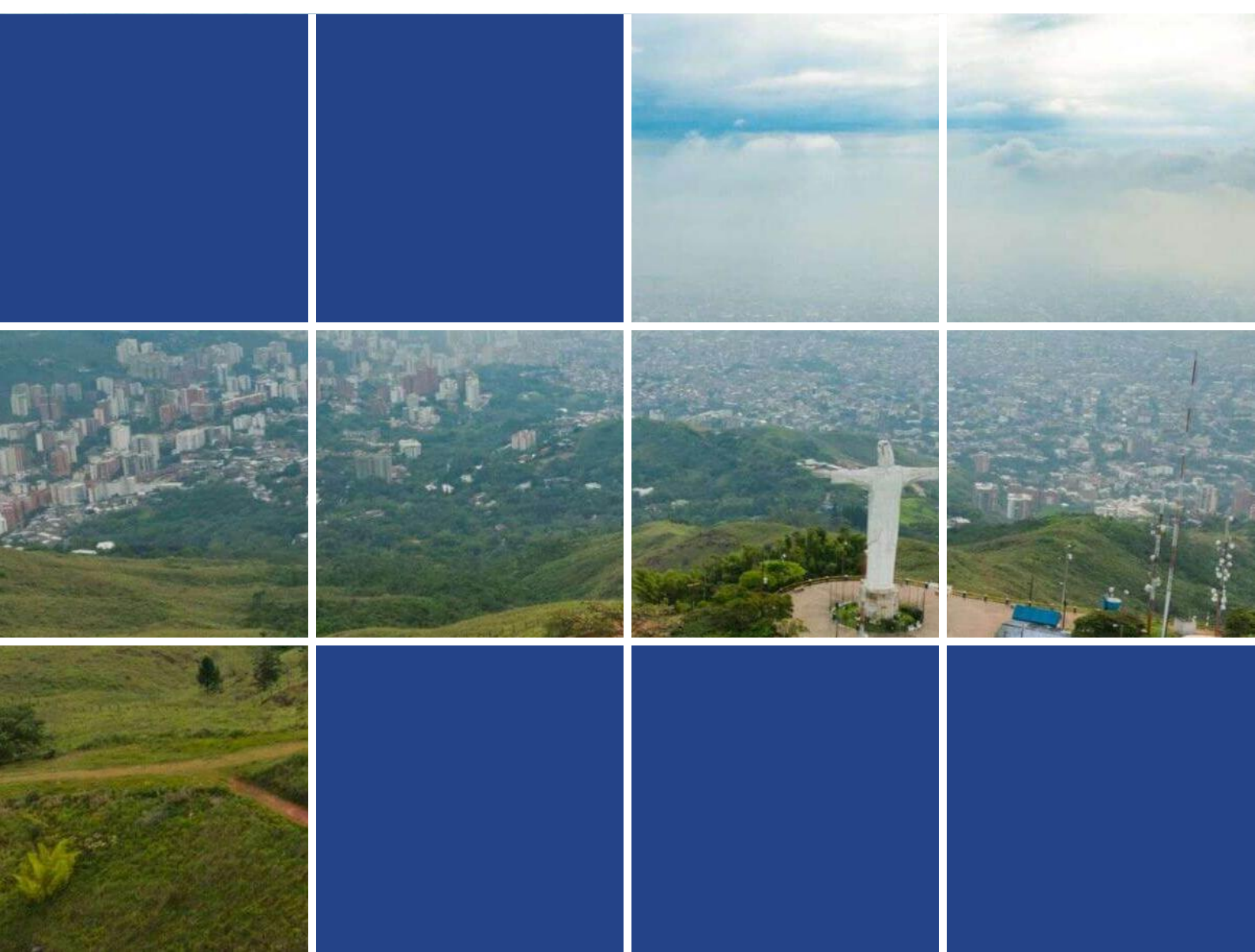
- [1] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Retos y Oportunidades en la Gestión de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en Colombia,” Bogotá, 2025.
- [2] R. Mejía de Gutiérrez, R. Robayo, and W. Valencia, “Residuos de construcción y demolición como materia prima de concretos y elementos de construcción obtenidos mediante activación alcalina,” *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exactas Fis. Nat.*, 2023, doi: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.1892>.
- [3] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Resolución 1257 de 2021.”
- [4] DAGMA, “¿Qué son los Residuos de la Construcción y Demolición - RCD?,” Alcaldía de Santiago de Cali.
- [5] Universidad del Valle and Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), “Residuos Sólidos y Economía Circular en el Valle del Cauca,” Santiago de Cali, May 2022.
- [6] DAGMA, “Generador de residuos de construcción y demolición.” Accessed: Feb. 17, 2026. [Online]. Available: <https://www.cali.gov.co/dagma/publicaciones/140797/generador-de-residuos-de-construccion-y-demolicion/>
- [7] R. Robayo, P. Matthey, Y. Silva, D. Burgos, and S. Delvasto, “Los residuos de la construcción y demolición en la ciudad de Cali: un análisis hacia su gestión, manejo y aprovechamiento.”
- [8] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Resolución 0472 de 2017.”
- [9] Alcaldía de Santiago de Cali, “Marco normativo de los residuos de la construcción y demolición.”
- [10] Gobierno de Colombia, “¿Qué es el PGIRS?”
- [11] Alcaldía de Santiago de Cali, “Manual de Construcción Sostenible de Santiago de Cali.”
- [12] Secretaría Jurídica Distrital Bogotá, “Resolución 1115 de 2012 .”
- [13] Asociación Colombiana de Universidades, “Gestión de residuos de construcción en Colombia: un problema ambiental con vacíos normativos.”
- [14] Ingeniería y Construcción, “Colombia produce 22 millones de toneladas de RCD al año.”
- [15] DANE, “Encuesta Ambiental Industrial (EAI) - 2021,” Bogotá, 2023.
- [16] DANE, “Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda 2018,” Cali, Jul. 2019.
- [17] J. Castro, “Censo extra oficial en Jamundí, un municipio en vía de crecimiento,” El Campesino.
- [18] A. Álvarez, “Escombros: Una crisis de ciudad en Cali.”
- [19] S. Ceballos, D. González, and J. Sánchez, “Reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición (RC&D) Generados en la Universidad del Valle Sede Meléndez para la Fabricación de Adoquines,” 2020.
- [20] R. Mejía-De-Gutiérrez, R. Robayo-Salazar, and W. Valencia-Saavedra, “Construction and demolition waste as raw material for concrete and

- construction elements obtained through alkaline activation,” *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Exactas Fis. Nat.*, vol. 47, no. 184, pp. 505–519, 2023, doi: 10.18257/raccefyn.1892.
- [21] Secretaría Distrital de Ambiente (SDA), “Porcentaje de aprovechamiento de Residuos de Construcción y demolición – PARCD-PACA.”
- [22] H. Acevedo Agudelo and M. Ruiz Loaiza, “Aproximación a la gestión de los residuos de construcción y demolición en el área metropolitana del Valle de Aburrá,” Medellín, Sep. 2022.
- [23] MinVivienda, “Guía para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los PGIRS,” Bogotá D.C, Sep. 2015. Accessed: Jul. 09, 2026. [Online]. Available: <https://www.minvivienda.gov.co/sites/default/files/documentos/guia-pgirs.pdf>
- [24] Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, “Gestores RCD - CVC,” Apr. 2026, Cali. Accessed: Jul. 09, 2026. [Online]. Available: https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/2026-04/GESTORES%20RCD_11_abr_2026_portal.pdf
- [25] Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca and C. D. Rodríguez Guzmán, “SEGUIMIENTO A METAS DE APROVECHAMIENTO DE LOS PGIRS DEL DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA 2022,” Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, Cali, 2022. Accessed: Jul. 09, 2026. [Online]. Available: <https://www.udca.edu.co/wp-content/uploads/2023/05/Presentacion-congreso-PGIRS-Valle-del-Cauca-2023.pdf>
- [26] Alcaldía de Jamundí, “Actualización PGIRS Jamundí 2024-2027,” Jamundí, Dec. 2023. Accessed: Jul. 09, 2026. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/document/854663712/DECRETO-30-16-395-DE-2023>
- [27] Universidad del Valle and Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), “Residuos Sólidos y Economía Circular en el Valle del Cauca,” Santiago de Cali, May 2022.
- [28] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Resolución 1257 de 2021.”
- [29] Congreso de Colombia, “LEY 617 DE 2000,” Bogotá, Oct. 2000.
- [30] DANE, “Proyecciones de población municipal para el periodo 2018-2042.”
- [31] CVC, “Listado de Gestores RCD 2025 CVC.”
- [32] Alcaldía de Santiago de Cali, “Aprende cómo disponer adecuadamente tus escombros.”
- [33] DAGMA, “Autoridades ambientales articulan acciones para combatir botaderos de escombros.”
- [34] Plataforma del Estado Peruano, “Conoce cómo funciona la primera planta de valorización de residuos de construcción con autorización del Minam.”
- [35] AECOM Asia Company Limited, “People’s Republic of China: Construction and Demolition Waste Management and Recycling,” Apr. 2018.
- [36] Xinhua, “China Focus: Recycled construction waste helps firms go from trash to cash.”
- [37] X. Carranza Risco, “Industrias Verdes - Caso Ciclo,” Lima, 2017.

- [38] European Commission, “The EU Construction & Demolition Waste Management Protocol (2024 updated edition).”
- [39] Auditoría General de la Ciudad de Buenos Aires, “Informe Final de Auditoría del Proyecto N°12.25.05: Planta Recicladora de Áridos,” Buenos Aires, Dec. 2025.
- [40] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Flujo Materiales de Construcción.”
- [41] GEO ECOTECH, “Reciclaje de Residuos de Construcción y Demolición.”
- [42] N. Ferronato, R. C. Fuentes Sirpa, E. G. Guisbert Lizarazu, F. Conti, and V. Torretta, “Construction and demolition waste recycling in developing cities: management and cost analysis,” *Environmental Science and Pollution Research*, Nov. 2022.
- [43] J. S. Bedoya Cruz, “Propuesta Para La Gestión Integral De Residuos De Construcción Y Demolición En La Escombrera Del Parque Tecnológico Ambiental Presidente,” Tesis de Grado, Universidad Central del Valle del Cauca, Tuluá, 2025. Accessed: Jun. 02, 2026. [Online]. Available: <https://repositorio.uceva.edu.co/bitstream/handle/20.500.12993/5094/TG-jbedoya.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [44] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *RESOLUCIÓN 1257 DE 2021*. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021. Accessed: May 26, 2026. [Online]. Available: https://normas.cra.gov.co/gestor/docs/resolucion_minambientesds_1257_2021.htm
- [45] Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Resolución 0472 de 2017*. Bogotá D.C.: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2017.
- [46] ASTM International, “Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine,” ASTM Standards. Accessed: May 26, 2026. [Online]. Available: https://store.astm.org/c0131_c0131m-20.html
- [47] ASTM International, “Standard Test Method for Materials Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing,” ASTM Standards. Accessed: May 26, 2026. [Online]. Available: <https://store.astm.org/c0117-17.html>
- [48] ASTM International, “Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates,” ASTM Standards. Accessed: May 26, 2026. [Online]. Available: <https://store.astm.org/c0136-06.html>
- [49] ASTM International, “Standard Specification for Concrete Aggregates,” ASTM Standards. Accessed: May 26, 2026. [Online]. Available: https://store.astm.org/c0033_c0033m-18.html
- [50] INVÍAS, “Especificaciones INVÍAS 2022: Pavimentos Concreto,” Bogotá D.C., 2022. Accessed: May 26, 2026. [Online]. Available: <https://es.scribd.com/document/700469681/Articulo-500-Especificacion-general-de-construccion-INVIAS-2022>
- [51] OMEGA INGENIERÍA, “Guía regional con los procesos técnicos y jurídicos para el manejo integral de Residuos de Construcción y Demolición,” 2023, *Medellín*.

- [52] Acoplásticos, “Encuesta de precios de reciclaje en Colombia,” Aug. 2024. Accessed: Jun. 02, 2026. [Online]. Available: <https://plas-tic.org/wp-content/uploads/2024/09/INFORME-PRECIOS-AGOS-2024-5.pdf>
- [53] Asociación Española de Reciclaje de RCD, “Economía Circular para los Residuos de Construcción y Demolición RCD.”
- [54] M. Guzmán and A. Soler, “Estudio de factibilidad para la creación de una planta para el aprovechamiento de los residuos de la construcción y demolición (RCD) en Bogotá,” Bogotá , 2019.
- [55] H. Cabrera and L. Palacio, “Planta de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición RCD generados en la ciudad de Bogotá D.C. para la elaboración de prefabricados de construcción,” Bogotá, Jul. 2020.
- [56] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, “Sustainable Management of Construction and Demolition Materials.” Accessed: Apr. 08, 2026. [Online]. Available: https://economiacircular.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2025/12/Retos-y-oportunidades-Gestion-RCD_280825-1.pdf
- [57] Alcaldía de Santiago de Cali, “Geoportal IDESC.”
- [58] Bogota, “Bogotá convertirá escombros arrojados en las calles y recuperados, en material de construcción y de obras.”
- [59] P. A. Otero Vega, “Aprende cómo disponer adecuadamente tus escombros,” Alcaldía de Santiago de Cali. Accessed: Jul. 15, 2026. [Online]. Available: <https://www.cali.gov.co/serviciospublicos/publicaciones/178524/aprende-como-disponer-adecuadamente-tus-escombros/>
- [60] Comunicaciones Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos - UAESP, “Alcaldía de Cali garantiza más capacidad y mejor gestión ambiental en la Estación de transferencia de la Carrera 50,” Alcaldía de Santiago de Cali. Accessed: Jul. 15, 2026. [Online]. Available: <https://www.cali.gov.co/serviciospublicos/publicaciones/184555/alcaldia-de-cali-garantiza-mas-capacidad-y-mejor-gestion-ambiental-en-la-estacion-de-transferencia-de-la-carrera-50/>
- [61] C. Bohórquez Ramírez, “Cali: plan para evacuar toneladas de escombros que formaron montaña en la 50,” *El Tiempo*, Santiago de Cali, Jan. 24, 2024. Accessed: Jul. 15, 2026. [Online]. Available: <https://www.eltiempo.com/colombia/cali/cali-plan-parcial-de-la-alcaldia-ante-gigantesca-montana-de-escombros-en-la-50-848047>
- [62] Departamento Nacional de Planeación, “Lineamientos para la construcción de estación de aprovechamiento de residuos sólidos - EC,” Bogotá D.C., 2018. Accessed: Jul. 15, 2026. [Online]. Available: https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/13.11.2018-ECAS-Lineamientos_V2-ajustado-3.pdf
- [63] UPME, “REALIZAR UN ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE REUTILIZACIÓN DE MINERALES EN COLOMBIA Y DEFINIR ESTRATEGIAS ORIENTADAS A FOMENTAR SU APROVECHAMIENTO POR PARTE DE LA INDUSTRIA EN EL PAÍS BAJO EL ENFOQUE DE ECONOMÍA CIRCULAR CONTRATO INTERADMINISTRATIVO CI-049-2018,”

- Bucaramanga, Nov. 2018. Accessed: Apr. 28, 2026. [Online]. Available:
<https://www.andi.com.co/Uploads/Documento%20An%C3%A1lisis%20Nacional.pdf>
- [64] Premolda, “Innovación en materiales de construcción - Eco-Productos y programa RECON.”
- [65] Universidad Industrial de Santander and UPME, “Realizar un análisis del potencial de reutilización de minerales en Colombia y definir estrategias orientadas a fomentar su aprovechamiento por parte de la industria en el país bajo el enfoque de economía circular,” Bucaramanga, Nov. 2018.
- [66] Empresa EMPATIA E.S.P, “Estudios Previos - Obras Reposición,” Sep. 2017.
- [67] Concesionaria Rutas del Valle, “Informe de sostenibilidad 2022 GRI,” 2022.
- [68] Agencia Nacional de Infraestructura, “Proyecto Nueva Malla Vial del Valle del Cauca - Accesos Cali y Palmira.”
- [69] Procuraduría general de la nación, “Conciliación extrajudicial procuraduría 166 judicial II para asuntos administrativos,” Cali, May 2014.
- [70] Generador de Precios Rehabilitación Colombia, “Generador de Precios Rehabilitación Colombia,” Generador de Precios Rehabilitación Colombia. Accessed: Apr. 28, 2026. [Online]. Available:
https://colombia.generadordeprecios.info/rehabilitacion/Acondicionamiento_del_terreno/AD_Movimiento_de_tierras_en_edifi/Rellenos_y_compactaciones/ADRO21_Relleno_en_trasdos__con_agregados_r_0_0_0_0.html
- [71] MinVivienda, “Guía para el cálculo de la tarifa de aprovechamiento y tips de comercialización de materiales,” Feb. 2019.
- [72] T. Wang, K. Li, D. Liu, Y. Yang, and D. Wu, “Estimating the Carbon Emission of Construction Waste Recycling Using Grey Model and Life Cycle Assessment: A Case Study of Shanghai,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 19, no. 14, Jul. 2022, doi: 10.3390/ijerph19148507.
- [73] G. Frederick and J. Tario, “Quantify the Energy and Environmental Effects of Using Recycled Asphalt and Recycled Concrete for Pavement Construction Phase I Final Report,” 2009. Accessed: Apr. 21, 2026. [Online]. Available:
<https://www.dot.ny.gov/divisions/engineering/technical-services/trans-r-and-d-repository/C-08-02%20Final%20Report%209-8-09.pdf#:~:text=5%202,38>
- [74] Fincaraiz, “Lotes en venta en zona industrial.”



www.deuman.com