



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Cali

**ANÁLISIS DE LA IMPLEMENTACIÓN DE LA RESOLUCIÓN 1257 DE 2021 DEL
MADS EN LA HUELLA ECOLÓGICA DE LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDA:
ESTUDIO DE CASO.**

Programa de Maestría en Ingeniería Civil

Presentado por:

ISABEL CRISTINA POTES CASAS

Pontificia Universidad Javeriana Cali
Facultad de Ingeniería y Ciencias
Mayo de 2025

Dedicatoria

A Dios por mostrarme el camino, acompañarme en él y derramar sus bendiciones

A mi madre, mi refugio incondicional, por su amor sin límites y comprensión infinita

A mi padre, compañero de vocación, cuya nobleza y paciencia han sido mi guía constante

A mis abuelos Virgilio y Pedro, quienes siempre creyeron en mí y en este sueño hecho realidad

Agradecimientos

A la Pontificia Universidad Javeriana Cali, por brindarme una formación integral que combina excelencia académica y calidad humana, y por contar con profesores que inspiran a través de su profesionalismo y calidez.

Al doctor Iván Fernando Otálvaro C., director de esta tesis, por su generosa entrega, paciencia y constante motivación, así como por compartir su conocimiento con cariño y entusiasmo.

A los estudiantes del semillero de investigación de geotecnia y ambiente GEAM —Manuela Reyes, Santiago Ibarra y Daniela Aránzazu—, cuyo compromiso y apoyo fueron fundamentales en la recopilación de datos.

A mis amigas Luisa, Camila y Valentina, por ser luz en mi vida, por su amor, escucha y ánimo incondicional principalmente en los momentos más difíciles.

RESUMEN

Este trabajo de grado tiene como propósito principal evaluar el efecto de la implementación de la Resolución 1257 de 2021 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) sobre la huella ecológica (HE) generada por un proyecto de construcción de vivienda ubicado en el sur de Santiago de Cali. Para ello, se analizaron tres escenarios: el primero sin ningún tipo de gestión ni aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD), el segundo considerando el cumplimiento de las metas establecidas por dicha Resolución, y un tercero con un aprovechamiento máximo de los RCD según su generación estimada.

Se estimó la huella ecológica total del proyecto mediante la metodología de cálculo basada en componentes clave como materiales, transporte, generación de RCD, consumo de agua, alimentos y ocupación del suelo. Posteriormente, se modelaron los tres escenarios propuestos, permitiendo establecer comparaciones entre ellos. Los resultados evidenciaron que el escenario sin gestión (ESC-1) presenta la mayor huella ecológica total (3.325 hag), seguido por el escenario con cumplimiento de la Resolución 1257 (ESC-2) con 3.254 hag, y finalmente el escenario con gestión máxima (ESC-3), que logró la menor huella ecológica con 3.198 hag.

El análisis detallado por componentes mostró que las huellas asociadas a materiales y transporte son las más significativas en los tres escenarios, mientras que la huella ecológica de los RCD disminuye de manera considerable a medida que se implementan estrategias de aprovechamiento más eficaces. Esta tendencia demuestra que, si bien los RCD no representan la mayor proporción de la huella ecológica total, su adecuada gestión tiene un impacto directo en la reducción del indicador global, validando así la importancia de cumplir y superar las metas de la Resolución 1257 de 2021.

En conclusión, la evaluación realizada demuestra que la implementación de políticas de gestión de RCD sí contribuye a la disminución de la huella ecológica en proyectos constructivos. Los resultados permiten evidenciar que el cumplimiento normativo y la adopción de buenas prácticas ambientales no solo son viables, sino también necesarios para avanzar hacia modelos de edificación más sostenibles.

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema.....	2
1.2. Objetivos.....	3
1.3. Organización del documento escrito.....	4
2. Revisión bibliográfica	5
2.1. Gestión y aprovechamiento de RCD.....	7
Generación de RCD.....	9
Análisis de normativa	14
2.1.4 Alternativas de aprovechamiento	20
2.2. Huella ecológica.....	23
2.2.1. Metodología de cálculo de la huella ecológica.....	23
2.2.2. Casos de estudio de cálculo de la huella ecológica en la construcción	27
3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
3.1. Descripción del estudio de caso	30
3.2. Metodología de cálculo de la huella ecológica	35
3.2.1. Huella ecológica de alimentación.....	36
3.2.2. Huella ecológica forestal	41
3.2.3 Huella de superficie de ocupación.....	45
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	46
4.1. Huella ecológica para el Escenario 1	49
4.2. Huella ecológica para el Escenario 2	52
4.3. Huella ecológica para el Escenario 3	54
4.4. Análisis comparativo	55

5. CONCLUSIONES	60
5.1. Conclusiones.....	60
5.2. Recomendaciones para trabajos futuros.....	61
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Generación actual de residuos de construcción y demolición en ciudades de Colombia	9
Tabla 2. Antecedentes del marco normativo para el manejo de RCD.	16
Tabla 3. Resumen de las cantidades de obra consideradas en el análisis.	34
Tabla 4. Consumo grupo de alimentos kg/día para diferentes países.	38
Tabla 5. Peso de una comida promedio en un restaurante “casero” o menú ejecutivo.	39
Tabla 6. Distribución de alimentos por plato o comida en un restaurante casero en Santiago de Cali.	39
Tabla 7. Rendimiento agrológico de los alimentos básicos de la dieta colombiana en kg/ha.	39
Tabla 8. Huella parcial de los materiales.....	41
Tabla 9. Ejemplo estimación peso por actividad.....	46
Tabla 10. Estimación de la generación de RCD.....	49
Tabla 11. Huella de carbono de materiales y transporte del Escenario 1.	50
Tabla 12. Huella de carbono de materiales y transporte del Escenario 2.	52
Tabla 13. Huella de carbono de materiales y transporte del Escenario 3.	54
Tabla 14. Comparación con otros estudios.....	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Metas de aprovechamiento de RCD. Fuente: Resolución 1257 de 2021.	6
Figura 2. Volumen de residuos (m ³) dispuestos adecuadamente durante el periodo 2018-2019 en Santiago de Cali. Fuente: EMSIRVA	8
Figura 3. Cantidad de RCD evacuados de la EDT carrera 50 durante el periodo 2018-219. Fuente: UAESPM – Alcaldía de Santiago de Cali.....	8
Figura 4. Generación diaria de RCD en Colombia. Fuente: ('DNP (Departamento Nacional de Planeación)', 2018).....	11
Figura 5. Comparativa de los RCD producidos en Bogotá 2017 – 2018. Fuente. Veeduría Distrital, 2020.	16
Figura 6. Huella ecológica de la humanidad 1961-2005 (Informe Planeta Vico, 2008).	23
Figura 7. Metodología general para el cálculo de la HE. Fuente (Rivero and Marrero, 2017).	25
Figura 8. Árbol metodológico para el cálculo de la HE.	29
Figura 9. Clasificación del suelo, fuente: POT 2014.....	31
Figura 10. Localización del estudio de caso. Fuente: POT 2014.	31
Figura 11. Mega proyecto Ciudad Pacífica (tomado de: https://www.constructorabolivar.com/proyectos-vivienda/cali/ciudad-pacifica).	32
Figura 12. Distribución en plata del proyecto Mirasol I, de tipología similar al estudio de caso durante su construcción (Devia, 2021).	33
Figura 13. Distribución arquitectónica vivienda tipo Mirasol II.	34
Figura 14. Árbol metodológico para estimación de Huella Ecológica. Fuente: elaboración propia.	35
Figura 15. Metodología adoptada para el cálculo de la Huella de Alimentación.	37
Figura 16. Factores de equivalencia para 2003 (modificado de WWF, 2006).	41
Figura 17. Cantidades representativas del proyecto.	48

Figura 18. Contribución de las huellas parciales del escenario 1.	51
Figura 19. Contribución de las huellas parciales del escenario 2.	53
Figura 20. Contribución de las huellas parciales del escenario 3.	55
Figura 21. Huella ecológica total para los tres escenarios de gestión y aprovechamiento de RCD.	56
Figura 22. Contribución de cada una de las huellas a la huella ecológica total para cada escenario.	57
Figura 23. Huella ecológica para los tres escenarios en función del área construida por vivienda.	58

1. INTRODUCCIÓN

Se conoce bien el cambio desfavorable que está teniendo el planeta tierra en las últimas décadas, a causa del daño ambiental que se viene ocasionando debido nuevas maneras de vivir, las cuales incluyen la pérdida de áreas selváticas, boscosas o de cierto carácter natural especial, desplazamiento de fauna y flora, contaminación a gran y pequeña escala sobre fuentes hídricas o terrestres, sobrepoblación, actividades generadoras de gases de efecto invernadero (GEI), entre otras. El sector de la construcción con sus actividades tanto de transformación de materiales, utilización de recursos naturales renovables y no renovables, modificación del entorno urbano y generación de residuos, es causante del aumento de un gran porcentaje de Huella Ecológica (HE) a nivel regional, nacional e internacional.

Debido a que la temática medio ambiental es una problemática que nos involucra a todos y a cada actividad económica que se realice, desde décadas atrás se aborda a nivel mundial el tema de la sostenibilidad, dando inicio a ella en el año 1987 con el Informe Brundtland, el cual se titula Nuestro Futuro Común (Our Common Future) y define el desarrollo sostenible cómo: aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones. Consecuente con el tema, el Protocolo de Kioto tiene por objetivo involucrar a diferentes países industrializados a comprometerse con trabajar en la reducción de gases de efecto invernadero mediante estrategias y políticas. A su vez en el año 2015 la Organización de las Naciones Unidas (ONU) adopta un conjunto de objetivos globales como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible, la cual cuenta con 17 objetivos, los cuales buscan erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad a nivel global; el objetivo 11 denominado: Ciudades y comunidades sostenibles, busca lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles (ONU-HABITAT, 2015), generando conciencia sobre la planificación urbana, la gestión de residuos, sistemas de aguas, transporte y calidad del aire.

A nivel nacional, Colombia ha desarrollado estrategias y normativas con las cuales pretende aportar al cumplimiento de compromisos propios e internacionales como los anteriormente mencionados. Entre estas estrategias se encuentra la Resolución 1257 de 2021 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), la cual surge como modificación a la Resolución 0472 de 2017, por la cual se adoptan nuevas disposiciones sobre el manejo de los residuos de construcción y demolición. Esta tiene como objetivo la gestión integral de Residuos de

Construcción y Demolición (RCD), abarcando tanto pequeños como grandes generadores, y formulando unas disposiciones específicas para el tratamiento y aprovechamiento de estos residuos.

El objetivo de este trabajo es valorar, en términos de indicadores de impacto ambiental, el efecto del cumplimiento de la Resolución 1257 del MADS con relación al aumento o disminución de la Huella Ecológica en el sector de la construcción de vivienda, posibilitando así la información y el conocimiento sobre un tema de interés general, abordado desde el ámbito constructivo y considerando la idea de aportar a un cambio positivo enfocado en el sistema que actualmente se desarrolla como sociedad.

1.1. Planteamiento del problema

El crecimiento de la población genera a su vez un incremento en el consumo de materiales, el cual trae asociado el gasto de recursos y la emisión de diversas sustancias que gradualmente pueden producir la degradación de los ecosistemas y la sobreexplotación de los recursos naturales renovables y no renovables. Las actividades antrópicas como la minería, la industria, la agricultura, la ganadería y la urbanización, están asociadas a la ocupación y la modificación del suelo, conduciendo a la generación de impactos ambientales sobre la diversidad biológica y/o la calidad del suelo, referidos a las funciones de soporte de vida (Paris, Civit and Corica, 2020).

Por su parte, la expansión de las zonas urbanas genera mayor demanda de energía y reduce el área de suelo con potencial de producción de alimentos, importante para el equilibrio ecológico de las ciudades. Pese a estas cifras negativas, el sector de la construcción también es el sector con mayor potencial de contribución a la sostenibilidad de las ciudades a través de un uso eficiente de los recursos y de la reducción de sus impactos (Padilla-llano and Osorio-Chávez, 2018).

La Huella Ecológica ha surgido como una medida principal a escala global que da cuenta y ayuda a dimensionar la demanda de la sociedad sobre la naturaleza. No son pocos los llamados de emergencia que han hecho organizaciones y estudios científicos acerca del estado actual del planeta, llegándose incluso a hablar de una demanda de recursos naturales superiores a los que pueden generar los ecosistemas cada año (Molina Restrepo and Ocampo Rodríguez, 2016).

La dinámica del sector constructor conlleva a la generación de residuos de construcción y demolición (RCD) que afectan negativamente el entorno, el subsuelo, las fuentes hídricas e implica

un aumento significativo en el consumo de recursos naturales (Pérez Tabares and Reyes, 2018). Recientes estudios indican que el ciclo de vida de la construcción es responsable del 40 al 50% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel mundial, lo cual hace que este sector también resulte crucial para cumplir con las aspiraciones globales de mitigación del Cambio Climático. Ante el compromiso de Colombia, frente al Acuerdo de París de disminuir en un 20% sus emisiones de GEI para el año 2030, es necesario crear una línea base de emisiones sectoriales con el fin de establecer metas y estrategias específicas en materia de mitigación (Pardo, Penagos and Acevedo, 2022).

Para el caso de Colombia, existe escasa investigación y reglamentación relacionada con el manejo de los RCD, impidiendo entonces beneficiarse de la reutilización y trayendo a colación inconvenientes ambientales que se suscitan a raíz del vertido de RCD a cielo abierto (Jurado Villegas and Ortiz Díaz, 2021). Se encuentra entonces la Resolución 1257 del MADS la cual modifica la Resolución 0472 de 2018 y en la que se dictan nuevas directrices, entre ellas se abarca una muestra más amplia de población, porcentajes de aprovechamiento mayor tanto para grandes y pequeños generadores, entre otras.

Teniendo en cuenta que uno de los factores más importantes en cuanto a tratamiento de RCD son las políticas públicas, es importante conocer y apropiarse de los índices que plantea la Resolución 1257 del MADS, al ser esta la normativa vigente nacional y sobre todo es de vital importancia identificar si existe una relación directa entre la aplicación de la reglamentación y la disminución de la huella ecológica generada a causa de un proyecto de construcción de vivienda.

De acuerdo con lo anterior, en este proyecto se le pretende dar respuesta a la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es la reducción de la huella ecológica de proyectos de construcción de vivienda al implementar las disposiciones de la Resolución 1257 de 2021 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible?

1.2. Objetivos

El objetivo general de este trabajo es evaluar el efecto de la implementación de la Resolución 1257 de 2021 del MADS en la huella ecológica de la construcción de vivienda dentro de diferentes

escenarios de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición para un proyecto específico en el sur de Santiago de Cali.

Este objetivo se pretende alcanzar cuando se desarrollen los siguientes objetivos específicos:

- Estimar la generación de RCD en el estudio de caso a partir de registros históricos e índices, para identificar el aprovechamiento potencial según la Resolución 1257 del 2021 del MADS.
- Determinar la estructura de costos de tres escenarios diferentes de gestión y aprovechamiento de RCD para definir las fuentes de impacto dentro de la huella ecológica (HE).
- Cuantificar la huella ecológica (HE) de cada uno de los escenarios de gestión y aprovechamiento de RCD para inferir la reducción en el impacto ambiental derivado de la Resolución 1257 del 2021 del MADS.

1.3. Organización del documento escrito

El capítulo 1 contiene el planteamiento del problema y los objetivos.

En el capítulo 2 está la revisión bibliográfica organizada en dos grandes temáticas; i) gestión y aprovechamiento de residuos de construcción y demolición y ii) análisis de ciclo de vida y Huella Ecológica.

La metodología está contenida en el capítulo 3, comenzando por la selección del estudio de caso y detallando los procedimientos de cálculo de la Huella Ecológica determinística y probabilística.

En el capítulo 4 se encuentran los resultados y análisis, incluyendo los escenarios propuestos y la Huella Ecológica determinística y probabilística.

Finalmente, el capítulo 5 incluye las conclusiones y recomendaciones para futuros trabajos.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

El marco de referencia está organizado en dos partes. La primera es una revisión detallada de la gestión y aprovechamiento de RCD enfocada a la situación presentada en la ciudad de Santiago de Cali y las barreras que se han identificado en cuanto a lograr metas puntuales. La segunda parte hace referencia al cálculo de la huella ecológica referente a aspectos generales y a sus aspectos necesarios para realizar su cálculo.

La Red Huella Global estima que la huella ecológica mundial excedió la biocapacidad de la Tierra a finales de 1970. Debido al cambio climático, al aumento de la población y muchos factores más, hay una creciente necesidad de establecer indicadores medioambientales adecuados para permitir que los responsables de la toma de decisiones realicen juicios informados con respecto a las políticas, programas, planes y proyectos (Contreras, González and Barbosa, 2015).

Para el País es de vital importancia tener un cambio ambiental positivo en este momento ya que se espera que 18 millones de nuevos habitantes lleguen a las ciudades en los próximos 35 años. El rápido crecimiento de la población urbana y la consecuente dinámica del sector de las edificaciones contrasta con el ritmo de adopción de medidas que permitan mitigar las externalidades negativas del sector (Departamento de Planeación Nacional - DNP, 2018).

Todas las actividades o procesos provocan impactos medioambientales, suponen consumo de recursos, emiten sustancias al medio ambiente y generan otras modificaciones ambientales durante su periodo vital. De acuerdo con los resultados revelados por el DANE sobre el Producto Interno Bruto (PIB) en el año 2021, la economía colombiana creció 10,6% frente a 2020 y los resultados en el valor agregado del sector edificador presentaron un incremento destacado de 11,6% en 2021, lo que evidencia que la construcción de vivienda impulsó, no solo el crecimiento de la economía, sino el valor agregado en sectores como la industria y el comercio de insumos, con los cuales mantiene un alto nivel de encadenamientos productivos.

Se interpretan estos datos con relación a la magnitud que tiene el sector de la construcción tanto en la economía del País, cómo en el desarrollo del mismo; sin embargo, dicha magnitud también se ve reflejada en el impacto negativo sobre el medio ambiente de acuerdo a las actividades necesarias para llevar a cabo la realización de una obra, encontrándose entre ellas la generación de residuos de construcción y demolición (RCD). Según el DANE, en su Encuesta

Ambiental Industrial (EIA) del año 2018, el tipo de residuo clasificado como Construcción y Demolición dispuso un total de 542.142 toneladas, equivalentes a una participación de 37,6% de los residuos dispuestos por la industria manufacturera.

De acuerdo a lo anteriormente mencionado, es indispensable que las empresas responsables del desarrollo constructivo y crecimiento urbano – demográfico se involucren jurídicamente en la implementación de aprovechamiento de RCD.

El desconocimiento generalizado entre las empresas del sector de la construcción sobre aspectos relacionados con construcción sostenible dificulta la implementación de estas nuevas prácticas. (‘Sostenibilidad Actualidad Y Necesidad En El Sector De La Construcción En Colombia’, 2012). Colombia propuso mediante la Resolución 0472 de 2017, alcanzar una meta del 30% de aprovechamiento de RCD para el año 2030, la cual es modificada mediante la implementación de la Resolución 1257 de 2021 artículo 9 “Metas de aprovechamiento de RCD” la cual hace referencia al porcentaje de aprovechamiento conforme a la categoría del municipio en la cual se localice la obra.

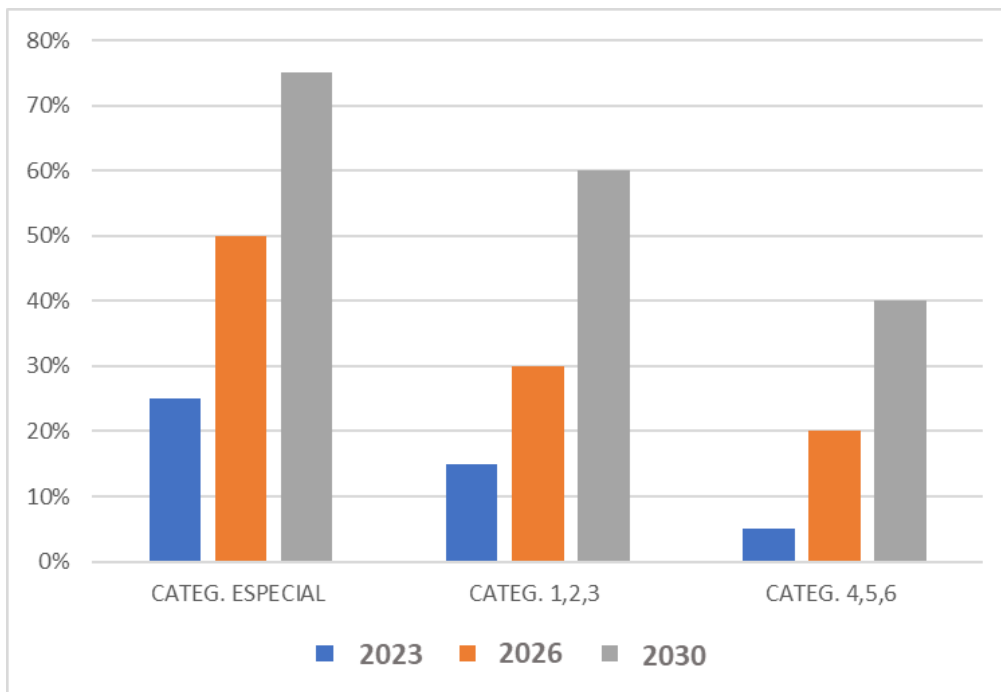


Figura 1. Metas de aprovechamiento de RCD. Fuente: Resolución 1257 de 2021.

Según el Artículo 6 “Categorización de los distritos y municipios” de la Ley 617 de 2000 se considera de Categoría Especial a todos aquellos distritos o municipios con población superior o igual a los quinientos mil un (500.001) habitantes y cuyos ingresos corrientes de libre destinación anuales superen cuatrocientos mil (400.000) salarios mínimos legales mensuales. Considerando que según la Ley 1933 de 2018 se categoriza al municipio de Santiago de Cali como Distrito Especial, se hace de vital importancia el conocimiento y aplicación de los nuevos porcentajes de aprovechamiento que deben acatarse.

Así mismo, actualmente el municipio de Santiago de Cali se encuentra construyendo iniciativas de política en construcción sostenible. Se ha demostrado que existe un débil conocimiento e implementación de políticas en construcción sostenible, incluida la Resolución 0549 de 2015 en los demás municipios del país. Adicionalmente, a pesar de los avances en iniciativas en construcción sostenible en Bogotá, el Valle de Aburrá y Cali, no se han implementado mecanismos de control en la implementación de estas iniciativas a nivel nacional. (Departamento de Planeación Nacional - DNP, 2018)

Se hace necesario llevar a cabo este trabajo de grado buscando aportar al sector constructivo, el conocimiento sobre la implementación de la reglamentación nacional existente respecto a los RCD, específicamente la Resolución 1257 del MADS, logrando identificar el impacto de esta normativa y su relación con la huella ecológica, proponiendo escenarios de gestión y aprovechamiento dentro de la construcción de vivienda en la ciudad de Santiago de Cali.

2.1. Gestión y aprovechamiento de RCD

Con relación a lo anteriormente expuesto, Colombia en su política pública ha acogido el cumplimiento de los compromisos asumidos en la Agenda Internacional de Desarrollo Sostenible 2030, la cual se pactó en septiembre del año 2015 por parte de las Naciones Unidas en conjunto con los líderes mundiales y en la cual se plantean diversos objetivos. La normativa nacional hace énfasis respecto al cumplimiento de los Objetivos 11 y 12, los cuales hablan acerca de ciudades y comunidades sostenibles, y producción y consumo responsable.

Los residuos de construcción y demolición (RCD) coloquialmente conocidos como “escombros”, son recolectados y dispuestos en los sitios autorizados por las autoridades ambientales. Para el caso de Santiago de Cali, en el área urbana la autoridad ambiental es el DAGMA y en el área rural es la CVC. A continuación, la siguiente gráfica detalla la cantidad de

m³ de RCD que fueron dispuestos adecuadamente durante el periodo 2018 - 2020, siguiendo lo ordenado por la normatividad vigente y por cada uno de los operadores de aseo autorizados (DAGMA and Alcaldía, 2021).

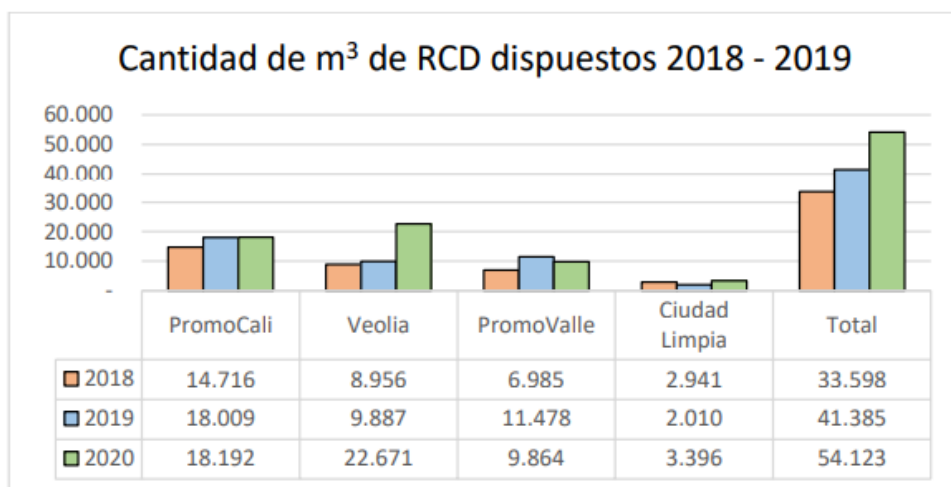


Figura 2. Volumen de residuos (m³) dispuestos adecuadamente durante el periodo 2018-2019 en Santiago de Cali. Fuente: EMSIRVA

En la siguiente gráfica se observa la cantidad de m³ de RCD que fueron evacuados durante el periodo 2018 – 2020 de la Estación de Transferencia (EDT) de RCD ubicada en la Carrera 50 que es donde son inicialmente dispuestos estos Residuos para posteriormente ser transportados a los sitios autorizados de disposición final por parte de las autoridades ambientales (DAGMA and Alcaldía, 2021).

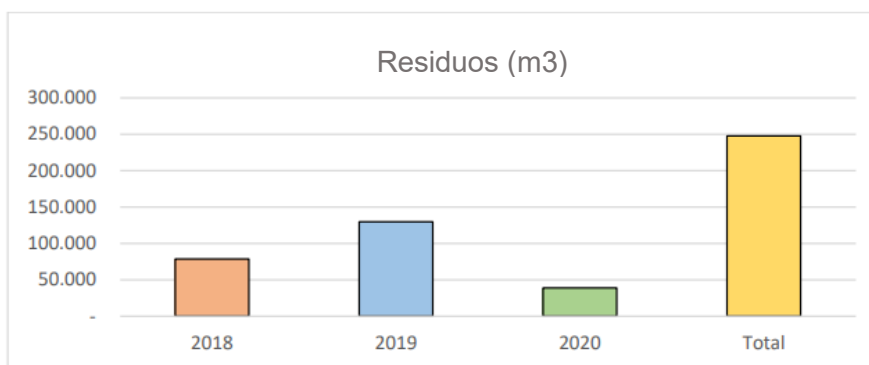


Figura 3. Cantidad de RCD evacuados de la EDT Carrera 50 durante el periodo 2018-2020. Fuente: UAESPM – Alcaldía de Santiago de Cali.

A pesar de todos los esfuerzos, el manejo que se da hoy a los RCD en la ciudad de Cali continúa siendo inapropiado, por lo que estos terminan siendo tratados como un desecho y contaminados desde la fuente con otros materiales, e incluso con materia orgánica. Esta mala práctica hace imposible llevar a cabo la labor de reciclaje y aprovechamiento de los RCD.

La barrera que quizá tiene mayor influencia y hace infructuosos los procesos de reciclaje de RCD en Santiago de Cali y en la mayoría de las ciudades colombianas, es la inexistencia de normas técnicas que hayan sido avaladas por estudios e investigaciones científicas y que permitan el uso de materiales obtenidos a partir de escombros en obras de construcción civil y sirvan a su vez como medio para brindar seguridad al consumidor de la calidad del producto obtenido. La falta de estas herramientas hace necesario el desarrollo de estudios y acciones que se enfoquen en el reciclaje de este tipo de materiales (Robayo Salazar *et al.*, 2015).

Generación de RCD

La Resolución 0472 de 2017, por ejemplo, determinó un volumen de generación de RCD de 22.270.338 toneladas en 12 de las principales ciudades del país en el año 2011. Según las cifras del Plan de Aprovechamiento de Escombros de la UAESP (Unidad Administrativa de Servicios Públicos), el 72% de los RCD generados en Bogotá son producto de proyectos de carácter privado, el 25% corresponde a obras públicas, y el 3% restante hace parte de los RCD domiciliarios y clandestinos. Debido a estos indicadores, en la ciudad capital es posible proyectar una caracterización de los tipos de generadores en diversos municipios, deduciendo que la mayor parte de los generadores de RCD en entornos urbanos corresponde al sector privado, donde predomina la actividad edificadora, lo que permite proyectar el tipo de RCD producto de estas actividades (MADS, 2020).

Tabla 1. Generación actual de residuos de construcción y demolición en ciudades de Colombia

Ciudad	M ton	m³
Bogotá	18,31	12,29
Medellín	1,78	1,19
Santiago de Cali	1,21	0,91
Manizales	0,46	0,31
Cartagena	0,29	0,19
Pereira	0,09	0,06
Ibagué	0,09	0,06
Pasto	0,02	0,016

Ciudad	M ton	m³
Barranquilla	0,02	0,012
Neiva	0,003	0,002
San Andrés	0,0003	0,0002

Fuente. Universidad Nacional de Colombia y MADS (2013)

Para contextualizar el tema de la generación de residuos de construcción y demolición a nivel nacional, se presenta la Figura 4 en la cual la generación diaria de RCD en Colombia, según el DNP (Departamento Nacional de Planeación) 2018. Se pueden observar los datos tanto del departamento del Valle del Cauca como de su ciudad capital Santiago de Cali, en los cuales se evidencia la generación de RCD de 3.592,68 ton/día y de 1.208.723 Mton/año.

La capital vallecaucana genera actualmente un promedio de 2480 metros cúbicos diarios de RCD. De este volumen, cerca de 76,6% (1900 m³) es aportado por las constructoras y obras públicas en lo que se denomina “la generación formal” y 23,4% (580 m³) restante son aportados por construcciones y remodelaciones particulares, y el llamado “sector informal”. Por esta razón, el desarrollo de proyectos urbanísticos como las 21 mega obras y la construcción del Masivo Integrado de Occidente (MIO) han provocado un incremento significativo del volumen de RCD generados anualmente en la ciudad de Cali desde el año 2009, cuando se encontraban en ejecución las etapas finales de dichos proyectos. A partir de 2011 hasta la actualidad, la generación de RCD se ha mantenido constante; sin embargo, la proyección puede variar para los próximos años, ya que el Municipio tiene planeada la ejecución de una segunda fase de las mega obras, con lo cual se espera que la cifra de generación de RCD se vuelva a incrementar (Robayo Salazar *et al.*, 2015).

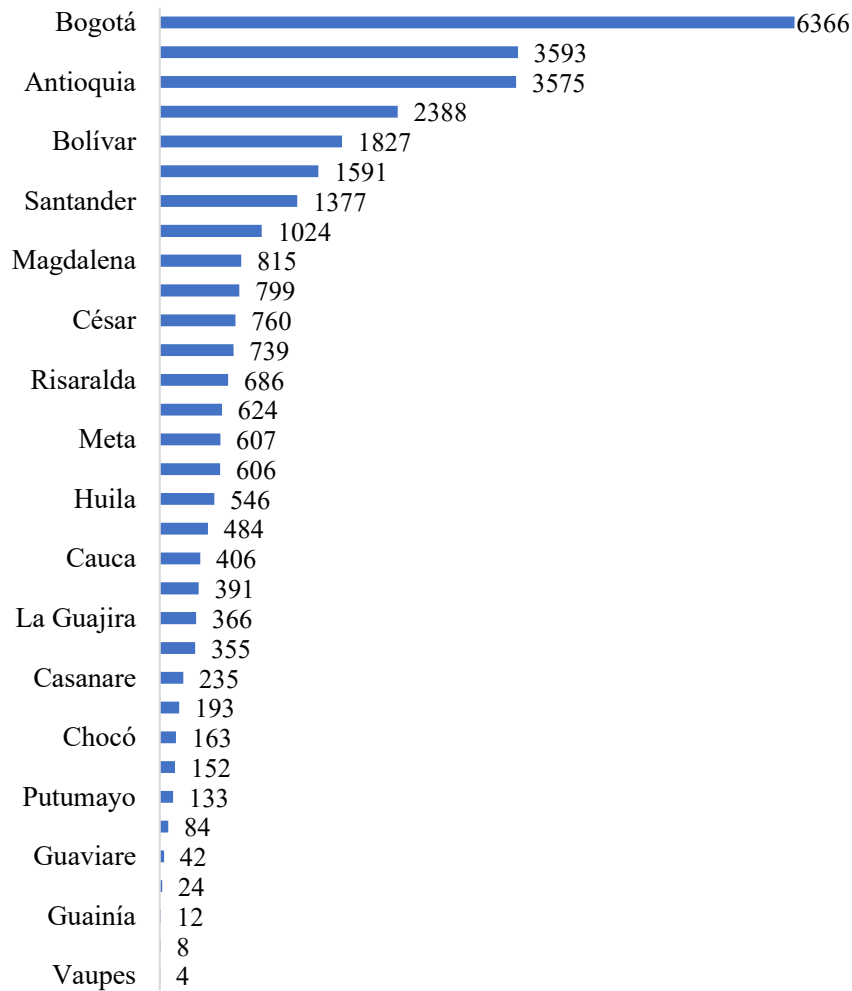


Figura 4. Generación diaria de RCD en Colombia. Fuente: ('DNP (Departamento Nacional de Planeación)', 2018)

Diferentes trabajos de grado en el programa de la maestría en Ingeniería Civil de la Pontificia Universidad Javeriana Cali, han evaluado la generación de RCD, a continuación, se presentan algunos de ellos:

- **Marín, J. A. (2019). Análisis de la generación de residuos de construcción y demolición (RCD) en un proyecto institucional: estudio de caso.** La investigación tuvo como objetivo estudiar la generación de residuos de construcción y demolición en obra, haciendo seguimiento a las actividades que los generan, este seguimiento fue realizado por el autor semana tras semana. Calculó

la totalidad de m³ de residuos producidos en el proyecto excluyendo actividades que fueron fabricadas en talleres (instalación de vanos) determinó cuáles de estos residuos eran susceptibles de aprovechamiento y en qué tipos de usos al interior de la obra, en este caso se aprovechó la totalidad del material de excavaciones (el mayor volumen se concentró en la etapa de adecuación con la limpieza y el descapote del terreno, así como en las excavaciones para un total del 83% de los RCD) este cumplía con las especificaciones técnicas solicitadas para rellenos al interior de la obra. El autor llevó a cabo la realización de comparaciones de materiales generadores de RCD tanto por meses como por cantidades, esto debido a que la generación de la clase de RCD y volumen depende de la etapa en la que se encuentre el proyecto, por ello es importante conocer, no sólo la generación total de residuo, sino en qué actividad y cuándo va a generarse. Adicionalmente el autor demuestra cómo cumple con la Resolución 0472 del 2017, ya que esta indica que se debían aprovechar un total de 269.77 toneladas de RCD y en el proyecto se reutilizaron un total de 604 toneladas.

- **Gómez (2018) Estrategias para reducir el impacto ambiental en pequeños generadores.** El sector de la construcción contribuye al desarrollo de las comunidades, pero también es una de las industrias con mayor impacto ambiental debido a la generación de gases de efecto invernadero (GEI) y residuos de construcción y demolición (RCD). Por ello, es esencial analizar sus procesos y buscar estrategias para reducir su impacto, especialmente en la selección y gestión de materiales, ya que estos influyen significativamente en la sostenibilidad de los proyectos. En Colombia, la Resolución N° 0472 – 2017 regula la gestión de RCD, pero solo aplica a grandes generadores, es decir, construcciones mayores a 2.000 m², dejando fuera a proyectos más pequeños como viviendas unifamiliares, remodelaciones y edificaciones institucionales de menor escala, los cuales también generan un volumen significativo de residuos. Es por este motivo que el objetivo general del trabajo de grado es: Analizar el impacto ambiental de los pequeños generadores de RCD en el marco de la Resolución N°0472 – 2017, centrándose en la huella de carbono y el pasivo ambiental que dejan las edificaciones en su emplazamiento.

- **González (2020) Análisis para la gestión de residuos de construcción y demolición del sector vivienda en Santiago de Cali:** estudio de caso. estudio la generación de residuos de construcción y demolición en un proyecto de vivienda en la Ciudad de Cali con fines de gestión en obra, para dar cumplimiento a las metas planteadas en la Resolución N° 0472 de 2017 del MADS y Decreto 0771 de 2018 de la Alcaldía de Santiago de Cali. En Colombia, la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) es un aspecto clave dentro de las políticas ambientales del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS). La Resolución N° 0472-2017 establece la obligación de reutilizar al menos un 2% en peso de los RCD en las obras, porcentaje que aumenta anualmente hasta alcanzar el 30%. Esta medida responde al creciente volumen de residuos generados por la industria de la construcción y a la escasez de rellenos autorizados, especialmente en ciudades medianas y grandes. Para dar cumplimiento a esta normativa, así como al Decreto 0771 de 2018 de la Alcaldía de Santiago de Cali, es fundamental proyectar acciones de gestión que consideren la cantidad de residuos generados, el porcentaje de materiales aprovechables y su posible reutilización en el sector constructivo. Estas variables dependen del tipo de edificación, el sistema constructivo, y el manejo de materiales y residuos en obra. Bajo este contexto, el presente trabajo plantea la siguiente hipótesis: La generación de residuos de construcción y demolición potencialmente aprovechables del sector vivienda local permite cumplir las metas establecidas en la Resolución N° 0472-2017 del MADS y el Decreto 0771 de 2018 de la Alcaldía de Santiago de Cali.
- **Armijos (2019) Caracterización de la generación de residuos de construcción en sistemas industrializados para viviendas de interés social, en la ciudad de Santiago de Cali:** Este trabajo de grado analiza la generación de residuos de construcción en proyectos de vivienda de interés social en Santiago de Cali, en el marco de la Resolución 0472 de 2017 del MADS y el Decreto 0771 de 2018 de la Alcaldía de Cali. Estas normativas establecen metas progresivas para la reutilización de residuos de construcción y demolición (RCD), alcanzando hasta un 30% de uso obligatorio. Dado el crecimiento urbanístico y la alta demanda de materiales pétreos, se evaluaron alternativas para optimizar recursos mediante la

incorporación de RCD en la construcción. Para ello, se realizó una caracterización de residuos con base en normativas internacionales, clasificándolos en aprovechables y no aprovechables. La cuantificación de RCD se llevó a cabo mediante visitas periódicas y registros de volúmenes, estableciendo indicadores de generación en función de las actividades ejecutadas. Los resultados obtenidos proporcionan herramientas útiles para empresas constructoras en la planificación y gestión de residuos, facilitando el cumplimiento de la normativa vigente y permitiendo a las autoridades de control supervisar su correcta aplicación.

Análisis de normativa

La reutilización de desechos producidos en obra no eran una buena opción en el pasado debido a que no se contaba con los recursos investigativos necesarios para poder conocer las diferentes propiedades mecánicas de dichos materiales, además también se presentaba una gran oferta de materias primas; sin embargo, con el paso de los años se han llevado a cabo diferentes estudios que han dado resultados óptimos para que dichos desechos puedan sustituir de forma adecuada ciertos agregados naturales.

Según estudios de la Universidad del Externado, realizados en el año 2020: El adecuado tratamiento de los residuos sólidos en Colombia es un deber de las autoridades públicas, quienes, dentro del marco de sus competencias constitucionales y legales, deben ejercer planes de gestión integral que mitiguen el impacto ambiental negativo que se puede producir por una inadecuada gestión de los residuos, la cual puede desencadenar en afectaciones a derechos constitucionales como el de gozar de un medio ambiente sano.

Es por esta razón que Colombia cuenta actualmente con ciertas normativas que rigen la reutilización, reducción y el reciclado de aquellos residuos o elementos que se encuentren en óptimas condiciones, además de los distintos depósitos adecuados para el procesamiento de aquellos residuos que no cumplan con las condiciones estipuladas (Trujillo-Vargas and Quintero-Vargas, 2021).

Con relación a las emisiones generadas en el ambiente a causa de los GEI, para el año 2019 Colombia generaba 237 millones de toneladas de CO₂, de las cuales el 11% correspondía al sector de la construcción, alrededor de 26 millones de toneladas. Es evidente que la industria de la

construcción en el país es uno de los principales emisores de gas contaminante, además de un gran generador de desechos sólidos, la construcción sostenible de la mano de la gestión de residuos puede contribuir a la disminución de la emisión de estos gases contaminantes (Desarrollo Sostenible, 2016).

Consecuente con lo mencionado, toda actividad económica es susceptible de generar impactos ambientales; no obstante, es deber de las constructoras como responsables al ser grandes generadores de RCD, garantizar el cumplimiento normativo que en materia ambiental regule su actividad o aquella que le sean exigibles, procurando de esta manera, generar la menor cantidad de impactos ambientales posibles, al convertirse en uno de los sectores más productivo, dinámico, de alto impacto y con mayor crecimiento económico debido a la oferta y demanda que viene aumentando de manera constante y acelerada (Ortega Villa and Arbeláez Bohórquez, 2021).

De conformidad con la Ley 99 del año 1993 “Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.”

Cabe mencionar el caso de la ciudad de Bogotá, el cuál puede evidenciarse en la Figura 8 su incremento para el año 2018 de acuerdo con los residuos generados en el año 2017 corresponde a 251.036 ton, lo cual representa un aumento significativo y de gran impacto ambiental negativo si no se trata bajo los lineamientos estipulados y anteriormente mencionados.

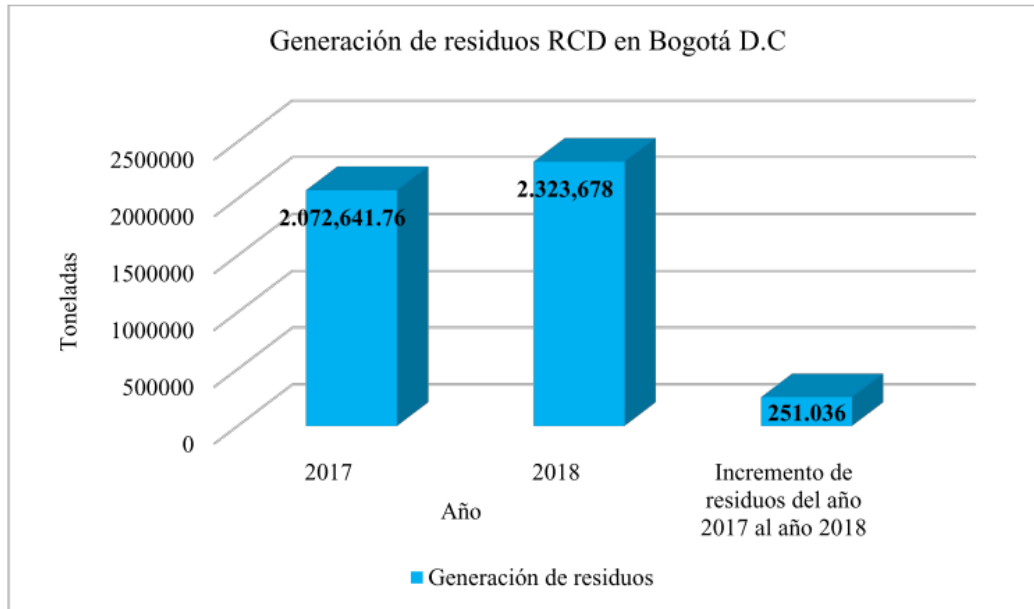


Figura 5. Comparativa de los RCD producidos en Bogotá 2017 – 2018. Fuente. Veeduría Distrital, 2020.

Para finalizar con el caso de la ciudad capital, si bien se conoce que a nivel distrital existe normatividad que regula el tema de RCD, ello permitió analizar que este si contribuye con las P.P.A. que buscan combatir y adaptarse al fenómeno climático que aqueja el país, esta contribución se da de distintas formas, una de ellas es estableciendo el procedimiento adecuado de cómo deben disponerse los RCD, otra fijando los parámetros para que sean reutilizados.

Adicionalmente es de resaltar que la reutilización de este tipo de residuos significa una alta reducción en el ámbito económico de cualquier obra civil que se esté ejecutando, además de que algunos de estos RCD ya cuentan con investigaciones técnicas en donde se presentan de manera satisfactoria todas sus propiedades mecánicas y sus aplicaciones en obra (Trujillo-Vargas and Quintero Vargas, 2021).

En la Tabla 2 se recopila las principales normativas relacionadas con el manejo de los RCD en el territorio nacional, detallando el órgano que las emite, el año de expedición y su objeto. Estas disposiciones establecen lineamientos para la prevención, aprovechamiento, tratamiento y disposición final de los residuos, en consonancia con las políticas ambientales y los compromisos del país en materia de desarrollo sostenible y cambio climático.

Tabla 2. Antecedentes del marco normativo para el manejo de RCD.

Normativa	Órgano que expide	Año de expedición	Objeto
Decreto 2811	Presidencia de la República	1974	Código de los recursos nacionales. Artículo 37: Responsabilidad de los municipios en la gestión de sus residuos.
Ley 99	Congreso de Colombia	1993	Creación del SINA. Artículo 66: Responsabilidades de las autoridades municipales en el control y seguimiento de residuos.
Resolución 541		1994	Cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros. Artículo 3: Requerimientos para la gestión integral y disposición final de escombros.
Ley 142	Congreso de Colombia	1994	Presentación del servicio público y aseo. Artículo 104: Restricciones de los generadores Artículo 113: Competencias de las autoridades de policía en la aplicación de sanciones y correctivos
Decreto 357	Alcaldía Mayor de Bogotá	1997	Regula el manejo transporte y Disposición final de Escombros y materiales de construcción. En esta norma se establecen las cantidades, transporte y disposición final de escombros, los cuales son emitidos dentro de las actividades asociadas a las construcciones
Decreto 1713	Presidencia de la República	2002	Gestión integral de los residuos sólidos. Artículo 44: Responsabilidades de los generadores de escombros.
Ley 769		2002	Código Nacional de tránsito. Artículo 102: Responsabilidad de las autoridades de tránsito en la vigilancia, control y sanciones para generadores de residuos
Resolución 1042		2003	Metodología para la elaboración de los planes de gestión integral de residuos sólidos
Decreto 0475	Alcaldía de Santiago de Cali	2004	Adopción del plan de gestión integral de residuos sólidos de Cali (PGIRS) Programa para la gestión integral de escombros de Santiago de Cali.

Normativa	Órgano que expide	Año de expedición	Objeto
Decreto 0291	Alcaldía de Santiago de Cali	2005	Por medio del cual se regula la gestión integral de escombros en el municipio de Santiago de Cali

2.1.3 Definiciones

De acuerdo con la Resolución 1257 de 2021 del MADS, se tendrán en cuenta las siguientes definiciones:

- **Almacenamiento:** Es la ubicación temporal de los RCD en recipientes, contenedores, acopios y/o depósitos para su recolección y transporte con fines de aprovechamiento o disposición final.
- **Aprovechamiento:** El aprovechamiento de RCD se realizará en plantas de aprovechamiento fijas o móviles y deberán contar mínimo con las siguientes áreas de operación: 1. Recepción y pesaje. 2. Separación y almacenamiento por tipo de RCD aprovechables. 3. Aprovechamiento. 4. Almacenamiento de productos.
- **Programa de manejo ambiental de RCD:** El gran generador deberá formular, implementar y mantener actualizado el Programa de Manejo Ambiental de RCD. Dicho programa deberá ser presentado a la autoridad ambiental competente con una antelación de 30 días calendario previos al inicio de las obras para su respectivo seguimiento y control. Así mismo, el reporte de su implementación con sus respectivos soportes deberá ser remitido a la autoridad ambiental competente dentro de los 15 días calendario al final de cada trimestre durante la ejecución de la obra, así como un reporte de cierre dentro de los 45 días calendario siguientes a la terminación de la obra.

De acuerdo con la Resolución 0472 de 2018 del MADS:

- **Residuos de construcción y demolición RCD:** Son todos residuos sólidos resultantes de las actividades de construcción, reparación o demolición, de las obras civiles o de otras actividades conexas, complementarias o análogas, anteriormente conocidos como escombros. Existen ciertas diferencias entre los que sí se pueden aprovechar y los que no tienen forma de reciclar o reutilizar.

Estos RCD son susceptibles de aprovechamiento cuando se trata de materiales producto de excavación, nivelaciones y sobrantes de la adecuación del terreno: tierras y materiales pétreos no contaminados productos de la excavación, productos o materiales usados para cimentaciones y pilotajes (arcillas, bentonitas y demás), materiales pétreos como hormigón, arenas, gravas, gravillas, trozos de ladrillos y bloques, cerámicas, sobrantes de mezcla de cementos y concretos. Materiales no pétreos como vidrios, aceros, hierros, madera, plásticos, metales, cartones, yesos, dry wall.

Los residuos no susceptibles de aprovechamiento son: materiales aprovechables contaminados con residuos peligrosos, materiales que por su estado no pueden ser aprovechados, residuos peligrosos (este tipo de residuo debe ser identificado y manejado de acuerdo a los protocolos establecidos para cada caso). Amianto, asbesto cemento, electrónicos, biosanitarios.

- **Huella de Carbono:** la medida del impacto de todos los gases de efecto invernadero producidos por las actividades (individuales, colectivas, eventuales y de los productos) en el medio ambiente. Se refiere a la cantidad en toneladas o kilos de dióxido de carbono equivalente de gases de efecto invernadero, producida en el día a día, generados a partir de la quema de combustibles fósiles para la producción de energía, calefacción y transporte entre otros procesos. (Quintero Mosquera and Rojas Rivera, 2012).
- **Huella de agua o hídrica:** indicador de uso de agua que tiene en cuenta tanto el uso directo como indirecto por parte de un consumidor o productor. La huella hídrica de un individuo, comunidad o comercio se define como el volumen total de agua dulce que se utiliza para producir los bienes y servicios consumidos por el individuo o comunidad, así como los producidos por los comercios (Quintero Mosquera and Rojas Rivera, 2012).
- **Cambio Climático:** Cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmosfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempos comparables. ('Naciones Unidas', 1992).

De acuerdo con la norma ISO 14040

- **Ciclo de vida:** Etapas consecutivas e interrelacionadas de un sistema del producto, desde la adquisición de materia prima o de su generación a partir de recursos naturales hasta la disposición final.
- **Interpretación del ciclo de vida:** Fase del análisis de ciclo de vida en la que los hallazgos del análisis del inventario o de la evaluación del impacto, o de ambos, se evalúan en relación con el objetivo y el alcance definidos para llegar a conclusiones y recomendaciones.
- **Aspecto ambiental:** Elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que puede interactuar con el medio ambiente.

Materia prima: Materia primaria o secundaria que se utiliza para elaborar un producto.

2.1.4 Alternativas de aprovechamiento

En la literatura se encuentran múltiples alternativas de aprovechamiento de RCD, como por ejemplo las consignadas en la Guía española de áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición (Proyecto GEAR, 2012); sin embargo, debido a la influencia que las prácticas locales tienen en la generación de residuos, en este subcapítulo se revisarán alternativas de aprovechamiento investigadas en Santiago de Cali y su área de influencia, donde se destacan los siguientes trabajos de la Pontificia Universidad Javeriana de Cali.

Embus and Quintero (2015), estudiaron la reutilización de RCD provenientes de la ciudad de Santiago de Cali como material de base o subbase granular en una de las capas de la estructura del pavimento. Evaluando el efecto de la humedad de compactación de una base con agregado reciclado, encontrando que la quiebra de las partículas se reduce cuando se incrementa la humedad de compactación, adicionalmente el material presentó una capacidad de soporte apropiada para su uso con valores de CBR superiores al 106%; sin embargo, estos materiales exhibieron módulos resilientes inferiores a los de los agregados naturales.

Rengifo and Chávez (2015), basaron su proyecto en estudiar el efecto de la composición de una base de agregado reciclado de RCD proveniente de la ciudad de Santiago de Cali en el módulo resiliente. Los autores encontraron que a medida que se reduce la cantidad de productos cerámicos (Rb) aumenta el módulo resiliente y las bases analizadas donde predominaron los residuos de concreto presentaron un desempeño similar a los agregados naturales en el módulo de resiliencia.

Barrera and Olmedo (2015), estudiaron el comportamiento de una base granular derivada de RCD en el laboratorio. En su programa experimental analizaron el efecto de la adición de cemento en el material granular, encontrando que el módulo resiliente crece con la adición de cemento con la edad presentando valores superiores a los agregados no ligados disponible en la ciudad de Cali.

Alcalde and López (2015), evaluaron el efecto de la mezcla de RCD con suelo teniendo como objeto suplir la deficiencia de finos de los agregados reciclados, los autores obtuvieron una reducción de la rigidez en el caso del módulo de resiliencia; sin embargo, esta mezcla puede ser empleada en el uso de materiales de relleno como afirmados.

Londoño (2016), basó su proyecto en sustituir el 50% del agregado grueso por agregado reciclado para la realización de bordillos y escaleras internas de uso residencial obteniendo un resultado satisfactorio, encontrando que el comportamiento mecánico no es diferente al concreto convencional en elementos prefabricados con concreto reciclado compuesto por agregado grueso reciclado, logrando resistencias a los 28 días superiores a 28 MPa. Adicionalmente investigó la producción y el uso de los agregados gruesos reciclados resultantes del proceso de trituración del residuo de concreto seleccionado, dentro de la fuente donde se generan, siendo económicamente viable y dependiendo fundamentalmente de 3 variables: Rendimientos en el proceso de producción; ubicación de la obra respecto a la fuente del agregado natural contra el que se compara el costo y la cantidad de reciclado que puede obtenerse en cada obra de construcción a partir de los RCD. Con base en lo anterior, se determinaron remplazos del 30 y 100% en los agregados naturales, con el remplazo del 30% el módulo de rotura se redujo en un 10% frente a los resultados de 14 días con agregado natural y con el remplazo del 100% no se presentó homogeneidad, el comportamiento estructural produce fallas y los resultados son dispersos disminuyendo un 64% con respecto al del agregado natural. Concluyendo que no es viable un remplazo del 100% ya que no alcanza a cumplir con la resistencia óptima exigida en la norma.

Diosa (2020), produjo concretos de alta resistencia en laboratorio (CAR) con la incorporación de agregados reciclados de concreto (ARC) como remplazo parcial de los agregados naturales, investigando su efecto en las propiedades mecánicas del concreto de alta resistencia y proponer mejoras en el aprovechamiento y valorización de los RCD. El autor realizó cuatro tipos de mezclas en las cuales analiza la sustitución del 0, 10, 20 y 40% de agregados naturales por agregados reciclados provenientes de concretos confeccionados en el laboratorio. De acuerdo con los

resultados se concluyó que la incorporación de ARC tuvo un efecto positivo en la resistencia a la compresión. En cuanto a la resistencia a la tracción la cantidad de uso y la calidad del ARC tuvieron poca influencia. En cuanto al módulo de elasticidad del concreto depende en gran medida del agregado grueso utilizado y de las características de la zona de transición la conclusión fue favorable al observar cómo aumentó el contenido de agregado reciclado, pues las mezclas con adición de 10, 20 y 40 % de ARC mostraron un incremento del orden de 44, 52 y 119%, respectivamente. Con respecto a las propiedades físicas asociadas a durabilidad, se concluye que la incorporación de agregado reciclado produjo una disminución en los vacíos y, por lo tanto, en la porosidad del concreto, lo que puede impactar positivamente la durabilidad y vida útil de las estructuras.

Martínez (2021), realizó un estudio de caso sobre una alternativa de aprovechamiento de residuos cerámicos de construcción como agregado para la elaboración de concreto no estructural, donde en su metodología realizó el análisis del proyecto, la evaluación de la generación de RCD, la fabricación del agregado reciclado y posteriormente la elaboración de concreto en obra con incorporaciones de agregados reciclados en volumen del 10, 20 y 33%. Adicionalmente, realizó una sustitución del 20% en laboratorio. El autor concluye que la resistencia aumentó cuando se adicionó más contenido de agregados reciclados, obteniendo el mejor resultado tanto en obra como en laboratorio la incorporación del 20% en volumen.

Devia (2021), estudió dos alternativas potenciales de aprovechamiento de residuos de construcción y demolición en obra. Una primera alternativa analizó el uso del residuo de mayor volumen en la estructura (residuos de ladrillo Rb) como sustitución parcial del agregado natural en concretos de resistencia común hasta 21 MPa. La segunda alternativa consistió en emplear tanto los residuos de excavación como de ladrillo como material de relleno, variando la mezcla entre ambos y retirando el material tamaño grava dado su alto valor en otro tipo de aplicaciones como filtros y concretos. Finalmente, se hizo una valoración cuantitativa dentro del análisis de ciclo de vida de los impactos en función de la generación de gases de efecto invernadero, determinando que la reutilización de residuos de construcción y demolición en obra podría disminuir la emisión de GEI para el ítem de rellenos como actividad de gestión con RCD identificadas en el transporte con un 21%, material en un 2% y de la cuna a la puerta en un 4%, adicionalmente presentó un cumplimiento de meta del 15.4 % debido a la inclusión (Devia Agudelo, 2021).

2.2. Huella ecológica

De acuerdo con Solís-Guzmán (2010), la huella ecológica se define como el área de tierra necesaria para proveer los recursos y absorber los desechos generados por una población determinada, considerando elementos como alimentos, energía y espacio urbano. Este indicador compara el consumo humano con la capacidad de carga del planeta, es decir, la cantidad de recursos que la Tierra puede regenerar de manera sostenible. Los estudios realizados revelan que el consumo global actual supera en un 30% la biocapacidad del planeta, lo cual implica un déficit ecológico significativo (ver Figura 6). Para alcanzar un desarrollo sostenible, sería necesario reducir el consumo de recursos, especialmente en los países de altos ingresos, de modo que se logre equilibrar la demanda con la capacidad regenerativa del entorno natural (Solís-Guzmán, 2010).

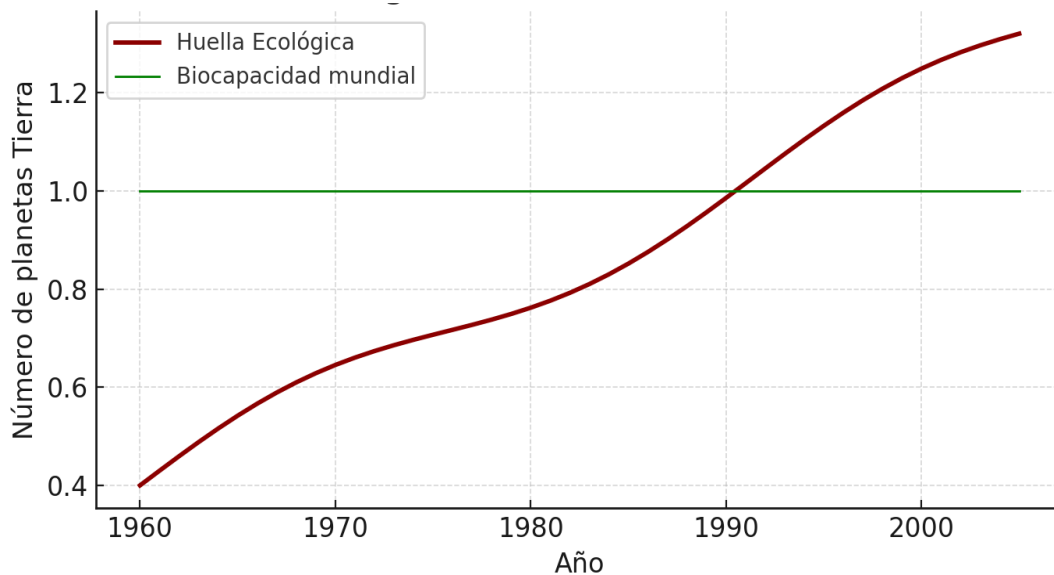


Figura 6. Huella ecológica de la humanidad 1961-2005 (Informe Planeta Vivo, 2008)

2.2.1. Metodología de cálculo de la huella ecológica

De acuerdo con diferentes autores (Solís-Guzmán, 2010); Rivas Ibarguen, 2020; Solís y Otálvaro, 2025), la huella ecológica, es el índice de sostenibilidad que detalla las demandas que tiene la humanidad sobre la biosfera, respecto de la biocapacidad, es decir, cantidad necesaria y

cantidad regenerativa de los recursos naturales del planeta equiparando la demanda de la humanidad sobre la naturaleza con la extensión del área biológicamente necesaria para suministrar recursos y poder absorber los residuos. La misma puede calcularse mediante elementos de entrada, como la estructura de costos del proyecto, elementos intermedios, las huellas parciales y totales como se observa en la Figura 7, y al final pueden ser enumerados como:

1. Huella forestal.
2. Huella de alimentos.
3. Huella de energía.
4. Huella de ocupación directa.
5. Huella ecológica total.
6. Huella de carbono.

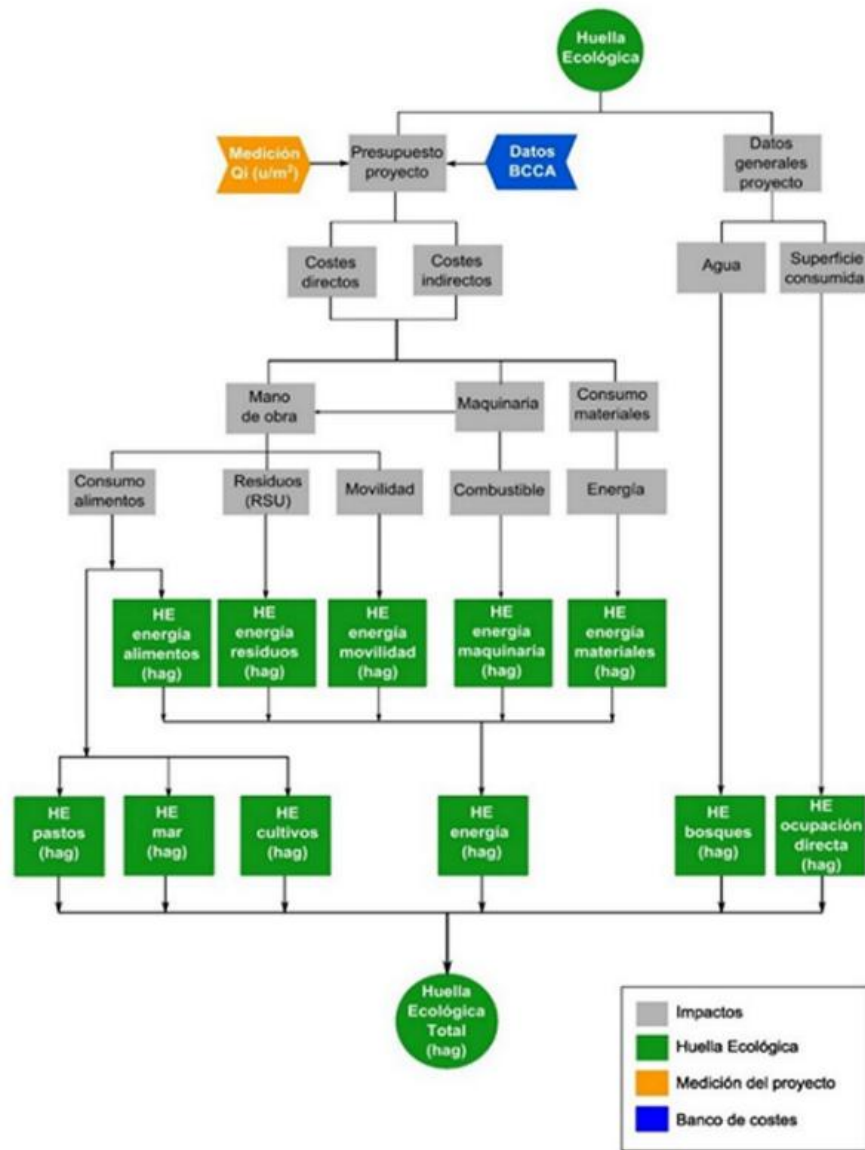


Figura 7. Metodología general para el cálculo de la HE. Fuente (Rivero and Marrero, 2017)

Así mismo, esta pretende estimar la cantidad de bienes naturales y ambientales necesarios, dada la tecnología disponible, para sostener el nivel de consumo de una persona, región, país o cualquier otro agregado social, así como para asimilar los desechos que genere (Wackernagel and Rees, 1997).

El reto por enfrentar es el de reducir todos estos componentes a un único indicador común, cuantificable y comparable, tanto transversalmente como en el tiempo. Se trata de una

subestimación del área demandada por dicha unidad social, de manera que, al confrontar esta cantidad con su área real disponible, se obtiene una medida del déficit ecológico. Esta medida da una idea del grado de dependencia de dicha unidad social respecto del territorio explotado para el consumo de recursos y la emisión o vertido de residuos (Rivas Ibarguen, 2020).

Los presupuestos de edificación pueden ser implementados como vínculo de incorporación del impacto ambiental, añadiendo este aspecto a los costes del proyecto. El presupuesto descompone estos impactos según las mediciones de cada proyecto; conociendo así los descompuestos de cada una de las partidas y los rendimientos y cantidades de recursos empleados. (Rivero and Marrero, 2017).

La estimación de la Huella Ecológica (HE) se requiere involucrar una serie de variables o cálculos intermedios como se enuncian a continuación:

- Cálculo de la Huella de Carbono (HC), para el caso particular contemplando la HC por la producción de los materiales y el transporte hasta la obra, la cual puede transformarse luego en la huella forestal, considerando que los bosques pueden absorber el dióxido de carbono (CO₂) generado por estas actividades.
- Análisis de la mano de obra, el cual incluye las huellas generadas según el tipo de alimentos (carnes HE de pastos, pescados HE de mar productivo, cereales HE de tierras de cultivo), se calculan teniendo en cuenta la composición de un menú tipo, con la productividad natural y el factor de equivalencia de cada territorio productivo. Todos los alimentos también producirán huella energética, debido a la energía consumida en su transformación (Rivero and Marrero, 2017). A esto se le suman los desplazamientos del personal a la obra y la generación de residuos sólidos urbanos de la mano de obra en la misma.
- El análisis de la maquinaria; se analiza la huella provocada por la utilización de maquinaria, concretamente por su consumo de energía (tanto de combustible como electricidad), vinculándola con la potencia de su motor. Por un lado, se calcula el consumo en litros, seguido del consumo de combustible fósil. Para el consumo de la maquinaria eléctrica utilizada en obra se sigue un camino similar, analizando la potencia de motor y las horas de utilización, obteniendo los kWh totales consumidos. A este dato se le aplica el coeficiente el cual indica las emisiones de CO₂ generadas

para la producción de un kWh de energía por el sistema eléctrico del país (Rivero and Marrero, 2017).

- La generación y gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD), incluyendo la HC por el acarreo interno, limpieza, trituración, transporte o disposición final que puedan ocasionar.
- La electricidad y agua consumida en el campamento de la obra. Para obtener el agua consumida en los trabajos de riego se obtiene un coeficiente que relaciona los m³ de agua por superficie construida. Finalmente, al agua total consumida se le aplica el coeficiente que indica la energía eléctrica necesaria (kWh) para la obtención de un m³ de agua.

2.2.2. Casos de estudio de cálculo de la huella ecológica en la construcción

Solís-Guzmán (2011) analizó un proyecto de vivienda que corresponde al desarrollo de un conjunto habitacional de 107 viviendas plurifamiliares de Protección Oficial, ubicado en el Camino Viejo de Bollullos, La Palma del Condado (Huelva), España. Además de las viviendas, el proyecto incluye 107 plazas de aparcamiento, 107 trasteros y locales comerciales. El proyecto original data de abril de 2006 y fue objeto de reformas en julio de 2007 y febrero de 2008. Del análisis concluye que la HE total asociada a la construcción fue de 0,360799 hag/m². El mayor contribuyente a esta huella es el consumo de materiales de construcción, que representa un valor de 0,155098 hag/m², seguido de los residuos generados con 0,089479 hag/m² y el uso de electricidad con 0,026396 hag/m². Además, el uso de maquinaria aporta 0,013392 hag/m² y el consumo de alimentos relacionados con los trabajadores añade 0,007253 hag/m², el consumo de agua tiene un impacto menor, con 0,000147 hag/m² y finalmente, la ocupación directa del suelo añade 0,000100 hag/m² a la huella global. Estos datos reflejan la considerable presión ambiental que ejerce la construcción en términos de consumo de recursos y generación de residuos, destacando la necesidad de estrategias más sostenibles para mitigar estos efectos.

Bulti y Assefa (2019) evalúan la sostenibilidad en la construcción de viviendas unifamiliares en Adama City mediante el método de Huella Ecológica (HE), identificando un consumo promedio de 2.952 per cápita, muy por encima de la biocapacidad local de 1.675 hag per cápita, lo que refleja un déficit ecológico de 1.277 per cápita. Este desequilibrio sugiere que el uso de recursos para

edificación supera la capacidad regenerativa del entorno, agravado por la falta de prácticas sostenibles y regulaciones adecuadas. Los autores destacan que el mayor impacto en la HE proviene del área del piso de las viviendas, seguido por el transporte de materiales y los residuos generados. A través de un modelo de regresión, demostraron que el tamaño del área construida es el factor más determinante en el consumo de recursos.

Kumar et al. (2021), evaluaron la HE y la energía incorporada en cinco edificios residenciales situados en zonas de clima tropical en la India. Los hallazgos sugieren que la elección de materiales sostenibles puede reducir significativamente la HE y la energía incorporada en las edificaciones, encontrando rangos entre 242 y 401 hag, para edificaciones de un nivel entre 157 y 166m².

Ansari et al. (2023), estudiaron el ciclo de vida de un proyecto de viviendas de baja altura en la India, hallando una HE total de 74,02 hag, equivalente a 0,49 hag/m². Se observó que la fase operativa del edificio contribuyó con el 83,67% de la HE total, mientras que la fase de construcción representó el 15,41%.

Solís y Otálvaro (2025), analizan el impacto ambiental en dos sistemas constructivos para viviendas de interés social a partir del presupuesto en San Andrés de Tumaco comparando el sistema Convencional de Mampostería Confinada con el Sistema Industrializado Outinord o formaleta túnel. Los resultados indicaron que el sistema Outinord es más eficiente desde el punto de vista ecológico, con un valor de 5,991 hectáreas globales (hag) por la unidad básica de análisis, en comparación con el sistema convencional que presenta una huella de 7,773 hag para la unidad básica de análisis. Esto representa una diferencia del 22% a favor del sistema industrializado. La menor generación de residuos y el menor uso de materiales contribuyen a esta reducción. Las contribuciones más significativas a la HE en ambos sistemas provienen de los materiales utilizados, la maquinaria y el transporte de residuos. En el sistema Outinord, los muros portantes de concreto reforzado tienen un menor impacto en comparación con los muros de mampostería confinada del sistema convencional. Con relación a la HC el sistema Outinord genera 247,3 kgCO₂eq/m², mientras que el sistema convencional produce 319,1kgCO₂eq/m², es decir, un 38% menos en favor del sistema industrializado.

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

El proyecto se basa en una investigación de tipo descriptiva combinada con un estudio cuantitativo de datos secundarios, se toma como referencia el caso de estudio previamente analizado por González (2021) desde la generación de residuos de construcción y demolición y posteriormente evaluado en función del aprovechamiento de RCD por Devia (2021). La metodología general del cálculo de la HE se muestra en la Figura 8. La evaluación de la efectividad de la Resolución 1257 de 2021 del MADS se basa en el análisis de tres escenarios de aprovechamiento. El estudio de caso corresponde a un proyecto de vivienda y será analizado en función del Análisis de Ciclo de Vida con las fronteras desde la cuna hasta la puerta, incluyendo la construcción.

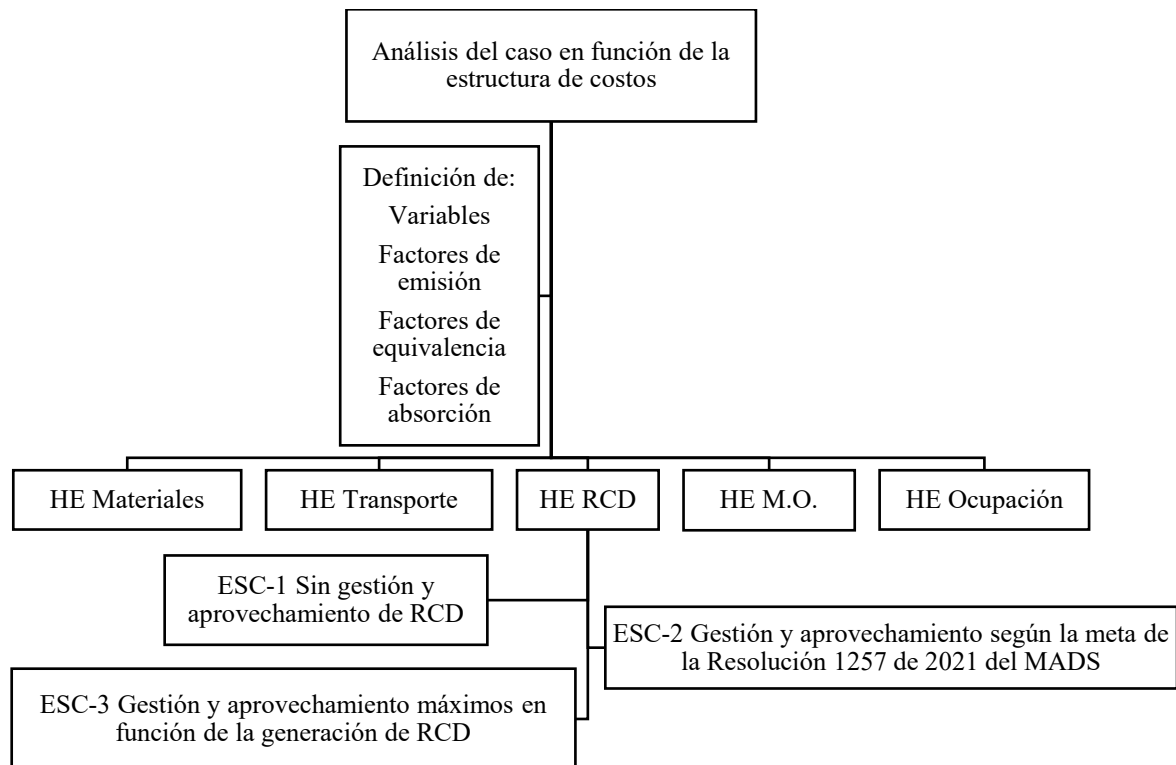


Figura 8. Árbol metodológico para el cálculo de la HE

3.1. Descripción del estudio de caso

El proyecto es un desarrollo de viviendas denominado Mirasol II ubicado en el sur de la ciudad, en el área de expansión urbana Cali – Jamundí, determinada por la alcaldía de Santiago de Cali en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) – 2014.

El Plan de Ordenamiento Territorial vigente (aprobado en el año 2014) del municipio de Santiago de Cali en su subcapítulo II, Artículo 20 detalla la existencia de 15 Unidades de Planificación Urbana (UPU) dentro de las cuales ocupa el puesto número 15 la UPU “Expansión” la cual se define dentro del Modelo de Ocupación Territorial (MOT) cómo: Área definida para el proceso de expansión urbana y consolidación de la ciudad hacia el sur, constituida como la puerta de entrada y salida al sur del país que articula el área urbana de Cali con el municipio de Jamundí.

Al encontrarse el predio del proyecto dentro del polígono delimitado para esta UPU esto genera en él ciertas características que se llevarán a cabo en su proceso de formulación (ver Figura 9), tales como:

- Consolidar el área para el mejor aprovechamiento posible de suelo teniendo como actividad principal la vivienda con equipamientos de escala urbana y zonal e importante provisión de espacio público.
- Tratar las aguas residuales provenientes de la zona de expansión al sur de la ciudad y en general de la Comuna 22 y área de expansión corredor Cali – Jamundí mediante la construcción de una PTAR localizada sobre la margen derecha del canal interceptor sur.
- Implementar un corredor ambiental local en la Comuna 22 dadas sus condiciones ambientales, paisajísticas y desarrollo urbano, de forma que permita resolver la movilidad local peatonal, vehicular y de bicicletas, el sistema de drenaje de aguas lluvias y continuidad e integración del sistema de quebradas de la comuna.

En consecuencia, con estas características y lineamientos dictados por la herramienta principal de formulación territorial se evidencia que el sector es totalmente apto para la construcción del proyecto de viviendas del estudio de caso.

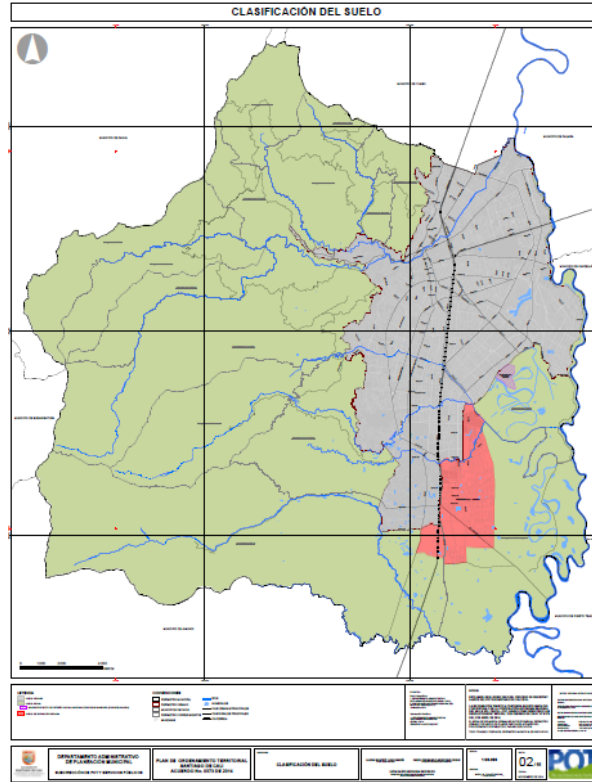


Figura 9. Clasificación del suelo, fuente: POT 2014.

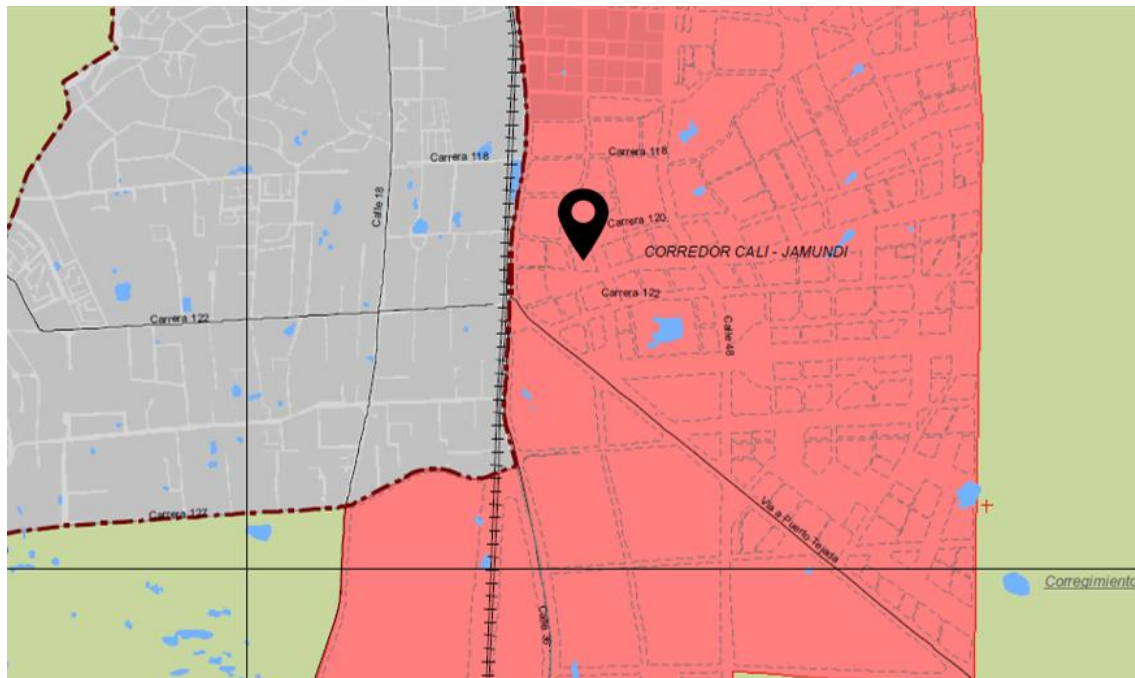


Figura 10. Localización del estudio de caso. Fuente: POT 2014

El proyecto seleccionado pertenece a un mega proyecto de vivienda denominado “Ciudad Pacífica”, un proyecto urbano, arquitectónico y paisajístico de grandes proporciones (800.000 m²), el cual consta de más de 15 proyectos de vivienda, equipamiento de uso comercial, parque central, canchas múltiples, ciclo ruta y estaciones biosaludables, la localización general del proyecto se muestra en la Figura 11.



Figura 11. Mega proyecto Ciudad Pacífica (tomado de: <https://www.constructorabolivar.com/proyectos-vivienda/cali/ciudad-pacific>).

Uno de los criterios de selección del estudio de caso fue la demanda de la población en el momento de preferencia al adquirir una vivienda. Según CAMACOL 2022 en su documento denominado “Estudio de oferta y demanda de vivienda 2022”, el cual se realizó mediante una técnica estadística de muestreo aleatorio estratificado y tiene como objetivo cuantificar y caracterizar el mercado consumidor de vivienda en Cali y su área de influencia, según la capacidad económica de los hogares demandantes.

A continuación, se describen otros elementos importantes del estudio de caso:

- **Localización:** Con respecto a la ubicación dentro de la ciudad de Santiago de Cali, la preferencia de adquirir vivienda prima con un 45% en el sector sur de la ciudad; seguido de un 22% en el sector norte, un 7 y 6% en la zona oeste y este,

respectivamente; finalmente un 3% de población interesada en adquirir vivienda en la zona central de la ciudad.

- **Finalidad del inmueble:** El resultado de este ítem se basa en un 85% de preferencia para vivir en este, seguido de un 14% para inversión y un 1% dirigido a otros fines.
- **Tipo de vivienda:** La tipología de vivienda es para este estudio de caso el factor más determinante debido a que en ella se basa la selección del tipo de estudio de caso. El resultado encontrado por Camacol arrojó una preferencia del 60% para tipología tipo casa, 35% tipología apartamento y finalmente un 3% para otro tipo y un 1% aparta estudio.
- **Estructura de costos:** cantidades de obra y otros detalles necesarios para el cálculo de la Huella Ecológica.

Mira Sol II comprende la construcción de 132 viviendas distribuidas en tres manzanas, cada una conformada por dos hiladas. El sistema constructivo hace referencia a la mampostería estructural, las viviendas tienen un área privada de 81,53 m² y un área construida de 93.80 m² distribuidas en dos pisos. Su distribución arquitectónica se basa en una circulación central dispuesta con apertura al exterior, contando en la planta baja con: antejardín y patio posterior, sala - comedor, cocina, área de oficios, baño social; en la planta superior se ubican tres habitaciones, la principal cuenta con baño privado y vestier, baño auxiliar, nicho para escritorio o mueble fijo. El proyecto ocupa un área incluyendo sus calles internas y perimetrales de 16.261 m².



Figura 12. Distribución en plata del proyecto Mirasol I, de tipología similar al estudio de caso durante su construcción (Devia, 2021).



Figura 13. Distribución arquitectónica vivienda tipo Mirasol II.

A partir del análisis de la estructura de costos, de las fuentes de compra de los materiales e insumos, así como los sitios de disposición final, se construyó la base para el cálculo de la HE mostrada en la Tabla 3.

Tabla 3. Resumen de las cantidades de obra consideradas en el análisis.

Descripción	Cantidad (kg)	Cuadrilla	Unidad	Distancia (km)	Tiempo total (días)
Acero	118431,3	1 OB + 1 OF	kg/día	25	777
Grava triturada	1496,8	1 OB	m3/día	25	7
Áridos	1388,9	1 OB	m3/día	25	6
Cemento	111746,4			30	
Hierro galvanizado	63236,0			28	
Poliestireno expandid	1460,4			4,25	
Ladrillo estructural	6328,0	1 OB + 1 OF	m2/hora	30	3366
Madera	131960,4			13,2	
Mortero	605,3	1 OB + 1 OF	m3/día	15	2
Concreto 3000 psi	2917,9	1 OB + 1 OF	m3/día	30	59
Pintura	1913,4			435	
PVC	45387,2			457,7	
Porcelana	1620,0	1 OF + 1 AY	h/m2	22	372
Transporte	543,1				
RCD	3814,0	1 OF + 1 AY	m3/día	22	23

Fuente. Elaboración propia

3.2. Metodología de cálculo de la huella ecológica

Considerando los niveles y las huellas ecológicas parciales, se tomó como referencia la metodología propuesta por Solís-Guzmán (2010), para la estimación de la Huella Ecológica, de esta manera en el presente trabajo se adaptó tal como se ilustra en la Figura 14. Se conserva el cuerpo de la estructura y se pretende llegar a los mismo cuatro cálculos finales de las siguientes huellas: HE de alimentos, HE forestal, HE de energía y HE de ocupación directa, sobre las cuales se realizará una sumatoria para concluir con la estimación de la Huella Ecológica total.

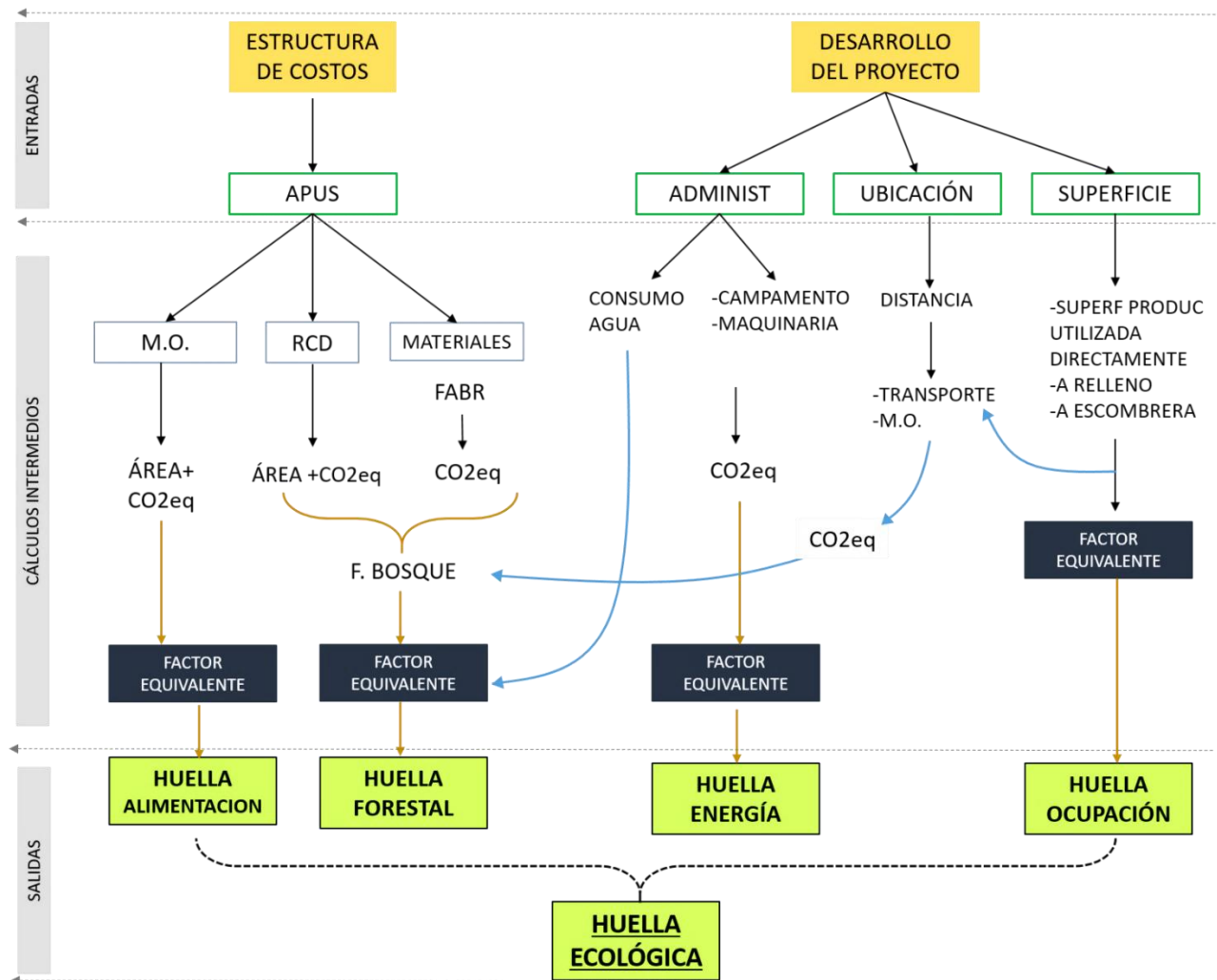


Figura 14. Árbol metodológico para estimación de Huella Ecológica. Fuente: elaboración propia.

Debido a la cantidad de factores y operaciones matemáticas necesarias para obtener la HE, a continuación, son desglosados cada uno de los elementos para llegar a cada una de las huellas parciales, teniendo en cuenta que la huella ecológica total será obtenida con la siguiente ecuación:

$$HE(hag) = HE_{Alimentación} + HE_{Forestal} + HE_{Energía} + HE_{Ocupación} \quad (1)$$

En este trabajo se considera la Huella Forestal, como la suma de las huellas parciales que dependen de la huella de carbono y la equivalencia en bosques para su absorción como se evidencia en la siguiente ecuación:

$$HE_{Forestal} = HE_{Materiales} + HE_{Transporte} + HE_{RCD} \quad (2)$$

Las huellas intermedias mencionadas en la ecuación (2) serán mostradas de forma separada en el análisis de resultados ya que el foco del presente estudio es el impacto ambiental de la Resolución 1257 de 2021 del MADS en los tres escenarios de gestión y aprovechamiento mencionados.

A continuación, se abordará el desarrollo de las Huellas parciales siguiendo la secuencia descrita en la Figura 15.

3.2.1. Huella ecológica de alimentación

Para la estimación total de la Huella Ecológica parcial de alimentación se hace necesario conocer todos los aspectos de consumos bien sea directos o indirectos causados por los agentes que intervienen en la construcción y desarrollo del proyecto en cuestión.

$$HE_{Alimentación} = N_{días} \cdot N_{comidas} \cdot HE_{comida} \quad (3)$$

Donde, $N_{días}$ es el número de días en función de las cuadrillas de cada actividad mostradas en la Tabla 3; $N_{comidas}$ es el número de comidas que hacen en la obra cada uno de los trabajadores, en este caso 2; y HE_{comida} es un factor que contiene la huella ecológica promedio por comida en hag/comida. En este análisis no fue considerado el personal administrativo de la obra como la seguridad y los ingenieros entre otros.

La huella ecológica de cada comida se puede obtener como:

$$HE_{comida} = \sum Q_{Alimento} \cdot F_{RC} \cdot Feq \quad (4)$$

Donde: $Q_{Alimento}$ es la cantidad de cada alimento que constituye la dieta por plato o comida; F_{RC} es el factor de rendimiento del cultivo; y Feq es el factor de equivalencia.

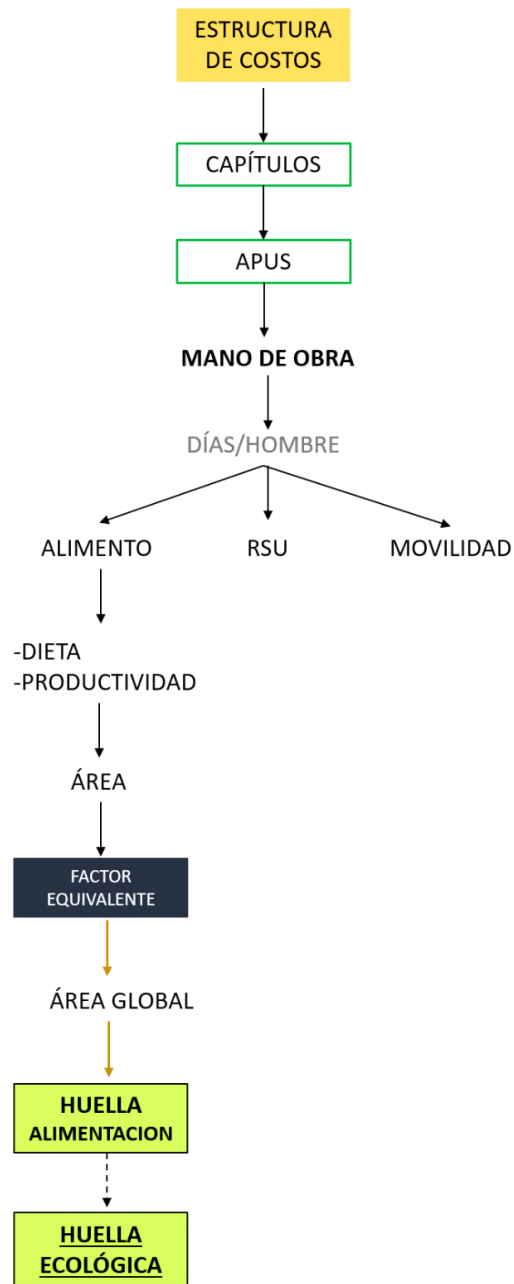


Figura 15. Metodología adoptada para el cálculo de la Huella de Alimentación.

La cantidad y composición de la alimentación es altamente variable de país a país (ver Tabla 4), e incluso al interior de un país como Colombia de región a región. En la presente investigación se llevó a cabo un registro en un restaurante denominado “casero” al interior del Campus de la Pontificia Universidad Javeriana Cali para identificar los alimentos de mayor consumo y la cantidad en gramos por cada comida realizando un total de 20 mediciones a lo largo de un mes para intentar abarcar la variabilidad típica del menú. En la Tabla 5 se presentan los valores en función de los momentos estadísticos de dicha medición.

Tabla 4. Consumo grupo de alimentos kg/día para diferentes países.

Grupo de alimentos	Chile ¹		España ¹		Colombia ²	
	Total (kg/día)	Porcentaje (%)	Total (kg/día)	Porcentaje (%)	Total (kg/día)	Porcentaje (%)
Cereales - excluida cerveza	0,42	16,03	0,3	7,73	0,41	16,1
Almidón de raíces	0,21	7,91	0,18	4,73	0,245	9,62
Cultivos azucareros	0,31	11,75	0,25	6,41	0,03	1,18
Azúcar y dulcificantes	0,13	5,06	0,07	1,76	0,01	0,39
Legumbres secas	0,01	0,36	0,03	0,67	0,085	3,34
Nueces	0	0,09	0,02	0,47	0,01	0,39
Cultivos oleaginosos	0,05	1,87	0,71	18,45	0,305	11,97
Aceites vegetales	0,02	0,81	0,09	2,37	0,03	1,18
Hortalizas	0,25	9,32	0,41	10,58	0,194	7,62
Frutas - excluido						
Vino	0,47	17,92	0,55	14,37	0,113	4,44
Estimulantes	0,01	0,31	0,02	0,54	0,012	0,47
Espicias	0	0,01	0	0,03	0,001	0,04
Bebidas alcohólicas	0,16	6,06	0,3	7,87	0,3	11,78
Carne	0,22	8,34	0,26	6,63	0,2	7,85
Vísceras	0,01	0,2	0,01	0,19	0,01	0,39
Grasas animales	0,01	0,5	0,01	0,35	0,01	0,39
Huevos	0,03	1,07	0,04	1,01	0,112	4,4
Leche - excl. mantequilla	0,29	10,95	0,49	12,81	0,43	16,88
Pescado y frutos de mar	0,04	1,37	0,12	3,02	0,04	1,57
Prod acuáticos, otros	0	0,07	0,002	0,04	0	0
Total	2,63	100	3,84	100	2,547	100

1= González-Vallejo et al. "Ecological Footprint of Manpower in Construction in Spain, Mexico and Chile. Food consumption". En: III International Congress on Construction and Building Research (2015), pags. 75-84. 2=Cifras

oficiales del Ministerio de Agricultura del Gobierno Colombiano disponibles en: <https://www.agronet.gov.co/estadistica/paginas/home.aspx?cod=1>

Tabla 5. Peso de una comida promedio en un restaurante “casero” o menú ejecutivo.

Variable	Comida	Bebida
Peso promedio (g)	508,00	220,10
Desviación estándar (g)	61,751	12,439
Coeficiente variación muestral (COV)	12,2%	5,9%

Conocida la cantidad de alimento sólida por comida o plato falta diferenciar la cantidad y el tipo que componen la dieta, del mismo análisis de campo se construyó la Tabla 6.

Tabla 6. Distribución de alimentos por plato o comida en un restaurante casero en Santiago de Cali.

Tipo de alimento	Porcentaje (%)
Carnes	21
Ensalada	13
Tomate	6
Lechuga	3
Zanahoria	4
Carbohidrato	66
Arroz	20
Papa	14
Papa criolla	6
Plátano	6
Frijol/Lenteja/Arveja	20

En las cifras abiertas del gobierno colombiano, particularmente del Ministerio de Agricultura, se revisaron los índices de rendimiento de cada uno de estos cultivos. En la Tabla 7 se presentan los valores obtenidos a partir del análisis anual de los resultados de producción agrícola en el país y particularmente en el Valle del Cauca. En el cálculo de la HE de alimentación se consideró el valor inverso de este índice expresado en ha/ton para hacer una multiplicación directa tal como se observa en la ecuación (3).

Tabla 7. Rendimiento agrológico de los alimentos básicos de la dieta colombiana en kg/ha.

Tipo de alimento	Colombia			Valle del Cauca		
	Promedio	Desviación estándar	Número de datos	Promedio	Desviación estándar	Número de datos
Carnes						
Ensalada						
Tomate	77174	36217	206	42320	13005	13
Lechuga	16484	8747	192	20677		2
Zanahoria	19666	10447	189	12790	10450	17
Carbohidrato						
Arroz	4928	1172	245	4629	1147	13
Papa	15969	6753	235	21220	6840	17
Papa criolla	13370	4889	132	15000		4
Plátano	8216	3521	539	9559	3720	14
Lenteja	2000		2			
Frijol	1247	560	410	1410		5
Arveja	1629	657	278	1635	651	17

Tal como fue mencionado anteriormente, la HE se mide en hectáreas globales (hag) y representa la demanda humana sobre los recursos naturales y los servicios ecosistémicos del planeta. Para facilitar la comparación entre diferentes tipos de uso del suelo, se utilizan los Factores de Equivalencia, los cuales ajustan la productividad de diversas superficies en términos homogéneos. Estos factores, definidos por el Informe Planeta Vivo 2006 de WWF, permiten convertir áreas de cultivo, pastoreo, bosques, zonas pesqueras, tierras urbanizadas y aguas continentales en un estándar de productividad global (WWF, 2006). La Figura 16 presenta los valores de los factores de equivalencia para el año 2003, donde se evidencia que las tierras agrícolas principales y los asentamientos humanos tienen el mayor valor de conversión con 2.21 hag/ha, lo que indica una alta capacidad de impacto sobre el entorno. En contraste, las superficies marinas y las aguas continentales poseen un menor valor, equivalente a 0.36 hag/ha, reflejando un menor grado de transformación por hectárea. Esta diferencia en equivalencias resalta la importancia de optimizar el uso de terrenos agrícolas y urbanizados para reducir la presión ecológica y fomentar un equilibrio sostenible. Estos valores son los adoptados en el presente trabajo para complementar el cálculo de la HE.

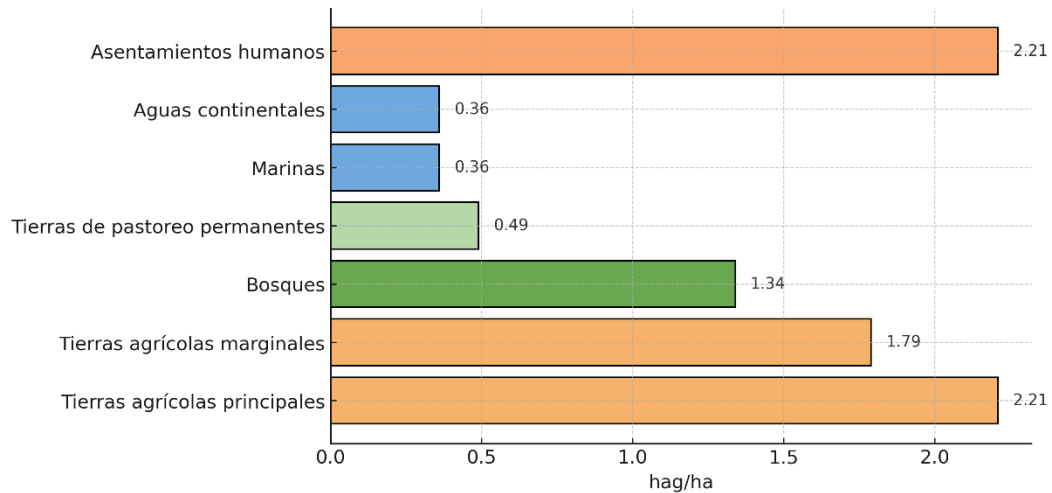


Figura 16. Factores de equivalencia para 2003 (modificado de WWF, 2006).

3.2.2. Huella ecológica forestal

Como se mencionó anteriormente, la Huella forestal considera como hipótesis la suma de todas las huellas parciales que contribuyen a la Huella de Carbono y pueden transformarse en área global a partir de la absorción mediante especies vegetales. A continuación, se detalla la fórmula de cálculo de cada una de ellas.

Huella de Materiales

$$HE_{material} = \left(\sum Q_{Material} \cdot FE_{Mat} \right) \cdot \frac{1 - A_{OC}}{A_B} \cdot Feq \quad (4)$$

Donde: DT_j es la distancia de transporte del material; QM_j es la cantidad de material; FE_i es el factor de emisión generado por el transporte; A_{OC} es la reducción de emisión por la absorción de los océanos; A_B es el factor de absorción de los bosques y Feq es el factor de equivalencia de absorción de carbono.

Tabla 8. Huella parcial de los materiales

MATERIALES	CANTIDAD DE MATERIAL (kg) QMj	FACTOR DE EMISION (kgCO ₂ eq/kg) FEMj	HUELLA MATERIAL ES (kgCO ₂ eq)
ACERO	118431,4	2,61	308869,0
GRAVA TRITURADA	2394880,4	0,03	76636,2
ÁRIDOS	2222240,9	0,01	17777,9
CEMENTO	111746,4	0,98	109846,7
HIERRO GALVANIZADO	63236,0	4,19	264705,8
ICPOR	1460,4	3,18	4639,8
LADRILLO ESTRUCTURAL	2239386,2	0,37	835291,1
MADERA	131960,4	0,38	50145,0
MORTERO	1331552,1	0,23	311583,2
CONCRETO 3000 PSI	6419428,2	0,22	1405854,8
PINTURA	1913,4	2,14	4102,4
PVC	45387,2	2,59	117734,5
TRANSPORTE DE CARGA	543,1	0,12	65,2
PORCELANA-CERÁMICA	28395,8	1,53	43530,7
TOTAL (kg)			3550782,2
TOTAL (ton)			3550,8

Para este estudio no se utilizará un valor en el factor de reducción de emisiones debido a la absorción de los océanos debido a que el estudio de caso no se encuentra en una ubicación cercana relativamente al océano, por el contrario, este se encuentra en el valle custodiado de lado y lado por la cordillera de los Andes.

Se procede a determinar el resultado implementando la expresión 5. Para la cual se aplican los datos de la tabla 8 y se toman los siguientes datos: $A_{OC}=0$; $A_B=3,59$ tCO₂/ha y $Fec=1,26$ hag/ha.

Huella por materiales = 1246,24hag

Huella de transporte

$$HE_{transporte} = \left(\sum DT_j \cdot QM_j \cdot FE_i \right) \cdot \frac{1 - A_{OC}}{A_B} \cdot Fec \quad (6)$$

Donde: DT_j es la distancia de transporte del material; QM_j es la cantidad de material; FE_i es el factor de emisión generado por el transporte; A_{OC} es la reducción de emisión por la absorción de los océanos; A_B es el factor de absorción de los bosques y Fec es el factor de equivalencia de absorción de carbono.

Tabla 9. Huella parcial de transporte

DISTANCIA DE TRANSPORTE (km)	TKM	FACTOR EMISION DE TRANSPORTE (kgCO2eq/tkm)	HUELLA TRANSPORTE (kgCO2eq)
DT - KM		FETi	
25,0	2960,8	0,13	390,8
25,0	59872,0	0,13	7903,1
25,0	55556,0	0,13	7333,4
30,0	3352,4	0,13	442,5
28,0	1770,6	0,13	233,7
4,3	6,2	0,13	0,8
30,0	67181,6	0,13	8868,0
13,2	1741,9	0,13	229,9
15,0	19973,3	0,13	2636,5
30,0	192582,8	0,13	25420,9
435,0	832,3	0,13	109,9
457,7	20773,7	0,13	2742,1
22,0	11,9	0,13	1,6
432,2	12272,7	0,13	1620,0
Total (kg)			57933,3
Total (ton)			57,9

Se procede a determinar el resultado implementando la expresión 6. Para la cual se aplican los datos de la Tabla 9 y se toman los siguientes datos: $A_{OC}=0$; $A_B=3,59$ tCO₂/ha y $Fec=1,26$ hag/ha.

Huella por transporte de materiales 1266,57 hag

Huella ecológica RCD

Se llevará a cabo una revisión bibliográfica con la finalidad de relacionar los escenarios de gestión y aprovechamiento de RCD encontrados, a la Resolución 1257 del 2021. Finalmente se propondrán los escenarios de acuerdo al estudio de caso y con relación a los datos obtenidos

anteriormente sobre el porcentaje, peso y cantidad de RCD se utilizarán estos valores, teniendo en cuenta los siguientes escenarios:

- Escenario 1: Total de residuos de construcción y demolición RCD son dirigidos a disposición final.

Se procede a realizar el cálculo el cual está soportado en dos resultados, en primer lugar, debe calcularse la Huella Ecológica (hag) producto de los RCD (ver Tabla 10) y en segundo lugar se calcula la Huella Ecológica (hag) por transporte de los RCD.

Tabla 10. Huella Ecológica RCD ESC-1

Descripción	Cantidad (ton)	HE RCD (hag)
Tierras de excavación (ton)	574,12	33,1
RCD contaminados (ton)	2015,1	629,8
RCD potencialmente usables (ton)	2104	121,4
Total residuos de construcción (ton)	4693,22	784,3

Se utiliza la siguiente expresión para obtener el resultado de hag por transporte de RCD

$$HE_{RCD} = \left(\sum DT_j \cdot QM_j \cdot FE_i \right) \cdot \frac{1 - A_{oc}}{A_B} \cdot Fec \quad (7)$$

Insumo	Unidad	Valor
Distancia	tkm	51638,84
Factor emisión	kgCO ₂ eq / tkm	0.132
HC	KGco ₂ Eeq	6816

Huella RCD ESC-1 = 789,1 hag

- Escenario 2: Total de residuos de construcción y demolición RCD son dirigidos a separación y limpieza.
- Escenario 3: Total de residuos de construcción y demolición RCD son dirigidos a separación, limpieza y aprovechamiento.

3.2.3 Huella de superficie de ocupación

El cálculo de esta huella parcial se debe principalmente a la falta de productividad que tendrá el terreno en el cual se implanta el estudio de caso, esto debido a que en sus etapas de construcción, uso y deconstrucción este estará ocupado.

De acuerdo al área construida por vivienda (ver Figura 13), sus calles internas y perimetrales se lleva a cabo la ejecución de la siguiente expresión:

$$HE_{superficie} = S \cdot FEb \quad (8)$$

Donde S es la cantidad en ha del proyecto y *FEb* es 2,21 factor de equivalencia de los bosques

$$\mathbf{Huella\ de\ superficie\ de\ ocupación = 4\ hag}$$

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este Capítulo se presentarán los resultados del cálculo de la HE discriminados en función de las huellas parciales.

De manera preliminar se calcularon dos niveles básicos, que corresponden a la estimación de los pesos de los materiales de obra, y la generación de residuos de construcción y demolición RCD.

Estimación del peso de los materiales de obra

De acuerdo con lo descrito en la metodología, la cuantificación de la medición del RCD producido en el proyecto, se calcula basado en el peso total de los materiales identificados en el presupuesto de obra. El primer paso para la realización de este cálculo determinístico es el de tomar las actividades del presupuesto oficial suministrado por la constructora con sus respectivos materiales y cantidades, para así estructurar una hoja de cálculo donde converjan estos datos.

Tabla 11. Ejemplo estimación peso por actividad

Descripción	Unidad	Cantidad	Factor de Conversión n	Unidad	Densidad	%
Localización VT - Cimentación						
Alambre negro No. 18	kg	106,44	1,00	kg	106.4	0
Arena	m3	36,42	1.440,0	kg/m3	52.444.8	33
Cemento gris x 50 Kg	kg	12.898.8	1,00	kg	12.898.8	8
Grava triturada de ¾"	m3	35,89	1.660,0	kg/m3	59.577.4	38
Ladrillo estructural 10x12x29	Und	6.014,3	4,86	kg/un	29.229.7	19
Malla especial	kg	2.740,9	1,00	kg	2.740.9	2
Transporte de arena	m3	36,42	0,12	kg/m3	4.37	0
Transporte de grava	m3	35,89	0,12	kg/m3	4.31	0
TOTAL					157.006	100

Fuente: Elaboración propia

Como se puede evidenciar en el ejemplo anterior es necesario conocer la densidad del material para ser utilizada como factor multiplicador por la cantidad del material. En Colombia estos pesos están dados en su mayoría por la Norma sismorresistente NSR-10 en su título B.3 "Cargas muertas".

Basados en los resultados de cada actividad, se procede a realizar el cálculo total, asumiendo que la suma de todos estos tendrá como total el peso del proyecto. Para el caso de estudio el resultado del peso total obtenido fue de 18.766,09 ton.

Determinación de las actividades más representativas

Continuando con el desarrollo de la metodología planteada, se llega a la estimación del peso de los materiales utilizados en la construcción, obteniendo un total de 18.772,863 ton. Valor que se diferencia de los trabajos de grado utilizados como referentes por una cantidad aproximada de 8.000 – 10.000 ton, esta diferencia se debe principalmente en que el cálculo del peso del proyecto de los referentes González y Devia se basó en el cálculo de la estructura de la vivienda, no se tuvo en cuenta para estos casos las etapas de: cubierta, acabados, instalación de redes y urbanismo. Aspectos que en esta investigación si se tuvieron en cuenta y fueron contemplados para la estimación del peso total del proyecto. Obteniendo como resultado:

Peso Viviendas: 15.867,09 ton

Peso Urbanismo: 2.905,77 ton

Peso del proyecto: 18.772,86 ton

Con base en esta información se crea la Figura 17 en la cual se evidencian las categorías de mayor relevancia en el peso total del proyecto. Dentro del tema puntual de la construcción de las viviendas, las actividades más representativas son: estructura, mampostería, cimentación e instalaciones sanitarias obteniendo como sumatoria 11.837 ton. Adicionalmente se observa la actividad de urbanismo la cual engloba todas las actividades relacionadas a la conformación del urbanismo del proyecto, obtiene un peso total de 2.906 ton y finalmente se encuentra el área denominada “otros” la cual hace referencia al resto de actividades encontradas en el presupuesto oficial del proyecto, tales como: instalación de porcelana de baño y aparatos de cocina, cielos falsos, impermeabilizaciones, carpintería metálica, entre otros. Obteniendo un peso total de 4.030 ton, el cual sumado a los demás pesos obtenidos genera un total de 18.773 ton.

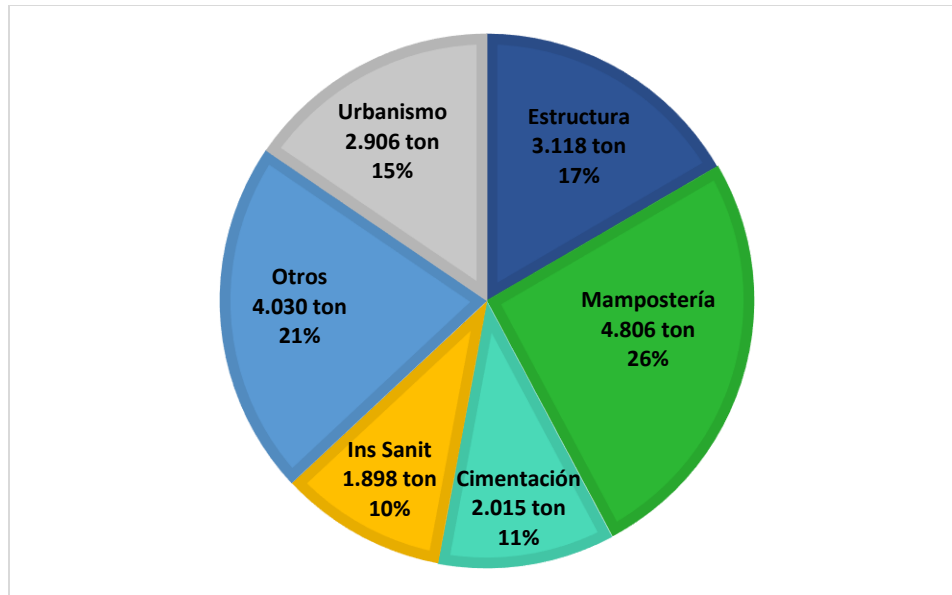


Figura 17. Cantidades representativas del proyecto.

Estimación de RCD

El trabajo investigativo de González (2020), llegó a la estructuración de indicadores de impacto ambiental, entre ellos obtuvo los indicadores de generación de residuos de construcción y demolición en función de el volumen y el peso de cada componente diferenciando residuos contaminados, aprovechables como agregados, aprovechables mixtos y aprovechables en otros usos, definiendo índices gravimétricos de 0,127, 0,059, 0,061, 0,003 ton/ton respectivamente.

Teniendo en cuenta lo índices de generación de residuos propuestos por González (2020), se procede a realizar la estimación y clasificación de los RCD del caso de estudio, donde se realizará la diferencia entre los RCD contaminados, aprovechables agregados, aprovechables mixtos y aprovechables otros usos. Los cuales hacen referencia a:

- Aprovechables agregados: Entre ellos se encuentran los resultados de la producción generada por la cortadora de ladrillo los cuales crean un RCD cerámico sin contaminantes.
- Aprovechables mixtos: Mezcla de materiales potencialmente reutilizables, los cuales requieren separación o tratamiento adicional para su aprovechamiento.
- Aprovechables otros usos: Hace referencia a materiales como papel, cartón, madera.

- Contaminados: En esta clasificación se encuentran los materiales peligrosos derivados del proceso de construcción, tales como pinturas, disolventes, aceites, entre otros.

Lo anteriormente mencionado se evidencia a través de la Tabla 9, cuya información contiene la clasificación por categorías de los residuos de construcción y demolición RCD.

Tabla 12. Estimación de la generación de RCD

Etapa	Cantidad (ton)	Potencial de generación (ton)	Contaminados	Aprov. Agregados	Aprov. Mixtos	Aprov Otros Usos	Sub total (ton)
Estructura	3.118	3.118	395,9	183,9	190,2	9,4	779,4
Mampostería	4.806	4.806	610,3	283,5	293,1	14,4	1201,3
Cimentación	2.015	2.015	255,9	118,9	122,9	6	503,7
Inst sanitaria	1.898	1.898	241,1	112	115,8	5,7	474,6
Otros	4.030	4.030	511,9	237,8	245,9	12,1	1.007,7
Urbanismo	2.906	1.270,183	0	74,9	77,5	0	152,4
Total	18.772,86	17.137,27	2015,1	1.011	1.045,4	47,6	4.119,1

Fuente. Propia de la autora

El total estimado de RCD aprovechable es de 4.119 ton; este resultado se obtiene a partir de la sumatoria de los diferentes indicadores de clasificación, los cuales a su vez se derivan de la cantidad de material definidos previamente como materiales mayormente representativos.

Se presentan a continuación los resultados obtenidos a partir de la aplicación de la metodología definida para analizar los escenarios de gestión y cuantificar la Huella Ecológica asociada. Estos hallazgos permiten identificar patrones, contrastar los impactos obtenidos por diferentes estrategias y determinar el potencial ambiental de su implementación en el estudio de caso.

4.1. Huella ecológica para el Escenario 1

Dentro de las huellas parciales se calculó inicialmente La Huella de Carbono (HC), que corresponde a la cantidad total de dióxido de carbono equivalente (kgCO_2eq) emitida durante los procesos de producción y transporte de los materiales utilizados en el proyecto de construcción de Mirasol II. Este indicador permite cuantificar el impacto ambiental asociado al ciclo de vida de cada material, considerando desde su extracción y fabricación hasta su traslado al sitio de obra. Los resultados son mostrados en la Tabla 13.

En el escenario sin gestión de residuos de construcción y demolición (RCD), se identificó que los materiales que generan mayor impacto en términos de huella de carbono son el concreto 3000 psi, el ladrillo estructural y el acero; estos materiales presentan una contribución significativa al total de emisiones de CO₂ equivalente, lo que se atribuye al elevado consumo energético en sus procesos de producción y a las largas distancias involucradas en su transporte.

Tabla 13. Huella de carbono de materiales y transporte del Escenario 1.

MATERIAL ES	EMISIÓN DEL MATERIAL			EMISIÓN TRANSPORTE			CALCU LO H.C. (kgCO ₂ e q)	
	CANTID AD DE MATERI AL (kg)	FACT OR DE EMISI ON (kg/kg)	HUELLA MATERIA LES	DISTANCI A DE TRANSPOR TE (km)	TKM	FACTOR EMISION DE TRANSPOR TE (kgCO ₂ /tk m)		HUELLA TRANSPOR TE
	QMj	FEMj		DT - KM		FETi		
ACERO	118431,4	2,61	308869,0	25,0	2960,8	0,13	390,8	309260
GRAVA TRITURAD A	2394880,4	0,03	76636,2	25,0	59872, 0	0,13	7903,1	84539
ARIDOS	2222240,9	0,01	17777,9	25,0	55556, 0	0,13	7333,4	25111
CEMENTO	111746,4	0,98	109846,7	30,0	3352,4	0,13	442,5	110289
HIERRO GALVANIZ ADO	63236,0	4,19	264705,8	28,0	1770,6	0,13	233,7	264940
ICPOR	1460,4	3,18	4639,8	4,3	6,2	0,13	0,8	4641
LADRILLO ESTRUCTU RAL	2239386,2	0,37	835291,1	30,0	67181, 6	0,13	8868,0	844159
MADERA	131960,4	0,38	50145,0	13,2	1741,9	0,13	229,9	50375
MORTERO	1331552,1	0,23	311583,2	15,0	19973, 3	0,13	2636,5	314220
CONCRETO 3000 PSI	6419428,2	0,22	1405854,8	30,0	19258 2,8	0,13	25420,9	1431276
PINTURA	1913,4	2,14	4102,4	435,0	832,3	0,13	109,9	4212
PVC	45387,2	2,59	117734,5	457,7	20773, 7	0,13	2742,1	120477
TRANSPOR TE DE CARGA	543,1	0,12	65,2	22,0	11,9	0,13	1,6	67
PORCELAN A-	28395,8	1,53	43530,7	432,2	12272, 7	0,13	1620,0	45151
CERAMICA TOTAL (kg)			3550782,2				57933,3	3608717
TOTAL (ton)			3550,8				57,9	3608,7

Pasando a la huella ecológica, en el escenario 1, se evidencia una distribución diferenciada de los componentes que conforman la HE, los resultados muestran que los principales contribuyentes son los materiales y el transporte, representando el 37% y el 38% del total de la huella total, respectivamente (ver Figura 18). Esto refleja un elevado consumo de recursos naturales y emisiones durante los procesos de producción y movilización de materiales hacia el sitio de obra, así como una relación estrecha en este caso entre la HE y la HC.

Por su parte, los RCD contribuyen con un 24% de la huella total, evidenciando la necesidad de implementar mecanismos de reducción y aprovechamiento que disminuyan su impacto. El consumo de agua y la ocupación del suelo presentan un aporte marginal al total, con valores cercanos al 1% y al 0%, respectivamente. Esta baja incidencia se debe a que el proceso constructivo se centra en materiales de alto consumo energético y transporte intensivo, mientras que el uso de agua y la ocupación del suelo son menos representativos en este contexto.

La ausencia de estrategias de gestión de RCD en este escenario incrementa de manera significativa el impacto ambiental, afectando no solo la cantidad de recursos utilizados, sino también la generación de residuos sin un proceso de aprovechamiento adecuado. La implementación de políticas de reciclaje y valorización de residuos podría reducir sustancialmente estos valores, optimizando la sostenibilidad del proyecto.

ESC-1 Sin gestión y aprovechamiento de RCD

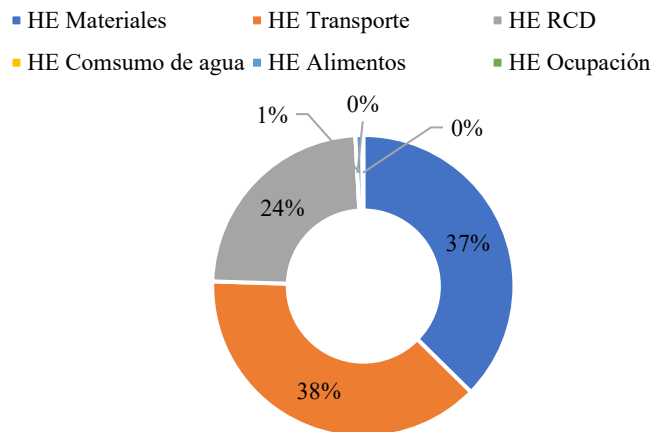


Figura 18. Contribución de las huellas parciales del escenario 1.

4.2. Huella ecológica para el Escenario 2

El escenario 2 contempla la gestión y aprovechamiento de RCD según la meta establecida en la Resolución 1257 de 2021, en ella se mantiene una distribución donde los materiales y el transporte son los principales contribuyentes a la Huella Ecológica, con un 38% cada uno (ver Figura 19). Este patrón refuerza el impacto significativo que tienen estos dos componentes dentro del ciclo de vida del proyecto, esto debido a la extracción, fabricación y movilización de los insumos.

Tabla 14. Huella de carbono de materiales y transporte del Escenario 2.

MATERIAL ES	EMISIÓN DEL MATERIAL			EMISIÓN TRANSPORTE				HC. (kgCO2 eq)
	CANTIDAD DE MATERIAL (kg)	FACTOR DE EMISIÓN (kg/kg)	HUELLA MATERIALES	DISTANCIA DE TRANSPORTE (km)	TKM	FACTOR EMISIÓN DE TRANSPORTE (kgCO2/tkm)	HUELLA TRANSPORTE	
	QMj	FEMj		DT - KM		FETi		
ACERO	118431,4	2,61	308869,0	25,0	2960,8	0,13	390,8	309260
GRAVA TRITURADA	1221880,4	0,03	39100,2	25,0	30547,0	0,13	4032,2	43132
ARIDOS	2222240,9	0,01	17777,9	25,0	55556,0	0,13	7333,4	25111
CEMENTO	111746,4	0,98	109846,7	30,0	3352,4	0,13	442,5	110289
HIERRO GALVANIZADO	63236,0	4,19	264705,8	28,0	1770,6	0,13	233,7	264940
ICPOR	1460,4	3,18	4639,8	4,3	6,2	0,13	0,8	4641
LADRILLO ESTRUCTURAL	2239386,2	0,37	835291,1	30,0	67181,6	0,13	8868,0	844159
MADERA	131960,4	0,38	50145,0	13,2	1741,9	0,13	229,9	50375
MORTERO	1331552,1	0,23	311583,2	15,0	19973,3	0,13	2636,5	314220
CONCRETO 3000 PSI	6419428,2	0,22	1405854,8	30,0	192582,8	0,13	25420,9	1431276
PINTURA	1913,4	2,14	4102,4	435,0	832,3	0,13	109,9	4212
PVC	45387,2	2,59	117734,5	457,7	20773,7	0,13	2742,1	120477
TRANSPORTE DE CARGA	543,1	0,12	65,2	22,0	11,9	0,13	1,6	67
PORCELANA-CERAMICA	28395,8	1,53	43530,7	432,2	12272,7	0,13	1620,0	45151
TOTAL (kg)			3513246,2				54062,4	3567310
TOTAL (ton)			3513,2				54,1	3567,3

La Huella Ecológica por RCD se reduce ligeramente respecto al escenario 1, aportando un 23%, aspecto que indica una mejora atribuible a la implementación de medidas de limpieza, separación y aprovechamiento de residuos. A pesar de esta disminución, los residuos de construcción y demolición continúan representando una proporción importante, lo que evidencia que aún existe un margen para incrementar la eficiencia en la gestión de estos.

Por su parte, el consumo de agua continúa aportando un 1 % y tanto los alimentos como la ocupación de la superficie presentan una contribución nula. En conjunto, los resultados evidencian que la aplicación de políticas de manejo y gestión de RCD permiten un aporte ambiental moderado. Sin embargo, es fundamental complementar estas estrategias con decisiones en el diseño y optimización de materiales, de esta manera se generarán reducciones más significativas en la Huella Ecológica total.

ESC-2 Gestión y aprovechamiento según la meta de la Resolución 1257 de 2021

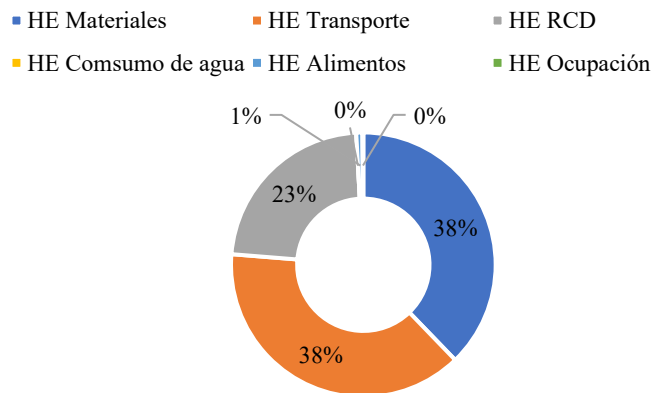


Figura 19. Contribución de las huellas parciales del escenario 2.

4.3. Huella ecológica para el Escenario 3

En el escenario 3, que contempla la gestión y aprovechamiento máximo de los RCD en función de gestión, se observa una leve variación en la distribución de la Huella Ecológica en comparación con los escenarios 1 y 2. El transporte y los materiales continúan siendo los mayores contribuyentes, representando el 39 % y 38 % respectivamente del total de la HE (ver Figura 20). Esto confirma el peso estructural de estos componentes en la etapa constructiva del proyecto (ver Tabla 15).

Tabla 15. Huella de carbono de materiales y transporte del Escenario 3.

MATERIAL ES	EMISIÓN DEL MATERIAL			EMISIÓN TRANSPORTE			HUELLA TRANSPORTE	CALCULO H.C. (kgCO ₂ e q)
	CANTIDAD DE MATERIAL (kg)	FACTOR DE EMISIÓN (kg/kg)	HUELLA MATERIAL ES	DISTANCIA DE TRANSPORTE (km)	TKM	FACTOR EMISIÓN DE TRANSPORTE (kgCO ₂ /tkm)		
	QMj	FEMj		DT - KM		FETi		
ACERO	118431,4	2,61	308869,0	25,0	2960,8	0,13	390,8	309260
GRAVA TRITURADA	290880,4	0,03	9308,2	25,0	7272,0	0,13	959,9	10268
ARIDOS	2222240,9	0,01	17777,9	25,0	55556,0	0,13	7333,4	25111
CEMENTO	111746,4	0,98	109846,7	30,0	3352,4	0,13	442,5	110289
HIERRO GALVANIZADO	63236,0	4,19	264705,8	28,0	1770,6	0,13	233,7	264940
ICPOR	1460,4	3,18	4639,8	4,3	6,2	0,13	0,8	4641
LADRILLO ESTRUCTURAL	2239386,2	0,37	835291,1	30,0	67181,6	0,13	8868,0	844159
MADERA	131960,4	0,38	50145,0	13,2	1741,9	0,13	229,9	50375
MORTERO	1331552,1	0,23	311583,2	15,0	19973,3	0,13	2636,5	314220
CONCRETO 3000 PSI	6419428,2	0,22	1405854,8	30,0	192582,8	0,13	25420,9	1431276
PINTURA	1913,4	2,14	4102,4	435,0	832,3	0,13	109,9	4212
PVC	45387,2	2,59	117734,5	457,7	20773,7	0,13	2742,1	120477
TRANSPORTE DE CARGA	543,1	0,12	65,2	22,0	11,9	0,13	1,6	67
PORCELANA-CERAMICA	28395,8	1,53	43530,7	432,2	12272,7	0,13	1620,0	45151
TOTAL (kg)			3483454,2				50990,1	3534446
TOTAL (ton)			3483,5				51,0	3534,4

La huella asociada a los RCD se reduce al 22 %, siendo este el valor más bajo obtenido entre los escenarios analizados. Este resultado evidencia el impacto positivo que puede lograrse mediante una gestión intensiva de residuos en términos ambientales, al minimizar su contribución a la Huella Ecológica total mediante acciones como el aprovechamiento de los mismos en actividades que lo permitan.

Por otro lado, es de resaltar que el consumo de agua se mantuvo en un 1 % y la Huella por alimentos y ocupación de superficie continúan presentando un porcentaje muy bajo (ver Figura 20). A pesar de que este último escenario refleja una mejora general en la sostenibilidad del proyecto, se hace evidente que los impactos mayormente significativos se concentran en los materiales y su respectivo transporte.

ESC-3 Gestión y aprovechamiento máximos en función de la generación

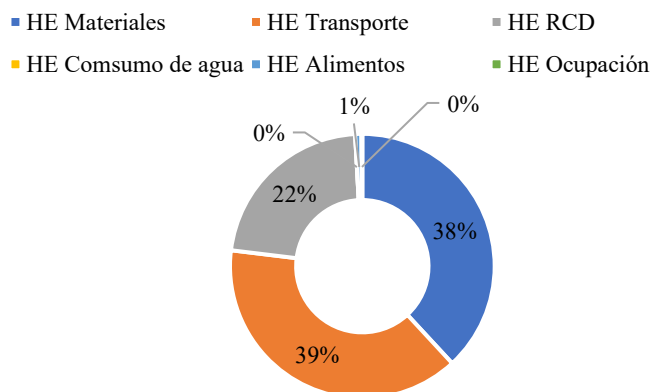


Figura 20. Contribución de las huellas parciales del escenario 3.

4.4. Análisis comparativo

El análisis comparativo entre los tres escenarios evidencia que una mayor implementación de estrategias de gestión y aprovechamiento de RCD conlleva a una reducción en la Huella Ecológica total del proyecto (ver Figura 21). El escenario 1, sin ningún tipo de gestión presenta el mayor impacto ambiental teniendo como resultado 3.325 hag, mientras que el escenario 3, el cual contempla un aprovechamiento máximo en función de la generación, logra la menor Huella, obteniendo un resultado de 3.198 hag, confirmando la efectividad de estas prácticas. Siendo que

la participación entre la Huella Ecológica de materiales, transporte de materiales y RCD para los tres escenarios corresponden al 99% de la HE total (ver Tabla 16). Es importante aclarar que la Huella Ecológica del consumo de agua es de 7,E-03 siendo muy baja en comparación a las demás huellas parciales.

Tabla 16. Huella Ecológica (hag) discriminada en Huellas parciales

ESC	Descripción	HE Materiales	HE Transporte	HE RCD	HE Consumo agua	HE Alimentos	HE Ocupación	HE Total (hag)
1	ESC-1 Sin gestión y aprovechamiento de RCD	1246	1271	789	0	15	4	3325
2	ESC-2 Gestión y aprovechamiento según la meta de la Resolución 1257 de 2021	1233	1256	746	0	15	4	3254
3	ESC-3 Gestión y aprovechamiento máximos en función de la generación	1223	1245	712	0	15	4	3198

La Figura 21 permite apreciar y analizar que las huellas ecológicas asociadas a materiales y transporte son las más altas en los tres escenarios, manteniéndose prácticamente constantes, aspecto que indica que estas categorías no son mayormente susceptibles a la gestión y aprovechamiento que se le den a los RCD. Por el contrario, la Huella Ecológica correspondiente a los RCD evidencia una disminución progresiva desde el escenario 1 (sin gestión) hacia el escenario ESC-3 (gestión máxima), lo cual refleja el impacto positivo en la aplicación de las estrategias de aprovechamiento planteadas por la Resolución 1257 de 2021.

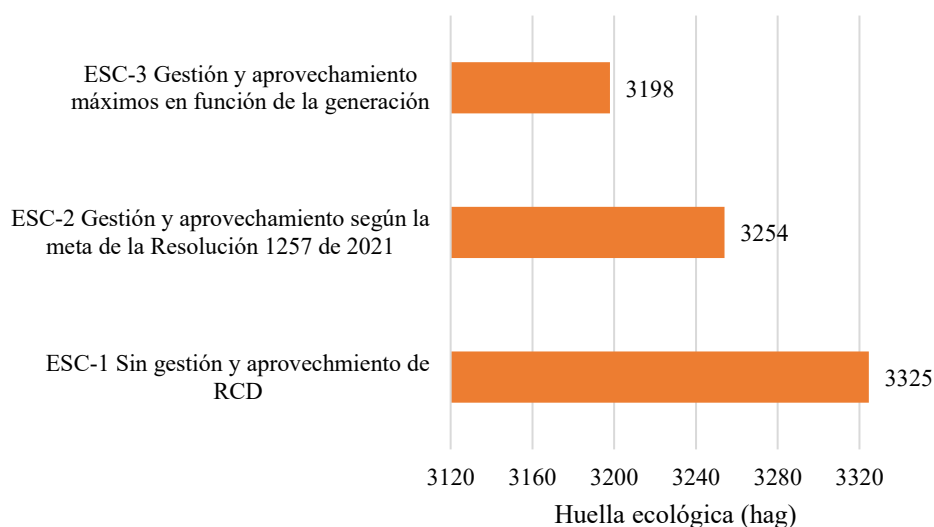


Figura 21. Huella ecológica total para los tres escenarios de gestión y aprovechamiento de RCD.

El aumento en la intensidad de gestión de RCD (pasando del cumplimiento normativo a una valorización máxima) reduce progresivamente la huella ecológica total, aunque de forma limitada.

La diferencia entre ESC-2 y ESC-3 es menor que entre ESC-1 y ESC-2, lo que indica un retorno decreciente si no se acompañan de otras estrategias sostenibles.

Materiales y transporte son responsables de más del 75 % de la huella ecológica en todos los escenarios, lo que posiciona estos factores como prioritarios para intervenciones futuras si se busca reducir el impacto ambiental total del proyecto.

La Figura 23 presenta la Huella Ecológica por vivienda considerando el área construida en tres escenarios de gestión y aprovechamiento de residuos de construcción y demolición. Se observa que el escenario con mayor impacto ambiental corresponde al ESC-1, donde todo el material se va a disposición final sin tener ningún tipo de gestión previa, alcanzando un valor de 0,26825 hectáreas globales (hag) por vivienda. En contraste, el ESC-2 incorpora un nivel de gestión acorde a las metas establecidas por la Resolución 1257 de 2021 y muestra una leve disminución con un valor de 0,26256 hag/vivienda. Finalmente, el ESC-3 contempla una gestión y aprovechamiento máximos en función de la generación de RCD y evidencia el resultado más bajo con un valor de 0,25804 hag/vivienda.

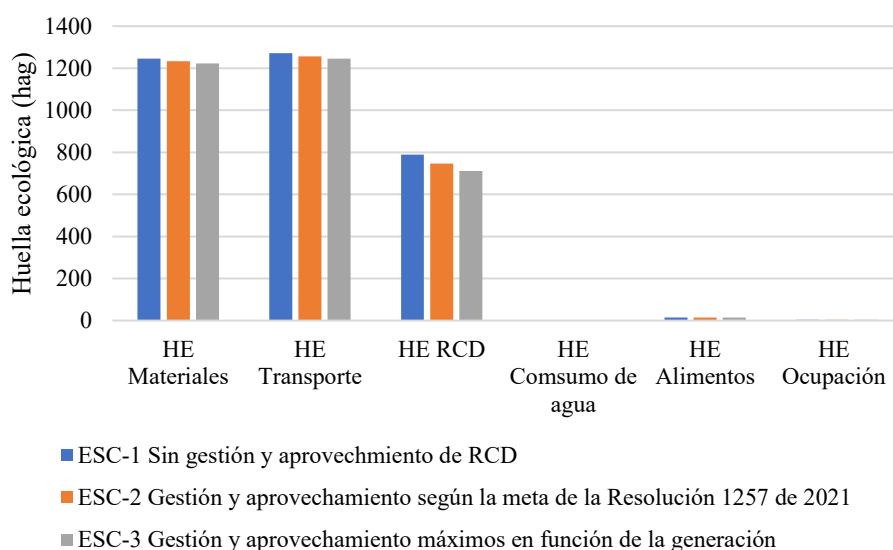


Figura 22. Contribución de cada una de las huellas a la huella ecológica total para cada escenario.

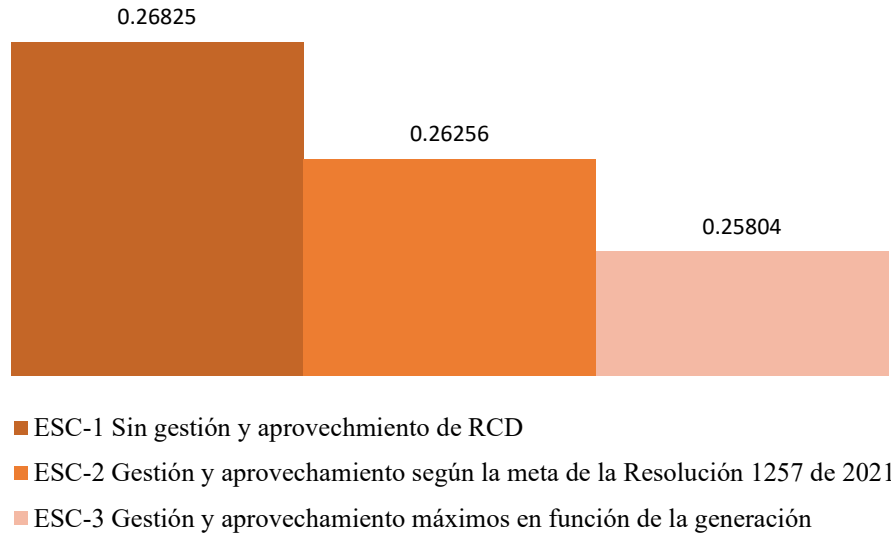


Figura 23. Huella ecológica para los tres escenarios en función del área construida por vivienda.

La Huella Ecológica calculada en este trabajo a partir del estudio de caso está dentro de los rangos reportados en la literatura (ver Tabla 17). El comportamiento evidenciado dentro de este análisis confirma que a medida que se optimizan las estrategias de gestión y aprovechamiento de los RCD, se logra una reducción progresiva en la presión ambiental generada por la construcción de vivienda. A pesar de que las diferencias entre los resultados obtenidos no sean drásticas, su tendencia descendente resalta la importancia de continuar con la implementación de políticas y regulaciones como las establecidas y estudiadas dentro de la Resolución 1257 de 2021 de mejoramiento en el manejo efectivo de los RCD para minimizar el impacto ambiental.

Tabla 17. Comparación con otros estudios.

Estudio / Proyecto	HE por m ² (hag/m ²)	Contexto / Observaciones
Solís & Otálvaro (2025)	0.0617	Formaleta tipo túnel Outinord en Tumaco, Colombia
Solís & Otálvaro (2025)	0.0794	Mampostería confinada en Tumaco, Colombia
Mirasol II - Escenario 3	0.197	Gestión máxima de RCD
Mirasol II - Escenario 2	0.200	Gestión según Resolución 1257 de 2021

Mirasol II - Escenario 1	0.204	Sin gestión ni aprovechamiento de RCD
Bulti & Assefa (2019)	0.130	Viviendas residenciales en Adama City, Etiopía
Solís Guzmán (2011)	0.360	Viviendas plurifamiliares en Andalucía, España
Lucknow, India (2022)	0.490	Viviendas residenciales de baja altura

En general, para análisis en San Andrés de Tumaco de Solís y Otálvaro (2025), se evidencia que los sistemas constructivos evaluados presentan menores valores de HE por m² en comparación con los escenarios de Mirasol II y otros estudios internacionales, destacando la eficiencia ambiental de la formaleta tipo túnel Outinord.

5. CONCLUSIONES

En este capítulo son incluidas las conclusiones derivadas del trabajo y el análisis de los impactos ambientales en función de la Huella Ecológica, así como una serie de recomendaciones para trabajos futuros.

5.1. Conclusiones

Las metas de la Resolución 1257 de 2021 en la estimación de los RCD del estudio de caso, permitieron identificar un volumen significativo de RCD, con un 25% del peso total de materiales, y discriminarlos por susceptibilidad de aprovechamiento, con un 11% del peso total de materiales.

Se definieron las principales fuentes de impacto de la Huella Ecológica de los tres escenarios planteados, gracias a la discriminación de la estructura de costos para cada uno. En general las Huellas parciales correspondientes a materiales y transporte de los mismos superaron el 75% de la Huella total en los tres escenarios de aprovechamiento.

Fue posible estimar la reducción en el impacto ambiental debido al resultado de la Huella Ecológica obtenido para cada escenario. Siendo que la Huella parcial de RCD se redujo del 24% al 22% cuando se pasa de hacer disposición final de la totalidad de RCD al máximo aprovechamiento posible.

Si bien la gestión de RCD reduce el impacto ambiental, la optimización o sustitución de materiales como el concreto podría generar reducciones aún mayores en la huella ecológica.

En relación con proyectos en España y la India, Mirasol II muestra un buen desempeño; sin embargo, aún está por encima de proyectos optimizados como los de Tumaco y Etiopía.

La aplicación de normativas de aprovechamiento de RCD permite una mejora considerable, aunque no logra igualar los valores de la formaleta tipo túnel Outinord.

Las prácticas en Tumaco pueden representar un modelo de referencia para futuras construcciones en Ciudad Pacífica, orientadas a disminuir el impacto ecológico.

El cumplimiento de las metas de aprovechamiento de la Resolución 1257 de 2021 contribuye a la disminución de la Huella Ecológica por vivienda.

5.2. Recomendaciones para trabajos futuros

A partir de los resultados obtenidos en esta investigación, se identifican oportunidades de profundización frente al análisis ambiental en el sector de la construcción, de forma particular para la práctica profesional, se recomienda:

- Ampliar el conocimiento sobre la gestión de los RCD y a explorar estrategias que contribuyan a generar edificaciones que busquen ser más sostenibles y con menor impacto ambiental.
- Considerar la adopción de sistemas constructivos como formaleta túnel o industrializado en futuras fases del proyecto Ciudad Pacífica (lugar al cual pertenece Mirasol II).
- Fortalecer las prácticas de selección de los materiales de construcción para reducir la HE en al menos un 10% adicional. Para esto pueden considerarse las siguientes opciones:
 - Realizar un análisis de ciclo de vida (ACV) para identificar puntos críticos de optimización en materiales y transporte.
 - Profundizar en el impacto ambiental de los materiales de construcción, especialmente el concreto, dada su alta contribución a la Huella Ecológica.
 - Analizar la optimización o reemplazo del concreto por materiales más sostenibles, ya que esto podría generar una reducción mayor que la obtenida mediante la gestión de residuos de construcción y demolición.

Para futuros trabajos desde el punto de vista académico se recomienda:

- Extender el análisis de Huella Ecológica para otros sistemas constructivos y tipologías estructurales.
- El análisis de ciclo de vida puede extenderse a las etapas de uso y deconstrucción.
- Profundizar en el estudio del análisis de la misión de Huella de Carbono, en función de factores de emisión locales, así como el análisis del potencial de absorción de CO₂ de especies nativas.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcalde, L. and López, D. C. (2015) Uso de residuos de construcción y demolición reciclados (RCD-R-R) con adición de suelo natural como material de pavimentos. Pontificia Universidad Javeriana Cali.
- Ansari, Y., Husain, D., Haadi, S.M. (2023). Life cycle ecological footprint of building: a case study of low-rise tropical residential building. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 20, 9779–9794. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-04518-9>
- Barrera, E. D. and Olmedo, O. A. (2015) Utilización de residuos de construcción y demolición (RCD) ligados con materiales cementantes en pavimentos. Pontificia Universidad Javeriana de Cali.
- Bulti, D. T., & Assefa, T. (2019). Analyzing ecological footprint of residential building construction in Adama City, Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 8(2), 1–15. <https://doi.org/10.1186/s40068-019-0130-8>
- Buyle, M., Braet, J. and Audenaert, A. (2013) Life cycle assessment in the construction sector: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26(October), pp. 379–388. doi: 10.1016/j.rser.2013.05.001.
- Chacón Vargas, J. R. (2008) Historia ampliada y comentada del análisis de ciclo de vida (ACV), *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería N° 72*, pp. 37–70.
- Contreras, O., González, C. and Barbosa, A. (2015) Estado del arte de las metodologías para la evaluación ambiental en proyectos de inversión, *Sinapsis*, 7(7), pp. 20–42.
- DAGMA and Alcaldía, S. de C. (2021) Reporte de indicadores ambientales para el Cali Cómo Vamos, 1, p. 56.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. (2018). Encuesta ambiental industrial 2018. <https://www.dane.gov.co>
- Departamento de Planeación Nacional - DNP (2018) CONPES 3919, Consejo Nacional de Política Económica y Social, p. 98. Available at: <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Economicos/3919.pdf>.

- Devia, J. (2021) Análisis de las alternativas de aprovechamiento de agregados reciclados derivados de RCD en obra. Pontificia Universidad Javeriana Cali.
- Diosa, J. S. (2020) Análisis experimental de las propiedades mecánicas del concreto de alta resistencia fabricado con agregados reciclados de concreto. Pontificia Universidad Javeriana Cali.
- Embus, D. and Quintero, L. (2015) Influencia del contenido de humedad en el comportamiento mecánico de un residuo de construcción y demolición (RCD) como material de la estructura del pavimento. Pontificia Universidad Javeriana de Cali.
- Espíndola, C. and Valderrama, J. O. (2012) Huella del carbono. Parte 1: conceptos, métodos de estimación y complejidades metodológicas, *Información Tecnológica*, 23(1), pp. 163–176. doi: 10.4067/S0718-07642012000100017.
- Gámez García, D. C. (2020) Análisis del ciclo de vida en la construcción: evaluación de las etapas incorporadas de elementos de la vivienda y de su entorno urbano, TDX (Tesis Doctorals en Xarxa), p. 131. Available at: <http://www.tesisenred.net/handle/10803/669308>.
- Hernández Sánchez, J. M. (2013) Metodología basada en ACV para la evaluación de sostenibilidad en edificios, TDX (Tesis Doctorals en Xarxa). Available at: <http://www.tesisenred.net/handle/10803/116927>
- Instituto de Estudios Ambientales (2017). Consultoría para el análisis y evaluación de la situación actual de la internacionalización de costos ambientales y en salud por la gestión de residuos en Colombia. Fase II. Universidad Nacional de Colombia.
- Jurado Villegas, J. and Ortiz Díaz, P. (2021) Análisis de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD) en Colombia según las propiedades y clasificación propuestas en la Guía Española de Áridos Reciclados, p. 89.
- Kumar, A., Singh, P., Kapoor, N. R., Meena, C. S., Jain, K., Kulkarni, K. S., & Cozzolino, R. (2021). Ecological Footprint of Residential Buildings in Composite Climate of India—A Case Study. *Sustainability*, 13(21), 11949. <https://doi.org/10.3390/su132111949>

- Londoño, J. (2016) Comportamiento mecánico de elementos prefabricados de concreto con agregados reciclados dentro de la fuente que los genera. Pontificia Universidad Javeriana Cali.
- Martínez N. (2021) Aprovechamiento de residuos cerámicos de construcción en concretos no estructurales fabricados en obra: estudio de caso.
- Mercante I.T. (2007). Caracterización de residuos de la construcción. Aplicación de los índices de generación de la gestión ambiental. Revista Científica de Primavera. Vol XI N° 2.
- Molina Restrepo, J. and Ocampo Rodríguez, M. M. (2016) Cálculo de la Huella Ecológica en el campus de la Universidad Tecnológica de Pereira, p. 120.
- ONU-HABITAT (2015) Objetivo 11. Ciudades y comunidades sostenibles, Ciudades Sostenibles:pp. 1–2. Available at: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-11-sustainable-cities-and-communities.html>
- Ortega Villa, V. G. and Arbeláez Bohórquez, K. F. (2021) La regulación normativa de los Residuos de Construcción y Demolición RCD en el desarrollo de las políticas ambientales sobre cambio climático en el Distrito Capital.
- Padilla-llano, S. E. and Osorio-Chávez, H. (2018) Arquitectura y urbanismo sostenible en Colombia 28(3), pp. 19–26.
- Pardo, N. S., Penagos, G. L. and Acevedo, H. (2022) Impactos ambientales asociados a la huella de carbono y la energía incorporada del ciclo de vida de una edificación en Medellín, 74(565).
- Paris, M. M., Civit, B. and Corica, L. (2020) Valoración económica de los impactos ambientales por el uso del suelo con enfoque de ciclo de vida: estado del arte, Ambiente Construido, 20(2), pp. 367–383. doi: 10.1590/s1678-86212020000200404.
- Pérez Tabares, C. A. and Reyes, T. (2018) Aprovechamiento de RCD en el proyecto Urbanización Villa Praga Palmira. Universidad Santiago de Cali.
- Poon C. S., Yu A.T.W., Ng L.H (2001). On-site sorting of construction and demolition waste in Hong Kong. Resour Conserv Recyc; 32: pp. 157–72.

- Proyecto GEAR (2012) Guía española de áridos reciclados procedentes de residuos de construcción y demolición (RCD).
- Quintero Mosquera, A. and Rojas Rivera, C. A. (2012) Metodología para determinar la Huella Ecológica en el área administrativa de la Fundación Zoológica de Cali. Universidad ICESI.
- Rengifo, D. V. and Chávez, H. (2015) Influencia de la composición en el comportamiento mecánico de un residuo de construcción y demolición (RCD) como elemento de la estructura del pavimento. Pontificia Universidad Javeriana Cali.
- Rivas Ibarguen, B. A. (2020) Caracterización y medición de la huella ecológica como estrategia pedagógica generadora de actitudes positivas para el cuidado del medio ambiente. Universidad Nacional de Colombia.
- Rivero, C. and Marrero, M. (2017) Cálculo de Huella Ecológica en el ciclo de vida para la fase de urbanización de un conjunto habitacional en Chile, bajo el modelo ARDITEC.
- Robayo Salazar, A. et al. (2015) Los residuos de la construcción y demolición en la ciudad de Cali: un análisis hacia su gestión, manejo y aprovechamiento, 19(44), pp. 157–170.
- Sepúlveda Mejía, J. A. (2021) Estudio técnico, económico y normativo para el aprovechamiento de residuos de construcción y demolición (RCD) en un proyecto de vivienda. Pontificia Universidad Javeriana Cali.
- Solís Pérez, W. (2021) Evaluación ambiental de dos sistemas constructivos en viviendas de interés social: estudio de caso. Pontificia Universidad Javeriana Cali.
- Solís Pérez, W., & Otálvaro Calle, I. F. (2025). Impacto ambiental en dos sistemas constructivos para viviendas de interés social a partir del presupuesto: un análisis comparativo en San Andrés de Tumaco. *Revista Ciencia Latina*, 8(6), 5428–5446. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i6.15268
- Solís-Guzmán J, Marrero M, Montes-Delgado MV, Ramírez-de-Arellano A. A. (2009). Spanish model for quantification and management of construction waste. *Waste Manage*;29: pp. 2542–2548.

- Solís-Guzmán, J. (2011). Metodología para determinar la huella ecológica de la construcción de edificios de uso residencial en España. En Actas del I Congreso Internacional de Construcción Sostenible y Soluciones Eco-eficientes (pp. 369–392). Sevilla, España.
- Trujillo Vargas, K. L. and Quintero Vargas, A. P. (2021) Análisis del manejo de Residuos de Construcción y Demolición RCD y sostenibilidad en la construcción en Bogotá D.C.
- Varela M., Rodríguez J.P., (2014). Estimación de generación y composición de residuos de construcción en la ciudad de Villavicencio. Universidad Santo Tomás. V Congreso Internacional de Ingeniería Civil.
- Wackernagel, M. and Rees, W. E. (1996) Our ecological footprint: reducing human impact on the earth. New Society Publishers.
- WWF. (2006). Informe Planeta Vivo 2006. Fondo Mundial para la Naturaleza. Recuperado de https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/living_planet_report.pdf

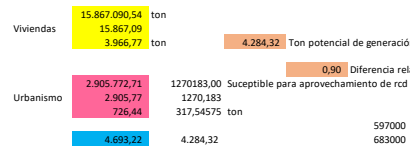
PROYECCIÓN DE LA GENERACIÓN DE RCD - PROYECTO MIRA SOL II
ESTUDIANTE: ISABEL CRISTINA POTES CASAS

No ítem	ACTIVIDAD - DESCRIPCIÓN	PESO (KG)	PORCENTAJE	PORCENTAJES REPRESENTATIVOS	ÍNDICES DE GENERACIÓN DE RCD		
					IGRv	IGRw	WGR
1 LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO							
1.01	LOCALIZACION VT - CIMENTACION	451.515,46					
1.02	REPLANTEO MUROS OBRA NEGRA - CIMENTACION	188,50					
1.03	REPLANTEO MUROS ACABADOS - ACABADOS	17.568,92					
	TOTAL	469.272,87	2%	2%			
2 MOVIMIENTO DE TIERRAS OBRA NEGRA							
2.01	RIEGO CON CAL AL 5% EN VOLUMEN - CIMENTACION	38.098,09					
2.02	RELLENO MANUAL CON ROCA MUERTA-COMPACTO_VT - CIMENTACION	1.431.017,56					
	TOTAL	1.469.115,65	8%	8%			
3 CIMENTACIÓN							
3.01	VIGA DE CIMENTACION PARA CASA H PROM =30CMS	615.588,41					
3.02	VIGA DE CIMENTACION MURO ANTEIARDIN	17.247,51					
3.03	CONTRAPISO E=7CMS_3000 psi	752.255,07					
3.04	CONTRAPISO DE PROTECCIÓN E=5 CM	229.124,45					
3.05	VIGA DE CIMENTACION PARA PATIO H PROM =30CMS	136.353,64					
3.06	VIGA DE CIMENTACION PARA PARA PATIOS H PROM =30CMS	-					
3.07	MURO ENTRE PATIOS 0.00 < H < 0.30	67.917,43					
3.08	MURO ENTRE PATIOS 0.30 < H < 0.60	81.306,01					
3.09	MURO ENTRE PATIOS 0.60 < H < 0.90	95.621,64					
3.1	MURO CONCRETO CICLOPEO 1500 PSI RELAC.60C/40P	5.002,60					
3.11	MURO CONTENCIÓN ENTRE PACHAS 0.90 < H < 1.20	14.854,82					
	TOTAL	2.015.271,58	11%	11%			
4 ESTRUCTURA							
4.01	PLACA ENTREPISO E=0.10 SOBRE MUROS DE CONCRETO 3.000 psi (SILO)	2.471.873,27					
4.02	ESCALERA EN CONCRETO CASA	563.869,29					
4.03	CINTA AMARRE ESCALERA 0.12X0.2	47.173,06					
4.04	VIGA DESCOLGADA 8 X 30	-					
4.05	CINTA DE REMATE 10X12CM	34.709,21					
	TOTAL	3.117.624,82	17%	17%			
5 MAMPOSTERIA							
5.01	MURO "ESTRUCTURAL" EN BLOQUE FACHADA	958.582,55					
5.02	MURO "ESTRUCTURAL" BLOQUE INTERIORES	2.205.650,57					
5.03	CULATAS CASA EN BLOQUE ESTR FACHADA	67.451,88					
5.04	CULATAS CASA EN BLOQUE ESTRUCTURAL INTERIORES	191.826,72					
5.05	BLOQUE VIGA	500.596,42					
5.06	DMTEL LADRILLO EN PIÑA	46.189,52					
5.07	JUNTA DE AISLAMIENTO	8.949,78					
5.08	DOVELAS CON REFUERZO BLOQUE PARA BLOQUE ARCILLA SIN ANCLAJE	510.772,69					
5.09	DOVELAS NO REFORZADA PARA BLOQUE DE ARCILLA SIN ANCLAJE	315.587,66					
	TOTAL	4.805.607,79	26%	26%			
6 SISTEMAS LIVIANOS							
6.01	MURO SUPERBOARD 1 CARA (8 MM)	4.375,74					
6.02	TAPA EN BOARD	1.661,89					
6.03	BUTTRON EN SUPERBOARD 2 CARAS CON PINTURA	10.735,24					
6.04	ESTRIA PLASTICA	2.392,30					
6.05	MUROS TERMO-ACUSTICO EN PANEL YESO 1 CARA	2.249,47					
	TOTAL	21.414,64	0%				
7 PREFABRICADOS / ACCESORIOS							
7.01	ALFALIA EN CONCRETO PATIO	39.705,40					
7.02	ALFALIA EN CONCRETO CULATA	7.792,18					
7.3	MOCHETA EN CONCRETO PARA DIVISION DE DUCHA						
	TOTAL	47.497,57	0%				
8 REPELLOS							
8.01	REPELO CARTERAS EN BLOQUE ARCILLA	17.230,57					
8.02	GOTERO EN VOLADIZO	11.258,82					
8.03	PICADA Y CORRIDA DE ESTRIA DOBLE	1.196,33					
8.04	REPELO BORDE LOSA	2.196,24					
	TOTAL	31.881,96	0%				
9 INSTALACIONES SANITARIAS							
9.01	SOPORTE DE TUBERIA	1.177,91					
9.02	INSTALACIONES SANITARIAS	32.743,96					
9.03	INSTALACIONES AN Y ALL EN TIERRA APTO	145.766,67					
9.04	MOV. DE TIERRAS INST. SANITARIAS Y PLUVIALES	1.717.818,25					
9.05	BAJANTE EXTREMO LISO BLANCO	610,73					
	TOTAL	1.898.117,52	10%	10%			
11 INST. HIDRAULICAS A.FRIA							
11.01	INSTALACIONES HIDRAULICAS AGUA FRIA-REDES HIDROSANITARIAS	3.431,82					
11.02	VALVULA DE REGULACION DE 1/2"	321,38					
11.03	REPARACIONES HIDROSANITARIAS	2,48					
11.04	MATERIAL HIDROSANITARIAS POR DESCUENTO A CONTRATISTA	22,69					
	TOTAL	3.778,37	0%				
12 INST. HIDRAULICAS A.CALIENTE							
12.01	INSTALACIONES HIDRAULICAS A.C APTO	1.304,52					
	TOTAL	1.304,52	0%				
13 INSTALACIONES ELECTRICAS INTERNAS							
13.01	INSTALACIONES ELECTRICAS	17.832,00					
13.02	ALAMBRADE ELECTRICA	37.970,71					
13.03	APARATEADA ELECTRICA	1.052,81					
13.04	DESALAMBRADE ELECTRICA - ARQUEO	286,12					
	TOTAL	57.141,65	0%				
14 CUBIERTAS							
14.01	CUBIERTA CON TEJA DE FIBROCEMENTO	77.065,78					
14.02	ESTRUCTURA METALICA DE CUBIERTA	19.645,56					
14.03	CANALETA EN LAMINA	14,03					
14.04	ENCOROCE DE CUBIERTA CON MEZCLA	1.169.369,00					
14.05	SOLAPA METALICA	25,08					
14.06	SIFÓN DE VENTILACIÓN BAÑO	66,26					
	TOTAL	1.266.185,71	7%	7%			
15 CIELOS FALSOS							
15.01	CIELO FALSO EN PANEL YESO M2	952,08					
15.02	CIELO FALSO EN PANEL YESO X ML	417,55					
15.03	CIELO FALSO EN PANEL YESO M2 INCLINADO	7.446,84					
15.04	ESTRIA PLASTICA PARA CIELO PANEL YESO	506,24					
	TOTAL	9.322,72	0%				
16 PISOS							
16.01	MORTERO PISO	143.149,22					
16.02	PISO GNAL TABLETA ALFA SAHARA_CAMBIAR FICHAS DE ACUERDO A ESP	4.641,84					
16.03	ENCHAPE ESCALERA	22.327,81					
16.04	POYO COCINA/CLOSETH_VT	103.265,75					
16.05	SOBRE PISO BAÑO PPAL Y VESTIER	157.006,93					
16.06	GUARDAESCOBA CERAMICA PLAZA BEIGE	5.153,30					
16.07	PISO GNAL CERAMICA PLAZA BEIGE 57.5 X 57.5	32.917,60					
16.08	PISO BAÑO ALC PPAL ARUBA ARENA 33.8*33.8 CM	533,16					
16.09	PISO BAÑO ALCORAS MIKONOS ARD BEIGE 33.8*33.8 CM	430,59					
16.1	INTERVENCION CONTRATISTA ALZATE ENCHAPE	166,23					
	TOTAL	469.592,43	3%	3%			
17 ENCHAPES							
17.01	ENCHAPE FACHALETA LADRILLO (PIÑA)	26.275,06					
17.02	ENCHAPE BORDE LOSA BLOQUE ESTRUCTURAL (ML)	18.697,35					
17.03	ENCHAPE EN LADRILLO MUROS DE CONTENCIÓN	16.671,79					
17.04	ENCHAPE CERAMICA VALENCIA 20.5x30.5 CM	3.201,94					
17.05	ENCHAPE CERAMICA SALMA MATE 25X43	1.645,38					
17.06	ENCHAPE MOSAICO NUEVO EKKO MULTICOLOR	543,27					
17.07	ENCHAPE CERAMICA SALMA MATE ML	758,52					
17.08	ENCHAPE M2 MUROS OFICIOS OTUN BLANCO	2.344,82					
17.09	ENCHAPE MIKONOS ARD BEIGE 33.8*33.8 CM	2.146,83					
17.1	ENCHAPE MIKONOS ARD BEIGE ML 33.8*33.8 CM	1.195,11					
17.11	ENCHAPE ANDINO SUPER CHOCOLATE 33.8*33.8 CM	1.831,76					
17.12	ENCHAPE MOSAICO SANTA BARBARA M2 30*30 CM	221,34					
17.13	ENCHAPE CERAMICA VALENCIA ML	213,30					

11.836.621,71
11.836,62
2.959,16

TOTAL	75.746,47	0%
18 IMPERMEABILIZACIONES		
18,01 IMPERMEABILIZACION BAÑOS_VT	7.662,80	
18,02 IMPERMEABILIZACION PERIMETRAL IGOL DENSO_VT	488,84	
18,03 LAVADA E IMPERMEABILIZACION DE FACHADAS 10 AÑOS	3.221,89	
TOTAL	11.373,53	0%
19 PINTURA		
19,01 RELLENO, ESTUCO Y PINTURA MUROS (S.INDUSTRIALIZADO)	25.832,63	
19,02 RELLENO, ESTUCO Y PINTURA MUROS (PRIMERA MANO)	9.946,26	
19,03 RELLENO, ESTUCO Y PINTURA CIELOS (S.INDUSTRIALIZADO)	7.256,34	
19,04 RELLENO, ESTUCO Y PINTURA CIELOS (PRIMERA MANO)	1.766,43	
19,05 RELLENO, ESTUCO Y PINTURA (S.INDUSTRIALIZADO) (30-60) cm	1.353,73	
19,06 RELLENO, ESTUCO Y PINTURA (S.INDUSTRIALIZADO) < 30 cm	3.451,59	
19,07 RELLENO, ESTUCO Y PINTURA (PRIMERA MANO) (30-60) CM	745,50	
19,08 RELLENO, ESTUCO Y PINTURA (PRIMERA MANO) < 30 CM	1.306,90	
19,09 RELLENO Y GRANIPLAST EXTERNO PARA MAMPOSTERIA	16.948,65	
19,1 RELLENO Y GRANIPLAST X ML	-	
19,11 HERRAMIENTA PARA RELLENO Y PINTURA	147,00	
19,12 REPROCESOS Y GRANIPLAST DEL CIELO POR ERROR COMERCIAL	0	
TOTAL	68.755,03	0%
20 VENTANERIA ALUMINIO Y PVC		
20,01 PUERTA VENTANA SALA-COMEDOR (2.54*2.22)	990,96	
20,02 VENTANA ALCOBA PPAL (1.52*1.67)	459,82	
20,03 VENTANA ALCOBA 1 (1.35*1.67)	434,25	
20,04 VENTANA ALCOBA 2 (1.35*1.67)	411,35	
20,05 VENTANA ZONA DE OFICIOS (0.9*1.23)	212,19	
20,06 VENTANA BAÑO ALCOBA PPAL (0.62*0.55)	73,48	
20,07 REJILLA BAÑO SOCIAL (0.3*0.3)	209,80	
20,08 REJILLA BAÑO ALCOBAS (0.6*0.6)	13,50	
20,09 PROVISIONAL PUERTA VENTANA Y REPOSICION DE VIDRIOS	-	
TOTAL	2.805,34	0%
21 CARPINTERIA METALICA / ALUMINIO		
21,01 PUERTA ACCESO METALICA	20.275,65	
TOTAL	20.275,65	0%
22 CERRADURAS Y ACCESORIOS		
22,01 CERRADURA ALCOBA	19,80	
22,02 CERRADURA BAÑOS	23,10	
22,03 TOPE PUERTA	0,98	
TOTAL	43,88	0%
23 VIDRIOS / ESPEJOS Y MARCOS		
23,01 ESPEJO T2	13,00	
23,02 DIVISION DUCHA BATIENTE BAÑO DE ALCOBAS	675,00	
TOTAL	688,00	0%
24 PORCELANA SANITARIA / APARATOS DE BAÑOS / ACCESORIOS		
24,01 COMBO BAÑO ALCOBA PRINCIPAL	213,71	
24,02 CAJA LLAVES LAVADORA	254,00	
24,03 JUEGO LLAVES LAVADORA	63,58	
24,04 CAJA LLAVES DE PASO	51,22	
24,05 LLAVE CROMADA	106,71	
24,06 MESON BAÑO SOCIAL	7,96	
24,07 MESON BAÑO ALCOBA PRINCIPAL CREMA SICILIA	7,53	
24,08 REJILLA PLASTICA DE PISO	5,61	
24,09 COMBO BAÑO SOCIAL	223,06	
24,1 GRIFERIA DUCHA MEZCLADORA MONOCONTROL KORAL	612,60	
24,11 COMBO BAÑO ALCOBAS	324,23	
24,12 MESON BAÑO DE ALCOBAS CREMA SICILIA	9,28	
24,13 CAJA LLAVE DE GAS - ESTRUCTURA	33,27	
TOTAL	1.912,76	0%
25 APARATOS DE COCINA Y OFICIOS		
25,01 LAVAPLATOS EN ACERO INOXIDABLE SOCODA 62*48	57,57	
25,02 GRIFERIA LAVAPLATOS	34,50	
25,03 LAVADERO - ESTRUCTURA	1.733,55	
25,04 ESTUFA	105,00	
25,05 HORNO	269,00	
25,06 CAMBANA	50,00	
25,07 PATA MESON AUXILIAR DE COCINA EN QUARTZTONE CAFE EXPRESSO	10,19	
25,08 MESON BARRA CAVA DE COCINA QUARTZTONE CAFE EXPRESSO	9,84	
25,09 MESON DE COCINA EN GRANITO CHOCOLATE + SALPICADERO 20CM COCINA	28,15	
25,1 LAVATRAPERO	62,30	
TOTAL	2.360,09	0%
26 EQUIPOS ESPECIALES / TRANSPORTES		
TRANSPORTE GENERAL DE EQUIPOS POR CASA	-	
CONSUMO COMBUSTIBLES Y LUBRICANTES	-	
27 ASEO Y DETALLADO		
27,1 RESANES - OBRA GRIS	1.289,50	
27,2 ASEO GENERAL O.N - OBRA GRIS	112,00	
27,3 ASEO FINAL VIVIENDA ACABADOS - ACABADOS	0	
TOTAL	1.401,50	0%
28 PRELIMINARES		
28,1 CERRAMIENTO PROVISIONAL EN LAMINA - CAMPAMENTO	281.544,47	
28,2 PROVISIONAL HIDROSANITARIA - CAMPAMENTO	521,39	
28,3 Provisional electrica - CAMPAMENTO	344,96	
28,4 CONSTRUCCION CAMPAMENTO Y CERRAMIENTO PROV	100,98	
TOTAL	282.511,81	2%
29 ZONAS VERDES (PARQUES)		
29,1 EMPRADIACION Y NIVELACION ZONAS VERDES	0	
29,2 SWINGLIA - OBRAS EXTERIORES	335,37	
29,3 RELLENO A MAQUINA CON MATERIAL DE SITIO (INC. TRASIEGO)	0	
29,4 CONTRAPISO Y GRAVA PATIOS ZONAS VERDES	25.298,40	
29,5 FILTROS - ZONAS VERDES	0	
TOTAL	25633,77	0%
30 VIAS, ANDENES Y SARDINELES		
30,1 ANDEN EN CONCRETO E=10 CM 3.000PSI_VT - OBRAS EXTERIORES	193.021,25	
30,2 PARQUEADERO EN GRAVA	473.881,00	
30,3 BORDILLO PARA APOYO DE REJA	6.479,30	
30,4 RELLENO A MAQUINA CON MATERIAL DE SITIO (INC. TRASIEGO)	0	
TOTAL	673.181,55	4%
31 INST. ELECTRICAS Z.COMUN		
31,1 RED DE BAJA TENSION	21.828,87	
31,2 INST. ELECTRICA EXTERIORES	782,41	
31,3 OBRAS CIVILES PARA INSTALACIONES ELECTRICAS	368,00	
31,4 MALLA EN TIERRA	63,84	
31,5 ALUMBRADO PUBLICO	6.354,24	
31,6 ACOMETIDA DESDE CONTADOR A CASAS	13.572,89	
TOTAL	42.970,25	0%
32 RED ALCANT. SANITARIO INTERNO		
32,1 LOCALIZACION - RED SANITARIA	315,37	
32,2 LECHO DE GRAVA - M3	179.263,40	
32,3 SUMINISTRO E INSTALACION TUBERIA D=6"	11.425,18	
32,4 SILLETA NOVAFORT 200x160 (8x6)	162,73	
32,5 CAJA DOMICILIARIA 90 X 60	177.984,00	
32,6 LIMPIEZA TUBERIA - RED SANITARIA	0	
TOTAL	369.150,68	2%
33 RED ALCANT. PLUVIAL INTERNO		
33,1 CAJA DOMICILIARIA 90 X 60	172.392,93	
33,2 LOCALIZACION	383,20	
33,3 LECHO DE GRAVA - M3	186.003,00	
33,4 LIMPIEZA TUBERIA	-	
33,5 SUMINISTRO E INSTALACION D=6"	8.526,01	
33,6 KIT SILLETA NOVAFORT 250x160 (10x6)	338,01	
33,7 KIT SILLETA NOVAFORT 315x160 (12x6)	14,06	
33,8 SILLETA NOVAFORT 355x160 (14x6)	27,07	
33,9 SILLETA NOVAFORT 400x160 (16x6)	19,31	
33,10 SILLETA NOVAFORT 450x160 (18x6)	20,81	
33,11 SILLETA NOVAFORT 500x160 (20x6)	1,36	

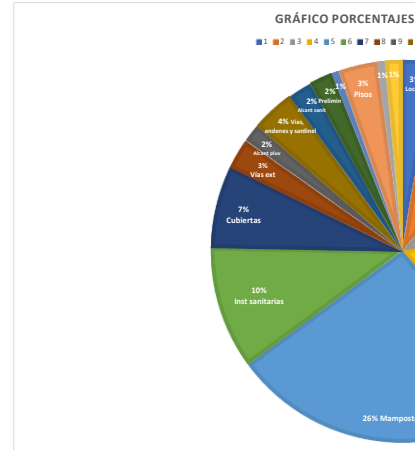
8988,144	2247,036	CRISTINA
	2006	Proyección de rcd Cristina
8.988 ton peso total del proyecto de Cristina		



33,12	ADAPTADOR INSERTA TEE	29,51		
	TOTAL	367.755,27	2%	2%
	34 RED DE ACUEDUCTO INTERNA			
34,1	MEDIDOR DE AGUA PARA VIVIENDA	1.238,39		
34,2	LECHO DE ARENA	27.081,00		
	TOTAL	28.319,39	0%	0%
	35 RED CONTRA INCENDIO			
35,1	DETECTOR DE HUMO (RCI) - DETECCION Y ALARMA	228,60		
	TOTAL	228,60	0%	0%
	36 RED DE GAS			
36,1	REGATA PARA GAS - OBRAS EXTERIORES	1,04		
	TOTAL	1,04	0%	0%
	37 CERRAMIENTOS			
37,1	CERRAMIENTO EN REJA ANTEJARDIN	-		
	TOTAL	-		
	38 VARIOS URBANISMO			
38,1	CENTROS DE MEDICION SERVICIOS PUBLICOS	109.331,62		
38,2	NOMENCLATURA VIVIENDA	93,80		
38,3	NOMENCLATURA CALLE	10,80		
	TOTAL	109.436,22	1%	1%
	39 VIAS EXTERNAS			
39,1	LOCALIZACION VT	40.537,91		
39,2	SARDINEL TRAPEZOIDAL H=0,45 M, BASE 25, CORONA 15	96.103,80		
39,3	ANDEN TIPO MECEP - URBANISMO	215.127,16		
39,4	RAMPA VEHICULAR 4000 psi	90.286,95		
39,5	CARPETA ASFALTICA 3" (TODO COSTO)	-		
39,6	ANDEN TIPO MECEP 4000 psi	154.946,55		
	TOTAL	597.002,36	3%	3%
	40 RED ALCANT. SANITARIO EXTERNO			
40,1	LOCALIZACION - RED SANITARIA	190,29		
40,2	LECHO DE GRAVA - M3	98.604,00		
40,3	SUMINISTRO E INSTALACION D=8" NOVAFORT	672,54		
40,4	CAMARA H=2,0m - 2,5m -	23.645,61		
40,5	LIMPIEZA TUBERIA	-		
	TOTAL	123.112,44	1%	1%
	41 RED ALCANT. PLUVIAL EXTERNO			
41,1	LOCALIZACION	210,76		
41,2	LECHO DE GRAVA - M3	218.987,20		
41,3	SUMIDERO LATERAL 1.5 m TIPO B (REJILLA CONCRETO)	4.252,16		
41,4	SUMINISTRO E INSTALACION TUBERIA D=14" Novafort	403,35		
41,5	SUMINISTRO E INSTALACION TUBERIA D=16" Novafort	125,47		
41,6	CAMARA H=1,5 - 2,0m	36.460,27		
41,7	LIMPIEZA TUBERIA	-		
41,8	SUMINISTRO E INSTALACION TUBERIA D=18" Novafort	111,51		
	TOTAL	260.550,72	1%	1%
	42 RED DE ACUEDUCTO EXTERNA			
42,1	LOCALIZACION	592,88		
42,2	LECHO DE ARENA	20.893,00		
42,3	SUM. E INST. TUBERIA PEAD D=4"	84,11		
42,4	SUM. E INST. TUBERIA PEAD D=6" PN-10	378,00		
42,5	CODO PEAD 4"x22,5 PN-10	998,91		
42,6	TEE PEAD 4" PN-10	710,22		
42,7	TEE PEAD 8"x4" PN-10	710,01		
42,8	ANCLAJES EN CONCRETO PARA ACCESORIOS	150,00		
	TOTAL	24.517,13	0%	0%

TOTAL DENSIDADES 18.772.863,25 100% 97%

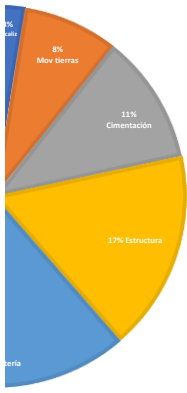
Masa total	18.772,86	Toneladas				
Se obtuvo este valor con el WGR 0,250 en la tesis de Cristina	4.693,22	Megatoneladas				
contaminados	0,127	2384,2			Res 0472	2.252,74
Aprov. como agregados	0,059	1107,6	2309,1	51%		3.379,12
Aprov. Mixtos	0,061	1145,1		24%		4.880,94
Aprov. Otros usos	0,003	56,3		1%		



24,52 6,12928175

REPRESENTATIVOS

10 11 12 13 14 15 16



ESTIMACIÓN DE LA CANTIDAD DE MATERIALES DENTRO DE LAS ACTIVIDADES REPRESENTATIVAS											
PROYECTO: MIRA SOL II											
CANTIDAD DE MATERIALES POR ACTIVIDAD											
	MAMPOSTERIA	ESTRUCTURA	CIMENTACION	INSTALACIONES SANITARIAS	MOVIMIENTO DE TIERRA	VIAS, ANDENES Y SARDINEL	PISOS	RED ALCANT. SANITARIO INTERNO	VIAS EXTERNAS	TOTAL	TOTAL PESO PROYECTO
PESO ESTIMADO POR ACTIVIDAD	4.805.607,79	3.117.624,82	2.015.271,58	1.898.117,52	1.469.115,65	673.181,55	469.592,43	369.150,68	597.002,36	#####	#####
MATERIALES	PESO (KG)	PESO (KG)	PESO (KG)	PESO (KG)	PESO (KG)	PESO (KG)	PESO (KG)	PESO (KG)	PESO (KG)	TOTAL	
ACERO	50257,92	32.327,98	31429,69	1034,0		299,19	106,44	2905,74	70,39	118431,35	
GRAVA TRITURADA		8731,60	109681,70			1430929,50	473681,00	105360,20	252801,40	13695,00	2394880,40
ARIDOS	11220,00	9758,00	93432,00	1721794,00		38098,09		227918,80	80223,00	39797,00	2222240,89
CEMENTO	2700,00	2630,05	25447,14	4097,00				51565,63	21180,68	4125,87	111746,37
HIERRO GALVANIZADO	172,46	39.892,11	17053,03				1290,19	2740,93		2087,26	63235,98
ICPOR		66,00	1394,45								1460,45
LADRILLO ESTRUCTURAL	2210156,44						29229,79				2239386,23
MADERA	57486,74	32.307,21	34603,81						323,13	7239,52	131960,41
MORTERO	1283422,50						9132,55			38997,00	1331552,05
CONCRETO 3000 PSI	1041878,42	2946443,9	1659433,45	100830,04		197688,44				473153,94	6419428,22
PINTURA		585,74		692,81		209,23				425,65	1913,43
PVC				45387,24							45387,24
TRANSPORTE DE CARGA		11	13,38	125,20		88,06	253,35		24,37	23,94	543,10
PORCELANA-CERAMICA										28395,78	28395,78
15110561,89											

MO

Tipo de comida	Descripcion	% alimentos y porcentajes													
		Con recipit	Sin recipie	Peso Aliment	Arroz con r %	papa amar %	ensalada %	Lentejas %							
Plato almuerzo	pollo , ensalada, lentejas, arroz, platanos, condimentos	1222,4	760,5	461,9											
Plato almuerzo	pollo , ensalada, lentejas, arroz, platanos, condimentos	1258,6	739,9	518,7											
Plato almuerzo	Albondigas carne, zanahorai, y papas, condimentadas	1147,1	539,3	607,8											
Plato almuerzo	arroz con pollo, papa amarilla cocia, y ensalda condimentado	1209,5	731,9	477,6	344,8167	72,19779	78,9	16,5201	62,3	13,04439				486,0167	
Plato almuerzo	arroz con pollo, papa amarilla cocia, y ensalda	1240,7	742,9	497,8	344,8167	69,26579	78,9	15,84921	62,3	12,51465				-11,8	
Plato almuerzo	cerdo, arroz, lentejas, papa amarilla, ensalada	1222,1	742,9	479,2			78,9	16,46437	62,3	13,00038	204,8	42,73641		-133,2	
Plato almuerzo	cerdo, arroz, lentejas, papa amarilla, ensalada	1158,8	727,8	431			78,9	18,30626	62,3	14,45476	204,8	47,5174		-85,0	
Plato almuerzo	pollo desmechado, arroz, lentejas, papa amarilla, ensalada	1332,8	742,9	589,9											
											13,25354	109	0,21457		

1 Number of standard deviations, N, in expected sample range as function of number of measurements, n (after Burlington and May, 1978)

n	N
2	1,128
3	1,693
4	2,059
5	2,326
6	2,534
7	2,704
8	2,847
9	2,970
10	3,079
15	3,472
20	3,735
30	4,090

prom	507,99
desv	61,75
Cov	12,16
n	8,00
N	2,85
desv	62,10
Coeficient	12,22

the above discussion it is implicitly assumed that random variables are normally

Tipo de comida	Descripcion	Con recipiente (g)	Sin recipiente (g)	Peso Alimento (g)
bebida	lulo	232,5	6,3	226,2
bebida	mango	236,5	6,65	229,9
bebida	mango	248,2	7	241,2
bebida	lulo	230,6	6,3	224,3
bebida	lulo	221	6,3	214,7
bebida	lulo	221,8	6,3	215,5
bebida	uva	210,1	6,7	203,4
bebida	aguapanela	229	6,2	222,8
bebida	mango	208,6	6	202,6

prom	220,1	
desv	12,43914632	Teorico
Cov	5,65	
n	9	
N	2,97	
desv	12,996633	Definitivo Experimental
Coeficiente variaci	5,90591992	

1 Number of standard deviations, N , in expected sample range as function of number of measurements, n (after Burlington and May, 1978)

n	N
2	1.128
3	1.693
4	2.059
5	2.326
6	2.534
7	2.704
8	2.847
9	2.970
10	3.079
15	3.472
20	3.735
30	4.090

the above discussion it is implicitly assumed that random variables are normally

Huella de Alimentos	Porcentaje	Rendimiento (ha/kg) Colombia		Valle del Cauca			FE	Alimento ha/kg	kg de cada alimento		
		Promedio	Desviación estándar	Número de datos	Promedio	Desviación estándar				Número de datos	
											Consumo alimentos Colombia día (kg)
Carnes	21						0,49	0,015934176	0,10668	0,0018408	
Ensalada	13										
Tomate	6	77174	36217	206	42320	13005	13	2,21	1,29577E-05	0,03048	1,17E-06
Lechuga	3	16484	8747	192	20677		2	2,21	6,06649E-05	0,01524	2,738E-06
Zanahoria	4	19666	10447	189	12790	10450	17	2,21	5,08492E-05	0,02032	3,06E-06
Carbohidrato	66										
Arroz	20	4928	1172	245	4629	1147	13	2,21	0,000202922	0,1016	6,105E-05
Papa	14	15969	6753	235	21220	6840	17	2,21	6,26213E-05	0,07112	1,319E-05
Papa criolla	6	13370	4889	132	15000		4	2,21	7,47943E-05	0,03048	6,751E-06
Plátano	6	8216	3521	539	9559	3720	14	2,21	0,000121714	0,03048	1,099E-05
Lenteja		2000		2					0,0005		
Frijol	20	1247	560	410	1410		5	2,21	0,000801925	0,1016	0,0002413
Arveja		1629	657	278	1635	651	17		0,000613874		
Plato promedio					Diario	En obra	hag/comida				10% Fósil
prom	508,00				2,547	1,698					0,0023991
desv	61,751449				3,84	2,688	0,0807419				23,991071
Cov	12,155996										
n	8										
N	2,847										
desv	62,100457										
Coefficiente variac	12,2247										
Proteínas	Kilos de alimento por kilos de proteína										
	Minimo	Máximo	Animal por hectá	Peso animal	kg/ha	Porcentaje a	ha/kg ponder	Alimento para el anir	ha en alimen	Alimento ponderado	
Bovina	7		0,65	450	292,5	0,0034188	14	0,0004786	0,1	0,014	
Porcina	1,5	2,5	100000	100	10000000	0,0000001	38	3,8E-08	1100	0,0018182	0,0006909
Pollo	1,5	2	200000	2,5	500000	0,000002	48	9,6E-07	1100	0,0015909	0,0007636
								0,0004796		0,0154545	
								1 kg de proteína animal requiere		0,0159342 ha/kg	
										0,0627582 ton/ha	

Huella movilidad

Modo de transporte

		HE (ha/pasajero)	Preferencias Cali
Carro	3,64	0,0000364	61%
Autobus	2,93	0,0000293	29%
Moto	2,93	0,0000293	10%

Para el caso de obra Autobus y Moto 0,0000293

Distancia media de viaje (km) 12

Días de obrero 4612

Número de viajes 9224

HE movilidad obreros 4,34583226

Huella Ecológica Esc - 1

Composición	%	hag/ton
Metal	40	
Cartón	1,7	0,7404
Madera	13	0,2326
Icopor	0,5	0,385
Plástico	3,8	0,385
RCD	41	0,0577

Promedio ponderado RSU 0,312525263

Descripción Cantidad (ton) HE RCD (hag)

Tierras de excavación (ton)	574,12	33,1	
RCD contaminados (ton)	2015,1	629,8	
RCD potencialmente usables (ton)	2104	121,4	0,11207667
Total residuos de construcción (ton)	4693,22	784,3	0,25000022

18772,86

Transporte

Distancia (km)	22	Absorción de océanos [%] A _{OC}	0
Cantidad (tkm)	103251	Absorción de bosques [ton CO2/ha] A _B	3,59
FE Transporte (kgCO2 eq / tkm)	0,132	Factor de equivalencia absorción de carbono [hag/ha]	1,26
kg CO2 eq	13629	Huella por transporte de RCD	4,78

Huella total RCD (hag) 789,1

Huella Ecológica ESC - 2

Composición	%	hag/ton
Metal	40	
Cartón	1,7	0,7404
Madera	13	0,2326
Icopor	0,5	0,385
Plástico	3,8	0,385
RCD	41	0,0577

Promedio ponderado RSU 0,312525263
Cantidad (ton) HE RCD (hag)

Tierras de excavación (ton)	574,12	33,1
RCD contaminados (ton)	2015,1	629,8
RCD potencialmente usables (ton)	931	53,7
Total residuos de construcción (ton)	3520,22	716,6

Aprovechamiento de RCD [25%] (ton) 1173 2347,22

Transporte		Absorción de océanos [%] A _{OC}	0
Distancia (km)	22	Absorción de bosques [ton CO2/ha] A _B	3,59
Cantidad (tkm)	51638,84	Factor de equivalencia absorción de carbono [hag/ha] FI	1,26
FE Transporte (kgCO2 eq / tkm)	0,132	Huella por transporte de RCD	2,39
kg CO2 eq	6816		

Separar y limpiar

Descripción	Und	Rendimiento	Potencia (kW) Eelec	Huella (hag)
Minicargador	hora	0,071428571	48,47	0,0019
Ayudante	día	0,0625	0,00004897	0,244
		0,0625	1,35999E-08	1,93209E-07
				8,49994E-10 Alimentación
				0,001702064 hag/m3
			Peso unitario RCD (ton/m3)	1,08
			RCD (m3)	1086
			hag	1,8484414

Triturar y Clasificar

Descripción	Consumo en Rendimiento	Potencia (kW) Eelec	Huella (hag)
Tolva	11 1,730103806	6,358	0,0019
Trituradora de mandíbula	5,5 1,730103806	3,179	0,0019
Banda transportadora	3 1,730103806	1,734	0,0019
Rodillo magnético	9,51 1,730103806	5,49678	0,0019
Cribadora	15 1,730103806	8,67	0,0019
			hag/m3 0,021633796
			RCD (m3) 1086
			hag 23,49430232

Huella total RCD (hag) 746,2

Huella Ecológica ESC - 3

Composición	%	hag/ton
Metal	40	
Cartón	1,7	0,7404
Madera	13	0,2326
Icopor	0,5	0,385
Plástico	3,8	0,385
RCD	41	0,0577

Promedio ponderado RSU 0,312525263
 Cantidad (ton) HE RCD (hag)

Tierras de excavación (ton)	574,12	33,1
RCD contaminados (ton)	2015,1	629,8
RCD potencialmente usables (ton)	0	0,0
Total residuos de construcción (ton)	2589,22	662,9

Aprovechamiento de RCD [25%] (ton) 2104

Transporte		Absorción de océanos [%] A _{OC}	0
Distancia (km)	22	Absorción de bosques [ton CO2/ha] A _B	3,59
Cantidad (tkm)	10674,84	Factor de equivalencia absorción de carbono [hag/ha] FI	1,26
FE Transporte (kgCO2 eq / tkm)	0,132	Huella por transporte de RCD	0,49
kg CO2 eq	1409		

Separar y limpiar

Descripción	Und	Rendimiento	Potencia (kW) Eelec	Huella (hag)
Minicargador	hora	0,071428571	48,47	0,00170187
Ayudante	día	0,0625	0,00004897	1,93209E-07
		0,0625	1,35999E-08	8,49994E-10 Alimentación
				0,001702064 hag/m3
			Peso unitario RCD (ton/m3)	1,08
			RCD (m3)	1948
			hag	3,315620485

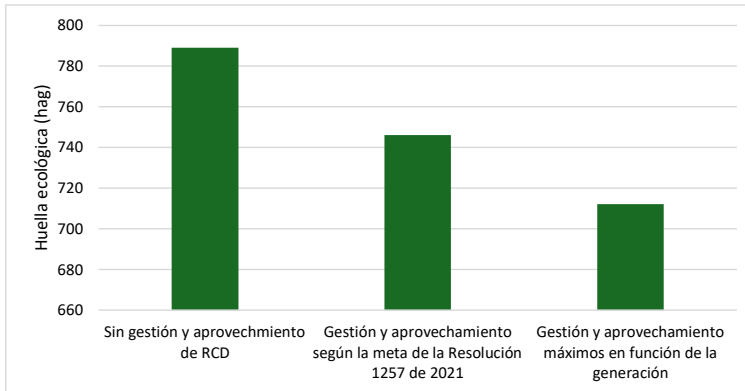
Triturar y Clasificar

Descripción	Consumo en Rendimiento	Potencia (kW) Eelec	Huella (hag)
Tolva	11 1,730103806	6,358	0,0019 0,00540722
Trituradora de mandíbula	5,5 1,730103806	3,179	0,0019 0,00270361
Banda transportadora	3 1,730103806	1,734	0,0019 0,001474696
Rodillo magnético	9,51 1,730103806	5,49678	0,0019 0,004674788
Cribadora	15 1,730103806	8,67	0,0019 0,007373482
			hag/m3 0,021633796
			RCD (m3) 1948
			hag 42,14263437

Huella total RCD (hag) 712,2

Resumen Huella Ecológica por Escenarios

Escenario	Descripción	HE RCD	
1	Sin gestión y aprovechamiento de RCD	789,083437	
2	Gestión y aprovechamiento según la meta de la Resolución 1257 de 2021	746,18343	5%
3	Gestión y aprovechamiento máximos en función de la generación	712,168399	10%



RESUMEN H. E. TOTAL POR ESCENARIOS

Escenario	Descripción	HE Materiales	HE Transporte	HE RCD	HE Consumo de agua	HE Alimentos	HE Ocupación	HE Total (hag)	Diferencia relativa	hag/m2
1	ESC-1 Sin gestión y aprovechamiento de RCD	1246	1271	789	7,E-03	15	4	3325		0,26825
2	ESC-2 Gestión y aprovechamiento según la meta de la Resolución 1257 de 20	1233	1256	746	0	15	4	3254	2%	0,26256
3	ESC-3 Gestión y aprovechamiento máximos en función de la generación	1223	1245	712	0	15	4	3198	4%	0,25804

