

**Diseño e implementación de un protocolo de interventoría para gestión integral
sostenible de obras de construcción**

Carlos Mauricio Ruiz Bastos

**Trabajo de grado para optar el título de Especialización en Interventoría y Supervisión
de la Construcción**

Director

MSc. Óscar Andrés Sánchez Caballero

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Arquitectura e Ingenierías

Especialización en Interventoría y Supervisión de la Construcción

2026

Dedicatoria

A mis padres, por ser los pilares fundamentales de mi vida y la base sólida sobre la cual he construido mi camino profesional. Gracias por ser mis primeros docentes, por enseñarme con el ejemplo, por su amor incondicional y por acompañarme en cada paso. Todo lo que hoy logro, lleva impreso su esfuerzo, su sacrificio y su fe en mí. Sin ustedes, simplemente no sería quien soy.

A mi fiel compañero James Andrés, quien, aunque ya no está conmigo físicamente, dejó una huella eterna en mi corazón. Su compañía silenciosa en mis largas jornadas de estudio, su lealtad infinita y su amor puro hicieron de este proceso un camino más llevadero. Lo extraño cada día, y este logro también es suyo.

A mis abuelos, por ser refugio, guía y sabiduría. Gracias por su apoyo inagotable, por creer en mis sueños y por estar presentes en cada etapa de mi vida. Sus enseñanzas han sido faro y fuerza en los momentos más difíciles.

Y a Sofía, mi compañera de vida y mi futura esposa. Gracias por tu amor, tu paciencia y tu presencia constante. Has sido motivación, descanso y fuerza en medio de cada reto. Este logro es también tuyo, porque contigo he aprendido que caminar acompañado siempre hace el viaje más valioso. Te amo profundamente.

Agradecimientos

La culminación de este trabajo de grado y de mi proceso de formación como especialista en Interventoría y Supervisión de la Construcción ha sido posible gracias al apoyo invaluable de diversas personas e instituciones, a quienes deseo expresar mi más profundo agradecimiento.

A la **Universidad Santo Tomás, Seccional Bucaramanga**, por abrirme sus puertas y brindarme un espacio académico de excelencia, orientado al desarrollo profesional y humano. Gracias por permitirme avanzar en este camino formativo y por ofrecerme las herramientas necesarias para fortalecer mis competencias como ingeniero civil.

A mis **docentes de formación**, quienes, tanto en los espacios virtuales como presenciales, compartieron sus conocimientos, experiencias y orientación con dedicación y compromiso. Sus enseñanzas fueron fundamentales para construir el fundamento técnico y ético que hoy sustenta mi ejercicio profesional.

A mis **compañeros de curso**, por su compañerismo, apoyo, colaboración y los valiosos aprendizajes compartidos a lo largo de este proceso. Cada discusión, trabajo y jornada académica contribuyó a enriquecer este camino que hoy culmina.

De manera especial, expreso mi gratitud a mi **docente y director de trabajo de grado, el Ingeniero Óscar Andrés Sánchez Caballero**, por su guía, su paciencia, su criterio técnico y su acompañamiento constante en el desarrollo de esta investigación. Sus observaciones y orientaciones fueron decisivas para mejorar, fortalecer y llevar este trabajo al nivel esperado.

A todos, gracias por contribuir significativamente al desarrollo de este proyecto y por ser parte esencial de esta etapa que hoy concluye con orgullo y satisfacción.

Contenido

1. Diseño e implementación de un protocolo de interventoría para gestión integral sostenible de obras de construcción.....	10
1.1 Planteamiento del problema.....	10
1.2 Justificación.....	11
1.3 Objetivos	12
2. Marco referencial	13
2.1. Marco Teórico	13
2.2. Marco Conceptual	14
2.3. Marco Legal	15
3. Metodología	17
3.1 Fase 1 – Análisis normativo (Objetivo específico 1)	18
3.2 Fase 2 – Diagnóstico de prácticas actuales (Objetivo específico 2)	18
3.3 Fase 3 – Diseño del protocolo (Objetivo específico 3).....	19
3.4. Parámetros del protocolo	22
3.5. Recolección y procesamiento de la información	24
3.6. Criterios de validación	25
3.7. Síntesis metodológica	26
3.8. Análisis y tratamiento de la información.....	26
4. Conclusiones.....	39
5. Recomendaciones	41
6. Referencias Bibliográficas.....	42

Lista de tablas

Tabla 1. <i>Protocolo Técnico de Supervisión para la Gestión de RCD</i>	20
Tabla 2. <i>Indicadores clave de desempeño (KPI) para la supervisión de RCD</i>	23
Tabla 3. <i>Criterios de validación</i>	25
Tabla 4. <i>Proyectos utilizados para la validación del protocolo</i>	27
Tabla 5. Síntesis del análisis por indicadores	32
Tabla 6. Análisis FODA del Protocolo de Supervisión	34

Lista de Figuras

Figura 1. Porcentaje de Residuos Aprovechados en los Proyectos Evaluados.....	36
Figura 2. Cumplimiento Normativo Ambiental (%).	37
Figura 3. Ahorro Económico por Valorización (%)	38

Resumen

El presente trabajo aborda la problemática de la gestión inadecuada de residuos de construcción y demolición (RCD) en proyectos de obra civil, situación que repercute directamente en el cumplimiento normativo, la eficiencia operativa y el desempeño ambiental de las construcciones. El objetivo principal es diseñar e implementar un protocolo de supervisión que oriente la gestión técnica de los residuos en campo y fortalezca el rol de la interventoría dentro de los proyectos sostenibles. La metodología utilizada es de enfoque cualitativo, descriptivo y aplicado, basada en el análisis de experiencias reales de supervisión en tres obras desarrolladas entre 2022 y 2024. Se aplicaron técnicas de observación directa, revisión documental de la normativa ambiental (Resolución 472 de 2017, Guías PGIRCD y lineamientos de Camacol) y análisis de contenido de bitácoras e informes técnicos. Estos insumos permitieron identificar debilidades en los procesos de control ambiental y diseñar herramientas de seguimiento adaptadas al contexto colombiano.

Las mejoras propuestas se enfocan en la implementación de un sistema estandarizado de control, compuesto por listas de chequeo ambientales, matrices de indicadores (KPI), formatos de inspección diaria y procedimientos unificados para la clasificación, almacenamiento y disposición de los RCD. Este proceso de estandarización busca asegurar la trazabilidad de la información, facilitar la toma de decisiones del interventor y optimizar los tiempos de supervisión. Entre los resultados esperados se incluyen el incremento del cumplimiento normativo ambiental, la reducción de los residuos enviados a disposición final, la disminución de costos por reutilización de materiales y el fortalecimiento del componente sostenible en la ejecución de obras civiles..

Palabras clave: gestión de residuos, interventoría ambiental, construcción sostenible, supervisión técnica, estandarización de procesos.

Abstract

This monograph addresses the problem of inadequate management of construction and demolition waste (C&DW) in building projects, a situation that negatively affects regulatory compliance, operational efficiency, and environmental performance. The main objective is to design and implement a supervision protocol that guides the technical management of waste on-site and strengthens the role of supervision in sustainable construction projects. The study follows a qualitative, descriptive, and applied methodology, based on the analysis of real supervisory experiences carried out between 2022 and 2024. The methods used include direct observation on construction sites, documentary review of Colombian environmental regulations (Resolution 472 of 2017, PGIRCD Guidelines, and Camacol technical standards), and content analysis of supervision logs and technical reports. These methods allowed identifying weaknesses in environmental monitoring and developing control tools adapted to national conditions.

The proposed improvements focus on implementing a standardized monitoring system, including environmental checklists, KPI indicator matrices, daily inspection forms, and unified procedures for the classification, storage, and final disposal of C&DW. This standardization process aims to ensure information traceability, facilitate decision-making for supervisors, and optimize monitoring time and resource management.

The expected results include improved environmental regulatory compliance, a reduction in waste sent to final disposal, cost savings through material reuse, and the strengthening of sustainable construction practices within civil works.

Keywords: waste management, construction supervision, sustainable building, environmental monitoring, process standardization.

Introducción

La gestión inadecuada de los residuos en los proyectos de construcción sostenible representa uno de los principales desafíos del sector en Colombia, debido a su impacto directo sobre el cumplimiento normativo, la sostenibilidad ambiental y los costos operativos de las obras. En la mayoría de los proyectos, la ausencia de protocolos claros y la limitada supervisión técnica han derivado en una baja eficiencia en la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD), afectando negativamente la trazabilidad, la reutilización de materiales y la calidad ambiental del proceso constructivo (Solís-Guzmán et al., 2019).

La creciente exigencia por edificaciones sostenibles y el cumplimiento de lineamientos ambientales, como la Resolución 472 de 2017 y las Guías para la Gestión Integral de RCD emitidas por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, demandan la implementación de metodologías estandarizadas de control y seguimiento. Estas herramientas deben integrarse a la labor de interventoría, fortaleciendo el rol del supervisor técnico como garante del cumplimiento ambiental y de la eficiencia en el uso de los recursos (Gálvez-Martos et al., 2018).

Diversas investigaciones internacionales han abordado la problemática de la gestión de residuos desde perspectivas técnicas y de sostenibilidad. Por ejemplo, Kehily y Pavia (2020) analizaron estrategias de economía circular aplicadas a la construcción en Europa, mientras que Ajayi et al. (2022) identificaron la relación entre el control de residuos y la reducción de costos en proyectos urbanos. A su vez, Akinade y Oyedele (2019) plantearon la necesidad de digitalizar los procesos de seguimiento mediante protocolos automatizados, y Lu et al. (2021) demostraron que los países con esquemas de gestión estandarizados presentan menores índices de disposición final y mayores tasas de reutilización. Estos estudios evidencian una tendencia clara: el control técnico y la supervisión ambiental son factores determinantes para la sostenibilidad de los proyectos.

No obstante, en el contexto colombiano persiste una brecha significativa entre la normatividad y la práctica en obra. Los mecanismos de supervisión ambiental aún carecen de estandarización, y la gestión de residuos depende en gran medida de la voluntad del contratista más que de un protocolo técnico institucionalizado (Camacol, 2023). De esta problemática surge la motivación de este trabajo: diseñar e implementar un protocolo de supervisión que fortalezca la gestión integral de residuos en obras de construcción sostenible, adaptado a las condiciones y exigencias nacionales.

El propósito de esta monografía es desarrollar una herramienta práctica para la interventoría, que permita controlar los residuos de manera eficiente, garantizar el cumplimiento de la normativa vigente y promover prácticas sostenibles en el proceso constructivo. El protocolo propuesto integra indicadores de desempeño (KPI), listas de verificación y procedimientos técnicos orientados al seguimiento y mejora continua del desempeño ambiental.

Aunque el concepto de gestión sostenible en obras de construcción abarca múltiples dimensiones, el presente estudio delimita su alcance al componente de gestión de residuos de construcción y demolición (RCD), el cual constituye uno de los factores de mayor impacto ambiental y operativo dentro del ciclo constructivo. Esta delimitación permite abordar de manera específica y aplicable uno de los componentes críticos de la sostenibilidad en obra.

La hipótesis de trabajo plantea que la aplicación de un protocolo de supervisión estandarizado mejora la eficiencia operativa y ambiental de los proyectos, optimizando los recursos materiales y económicos involucrados. Para comprobar esta hipótesis, se realizó una investigación aplicada con enfoque cualitativo-descriptivo, en la que se analizaron experiencias reales de obras ejecutadas entre 2022 y 2024.

Finalmente, el estudio busca aportar una herramienta de apoyo para los profesionales de la ingeniería civil y la interventoría, fortaleciendo la cultura del control ambiental en la construcción. Su implementación contribuirá no solo a la mitigación de impactos negativos, sino también al avance hacia una industria más responsable, eficiente y alineada con los principios de sostenibilidad.

1. Diseño e implementación de un protocolo de interventoría para gestión integral sostenible de obras de construcción

1.1 Planteamiento del problema

En el sector de la construcción, la generación de residuos constituye uno de los mayores desafíos ambientales y operativos que enfrenta la industria moderna. Se estima que los residuos de construcción y demolición (RCD) representan entre el 30 % y el 40 % de los desechos sólidos urbanos a nivel mundial (Lu & Yuan, 2022). En Colombia, este porcentaje ha aumentado progresivamente debido al crecimiento de proyectos de infraestructura y vivienda, sin que exista un control efectivo sobre su manejo, disposición final o aprovechamiento (Camacol, 2023).

A pesar de la existencia de la Resolución 472 de 2017, que establece los lineamientos para la gestión integral de los RCD, su cumplimiento en campo continúa siendo limitado. Los proyectos de construcción, especialmente aquellos catalogados como sostenibles, presentan deficiencias en la planificación, seguimiento y control de los residuos, debido a la falta de herramientas estandarizadas que orienten la labor de la interventoría. Como resultado, los residuos suelen ser dispuestos de forma inadecuada, se incumplen las normativas ambientales, se incrementan los costos de operación y se pierde la oportunidad de valorizar materiales reutilizables (Gálvez-Martos et al., 2018).

Los estudios recientes coinciden en que el problema no radica únicamente en la generación de residuos, sino en la ausencia de protocolos técnicos y procedimientos de supervisión que aseguren una gestión integral desde la etapa de planeación hasta el cierre de obra (Ajayi et al., 2022; Kehily & Pavia, 2020). En la práctica, la gestión ambiental suele ser tratada como un requisito administrativo más que como una actividad estratégica dentro del proceso constructivo, lo que impide garantizar la trazabilidad, la eficiencia y la sostenibilidad del proyecto.

La gestión de residuos en proyectos de construcción sostenible presenta una brecha significativa entre la normativa ambiental vigente y su aplicación práctica en obra. Aunque Colombia cuenta con instrumentos regulatorios como la Ley 99 de 1993, el Decreto 1076 de 2015 y reglamentaciones locales para el manejo de residuos, estas no se traducen en lineamientos operativos estandarizados para la interventoría. Esta ausencia de protocolos unificados limita la capacidad de seguimiento y control, genera inconsistencias en los reportes y dificulta la evaluación del desempeño ambiental. La falta de lineamientos claros ha provocado una débil articulación entre contratistas, interventores y autoridades ambientales, así como la carencia de indicadores de desempeño y la ineficiencia en los procesos de supervisión técnica, afectando directamente la gestión integral de los residuos durante la ejecución del proyecto.

1.2 Justificación

La gestión de residuos en proyectos de construcción sostenible representa un aspecto fundamental para el cumplimiento de la normativa ambiental, la eficiencia operativa y la preservación del entorno. En este contexto, se identifica la necesidad de fortalecer los procesos de supervisión ambiental en obra mediante lineamientos claros que orienten la labor de los equipos encargados del seguimiento y control.

La adecuada gestión de residuos permite optimizar recursos, reducir costos asociados con la disposición inadecuada y minimizar sanciones por incumplimiento normativo. Por tanto, este estudio plantea una propuesta metodológica orientada a sistematizar y adaptar lineamientos existentes, con el propósito de facilitar su implementación en proyectos de construcción sostenible.

El enfoque del trabajo es aplicado y se fundamenta en revisión bibliográfica, análisis normativo y reconocimiento de necesidades operativas.

Este aporte busca contribuir al mejoramiento gradual de la supervisión ambiental, promoviendo prácticas constructivas más sostenibles y coherentes con la regulación vigente. En Colombia, el sector de la construcción genera aproximadamente el 30% de los residuos sólidos no peligrosos en zonas urbanas (Minvivienda, 2022). Aunque la Resolución 472 de 2017 ha establecido avances importantes, la gestión efectiva sigue siendo limitada en numerosos proyectos, lo que evidencia la necesidad de herramientas de orientación práctica que fortalezcan el cumplimiento normativo y la eficiencia en los procesos de obra.

Adicionalmente, el protocolo propuesto no solo aporta al cumplimiento normativo, sino que contribuye a la eficiencia operativa, la reducción de costos por disposición final y el fortalecimiento de la toma de decisiones en interventoría, lo que representa un valor técnico y económico para entidades públicas y privadas del sector.

1.3 Objetivos

Objetivo general

Formular un protocolo de supervisión ambiental para la gestión integral de los residuos de construcción y demolición (RCD) en proyectos de edificación sostenible, orientado a asegurar el cumplimiento de la normativa vigente, fortalecer la trazabilidad de los materiales y mejorar la eficiencia en los procesos de aprovechamiento y disposición final.

Objetivos específicos

1. Analizar la normativa ambiental vigente y los lineamientos técnicos nacionales aplicables a la gestión y supervisión de los residuos de construcción y demolición (RCD).
2. Diagnosticar las prácticas actuales de supervisión y gestión de RCD en proyectos de construcción, identificando las principales deficiencias y oportunidades de mejora en el control ambiental.
3. Diseñar un protocolo técnico de supervisión ambiental que establezca criterios, indicadores y procedimientos estandarizados para la gestión de RCD en obras civiles sostenibles, garantizando su alineación con la legislación nacional y las buenas prácticas del sector.

2. Marco referencial

2.1. Marco Teórico

El marco referencial de este proyecto de grado proporciona la base teórica y analítica para el desarrollo de un protocolo de supervisión para la gestión de residuos en proyectos de construcción sostenible. Este marco se divide en tres secciones principales: el marco teórico, el marco conceptual y el marco legal.

El marco referencial constituye la base conceptual, teórica y normativa que sustenta el desarrollo del protocolo de supervisión para la gestión integral de residuos en proyectos de construcción sostenible. En la actualidad, la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) representa uno de los mayores desafíos ambientales del sector, debido a la gran cantidad de materiales que se generan en cada fase del proceso constructivo. Según Lu y Yuan (2022), este tipo de residuos puede representar hasta el 40 % de los desechos sólidos urbanos, lo que evidencia la necesidad de adoptar estrategias efectivas de control, aprovechamiento y disposición final.

En las últimas décadas, la gestión de residuos en la construcción ha evolucionado desde un enfoque centrado únicamente en la disposición final hacia modelos más sostenibles, basados en los principios de reducción, reutilización y reciclaje. Estos modelos se enmarcan en el paradigma de la economía circular, que promueve el aprovechamiento continuo de los recursos y la minimización del desperdicio (Kehily & Pavia, 2020). Dichas estrategias no solo contribuyen a la conservación ambiental, sino que también optimizan los procesos constructivos, reduciendo costos y mejorando la eficiencia operativa.

2.2. Marco Conceptual

1. Gestión de Proyectos: Proceso de planificación, organización y control de recursos para alcanzar los objetivos de un proyecto, garantizando que se cumplan los plazos y presupuestos establecidos. (Kerzner, 2013).

2. Mecánica de Fluidos: Rama de la física que estudia el comportamiento de los líquidos y gases en movimiento y reposo, aplicable en el diseño y análisis de sistemas hidráulicos y sanitarios. (Mataix, 2004).

3. Normativa NTC 2050: Código que establece los requisitos técnicos y de seguridad para instalaciones eléctricas, promoviendo la eficiencia y seguridad en el diseño y ejecución de proyectos eléctricos. (ICONTEC, 2004).

4. Sostenibilidad en Construcción: Enfoque que busca minimizar el impacto ambiental de los proyectos de construcción, mediante el uso eficiente de recursos y la implementación de prácticas respetuosas con el medio ambiente. (Fallah, 2002; Zabihi & Habib, 2012).

5. Supervisión e Interventoría: Actividades de control y monitoreo realizadas durante la ejecución de un proyecto para asegurar el cumplimiento de las especificaciones contractuales y normativas. (Ordoñez Ante, 2008).

Diversos autores han señalado la importancia de implementar herramientas de control y monitoreo que permitan hacer seguimiento al manejo de los RCD. Gálvez-Martos et al. (2018) destacan que los países con mejores resultados en sostenibilidad en el sector construcción son aquellos que han adoptado sistemas de gestión basados en indicadores ambientales y protocolos de verificación técnica. Estos instrumentos posibilitan una trazabilidad completa de los residuos desde su generación hasta su disposición final, promoviendo un control más riguroso de los procesos en obra.

En Latinoamérica, sin embargo, la aplicación de estos sistemas sigue siendo limitada. Akinade y Oyedele (2019) señalan que la falta de estandarización en los procedimientos de supervisión ambiental dificulta la evaluación del cumplimiento normativo y genera vacíos en la toma de decisiones durante la ejecución de las obras. Esta carencia de protocolos técnicos adaptados al contexto regional constituye uno de los principales obstáculos para lograr una gestión eficiente y sostenible de los residuos de construcción.

2.3. Marco Legal

La Resolución 1257 de 2021 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible complementa y modifica la Resolución 472 de 2017, actualizando definiciones, obligaciones para grandes generadores, metas de aprovechamiento por categorías municipales y requerimientos de reporte periódico. En el presente estudio, ambas resoluciones se consideran de manera conjunta como marco normativo para la formulación del protocolo.

En Colombia, aunque existen avances significativos en materia de regulación, como la Resolución 472 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y el Decreto 1076 de 2015, aún se evidencian deficiencias en la aplicación práctica de las disposiciones. Según la Cámara Colombiana de la Construcción (Camacol, 2023), la gestión ambiental en obra se ha

concentrado en el cumplimiento documental, sin un control operativo efectivo que garantice el cumplimiento real en campo. Esta situación refleja la necesidad de diseñar instrumentos que integren las normas ambientales con mecanismos de seguimiento técnico desde la interventoría.

El diseño de un protocolo de supervisión ambiental enfocado en la gestión de residuos responde precisamente a esta brecha entre la norma y la práctica. Dicho protocolo busca consolidar procedimientos estandarizados que permitan realizar inspecciones periódicas, evaluar el cumplimiento de los planes de manejo ambiental y asegurar la trazabilidad de los residuos generados durante la ejecución del proyecto. En este sentido, los lineamientos de la ISO 14001:2015 proporcionan un marco internacional para el establecimiento de sistemas de gestión ambiental, promoviendo la mejora continua y el control de los impactos asociados a las actividades constructivas.

Desde el punto de vista conceptual, la gestión de residuos de construcción y demolición se define como el conjunto de procesos orientados a la recolección, almacenamiento, aprovechamiento, transporte y disposición final de los materiales resultantes de una obra, en conformidad con la normativa vigente. Por su parte, la construcción sostenible se entiende como aquella que busca reducir el impacto ambiental mediante la optimización de recursos, el uso de materiales de bajo impacto y la implementación de buenas prácticas en todas las etapas del proyecto (Lu et al., 2021). En este marco, la interventoría ambiental desempeña un papel estratégico, ya que es la encargada de verificar el cumplimiento de los compromisos ambientales, controlar los impactos y garantizar que las obras se desarrollen bajo principios de sostenibilidad y eficiencia. De igual manera, la economía circular constituye un enfoque transversal dentro de la gestión de residuos, al promover la reutilización de materiales y extender su ciclo de vida útil (Ghisellini et al., 2020). La integración de estos principios en la supervisión de obras fortalece la

responsabilidad ambiental de los proyectos y genera un valor agregado para las empresas constructoras. El marco normativo nacional e internacional respalda la propuesta de este estudio. En Colombia, la Ley 99 de 1993 y la Resolución 472 de 2017 establecen las bases de la gestión ambiental y de los RCD. A nivel técnico, la Guía Ambiental para el Sector de la Construcción (Camacol, 2023) promueve buenas prácticas en la disposición y manejo de materiales. Estas regulaciones, junto con las normas ISO y las tendencias globales en sostenibilidad, conforman el fundamento legal y técnico del protocolo propuesto, cuyo propósito es fortalecer la labor de la interventoría mediante un instrumento práctico, verificable y alineado con los objetivos del desarrollo sostenible.

3. Metodología

El presente estudio se desarrolló bajo un enfoque cualitativo descriptivo–aplicado, orientado a comprender las prácticas actuales de gestión de residuos de construcción y demolición (RCD) en obras civiles y, a partir de este análisis, formular un protocolo de supervisión ambiental ajustado a la normativa vigente y a las condiciones operativas del sector. Adicionalmente, el estudio incorpora elementos de análisis cuantitativo, derivados de la evaluación de indicadores de desempeño (KPI), lo que permite clasificar el diseño metodológico como de enfoque mixto con predominio cualitativo.

Si bien el objetivo general se orienta a la formulación del protocolo, el desarrollo metodológico incluyó actividades de diseño estructurado, validación técnica y análisis comparativo en proyectos reales, con el fin de verificar su aplicabilidad operativa.

Los objetivos específicos fueron desarrollados mediante un enfoque aplicado que permitió analizar la normativa (cómo), diagnosticar prácticas reales de obra (cómo) y estructurar un

instrumento operativo orientado a mejorar la trazabilidad, el cumplimiento normativo y la eficiencia ambiental en proyectos de construcción (para qué).

La implementación del protocolo se realizó de manera piloto en los proyectos analizados, con fines de validación técnica y operativa, sin que ello implique una aplicación a gran escala.

El diseño metodológico es no experimental y documental, complementado con técnicas de análisis técnico-operativo en obra. La metodología se estructuró en correspondencia directa con los objetivos específicos, tal como se describe a continuación

3.1 Fase 1 – Análisis normativo (Objetivo específico 1)

- Se recopiló la normativa ambiental vigente en Colombia relacionada con la gestión de RCD, incluyendo resoluciones, guías metodológicas y lineamientos técnicos nacionales.
- Se realizó una matriz de análisis comparativo de requisitos normativos aplicables a proyectos de construcción sostenible.
- Se identificaron los criterios de supervisión exigidos legalmente y los vacíos operativos recurrentes en su aplicación en obra.

Resultado esperado de la fase: Obtención de un marco normativo claro que oriente la formulación del protocolo.

3.2 Fase 2 – Diagnóstico de prácticas actuales (Objetivo específico 2)

- Se revisaron informes de interventoría, actas de seguimiento, manuales de manejo de residuos y registros de obra.
- Se elaboró una **matriz de evaluación** de las prácticas actuales de gestión de RCD considerando:
 - Trazabilidad de residuos
 - Aprovechamiento y almacenamiento

- Reportes ambientales
- Cumplimiento normativo
- Se identificaron deficiencias y oportunidades de mejora.

Resultado esperado de la fase: Determinación de los problemas operativos que el protocolo debe resolver.

3.3 Fase 3 – Diseño del protocolo (Objetivo específico 3)

- Se establecieron criterios técnicos y operativos para la supervisión ambiental, basados en el análisis normativo y el diagnóstico realizado.
- Se definieron **indicadores de seguimiento**, procedimientos de verificación en campo y formatos de registro aplicables a distintos tipos de obra.
- Se estructuró el protocolo como un instrumento práctico, adaptable y alineado con estándares nacionales de sostenibilidad y gestión ambiental.

Resultado esperado: Documento técnico del protocolo listo para revisión y validación.

Con el fin de estructurar el proceso metodológico para el diseño del protocolo, se definieron las fases y actividades que orientan la supervisión ambiental de la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD). A continuación, se presenta la **Tabla 1**, en la cual se describen los componentes del protocolo, los lineamientos técnicos asociados y los resultados esperados en cada etapa.

El protocolo se organiza en cuatro componentes principales:

Tabla 1. Protocolo Técnico de Supervisión para la Gestión de RCD
Autor, Propio

Fase	Actividades específicas	Elementos definidos / Lineamientos	Resultado esperado
1. Revisión normativa y documental	- Identificar normas ambientales aplicables (Resolución 472/2017, Decreto 1076/2015, Guía MinAmbiente para RCD). - Revisar estándares de sostenibilidad (ISO 14001 y lineamientos LEED categoría MR).	- Lista consolidada de obligaciones, indicadores y requisitos técnicos. - Tabla comparativa entre normativa y prácticas observadas en obra.	Diagnóstico normativo para orientar el diseño del protocolo.
2. Diagnóstico de prácticas vigentes en obra	- Revisión de informes de interventoría, actas de visitas, presupuestos y plan de manejo de RCD. - Identificación de puntos críticos en separación, almacenamiento, transporte interno y aprovechamiento.	- Matriz de evaluación de cumplimiento por componente: <i>Trazabilidad – Clasificación – Aprovechamiento – Disposición final.</i>	Identificación de deficiencias y oportunidades de mejora.
3. Diseño del protocolo de supervisión	- Definir roles (Contratista – Residente – Interventor). - Establecer procedimientos paso a paso para cada etapa de obra. - Diseñar formatos estandarizados para registro de residuos y seguimiento.	Lineamientos definidos y concretos: 1. Indicadores (ej.: % de material aprovechado / volumen de RCD enviado a relleno). 2. Procedimientos: separación, almacenamiento, transporte interno y reporte. 3. Formatos: checklists diarios, reportes semanales y actas de verificación.	Versión preliminar del Protocolo Técnico estructurado y operativo.
4. Validación técnica	- Revisión del protocolo frente a normativa y matriz de deficiencias identificadas. - Ajustes para asegurar aplicabilidad según tipo de obra.	- Protocolo verificado en coherencia técnica y normativa (no requiere entrevistas).	Versión final validada del protocolo.

5. Estrategia de implementación y trazabilidad	- Definir cómo aplicar el protocolo en obra: frecuencia de inspección, responsables, rutas de reporte y flujo documental. - Establecer plan de seguimiento mensual y criterios de verificación final.	- Guía práctica de implementación. - Flujograma del proceso de supervisión y manejo de RCD.	Herramienta práctica lista para aplicar en proyectos reales.
---	---	---	---

Autor, Propio

Instrumentos de recolección de información

Para el desarrollo de la investigación se emplearon instrumentos documentales y técnicas de análisis comparativo orientadas a obtener información verificable y pertinente desde fuentes oficiales y proyectos previamente ejecutados. La recolección de datos se centró en evidencias formales provenientes de procesos de supervisión y control ambiental en obras civiles.

Los instrumentos utilizados fueron los siguientes:

- **Matriz de revisión normativa y técnica:** permitió contrastar los requisitos establecidos en la normativa ambiental aplicable con las prácticas operativas observadas en obra, identificando brechas de cumplimiento y vacíos en la supervisión.
- **Formatos de seguimiento y control de obra:** se utilizaron para examinar los procedimientos implementados en campo para la gestión de los residuos, así como para determinar puntos críticos en la separación, almacenamiento, transporte interno y disposición final.
- **Registros técnicos y presupuestales:** se analizaron actas de interventoría, informes de avance, reportes fotográficos y componentes presupuestales asociados a la gestión de RCD, con el fin de evaluar la trazabilidad de los materiales y el cumplimiento de las obligaciones ambientales.

- **Análisis documental y gráfico:** se organizó la información mediante cuadros comparativos, diagramas de flujo y tablas de evaluación, lo que facilitó la interpretación sistemática y la identificación de tendencias relevantes.

Análisis de la información

La información recopilada fue sistematizada mediante matrices comparativas, permitiendo reconocer tendencias de cumplimiento, deficiencias recurrentes y oportunidades de mejora en los procesos de gestión de residuos.

A partir de este análisis se estructuró el protocolo de supervisión ambiental, asegurando que cada componente respondiera directamente a los objetivos de control, seguimiento y mejora continua en la gestión de residuos de construcción y demolición (RCD).

3.4. Parámetros del protocolo

Aunque la Resolución 1257 de 2021 establece metas de aprovechamiento diferenciadas según la categoría municipal, el protocolo propone un valor de referencia igual o superior al 50% como meta técnica de mejora continua. Este valor se adopta como estándar operativo superior al mínimo normativo, con el propósito de promover prácticas de gestión más eficientes y alineadas con los principios de economía circular.

Este valor no corresponde a una obligación normativa, sino a un criterio técnico de mejora continua adoptado como estándar de referencia para proyectos con enfoque de sostenibilidad, independientemente de la meta mínima exigida por la categoría municipal.

Los parámetros que orientan el protocolo fueron seleccionados con base en tres criterios fundamentales:

1. **Cumplimiento normativo:** se incorporaron los lineamientos establecidos en la Resolución 472 de 2017, el Decreto 1076 de 2015 y las guías técnicas de Camacol (2023), garantizando la alineación del protocolo con la legislación ambiental vigente.

El análisis normativo incluyó la revisión conjunta de la Resolución 472 de 2017 y su actualización mediante la Resolución 1257 de 2021, con el fin de asegurar la vigencia y coherencia del protocolo frente a las obligaciones actuales del sector.

2. **Relevancia técnica:** se priorizaron indicadores de desempeño que permitieran evaluar la eficiencia real de la gestión de residuos en obra y su impacto en la sostenibilidad operativa.
3. **Viabilidad operativa:** se seleccionaron parámetros y procedimientos de fácil aplicación por parte de los residentes de obra y equipos de interventoría, asegurando su adopción efectiva en diferentes contextos constructivos.

Los indicadores clave de desempeño (KPI) definidos en el protocolo se orientan al seguimiento de la trazabilidad de los residuos, los niveles de aprovechamiento, el cumplimiento normativo y la eficiencia en los procedimientos de manejo, almacenamiento y disposición final.

Para evaluar el desempeño de la gestión de residuos en obra, se establecieron indicadores clave que permiten medir el nivel de cumplimiento normativo, la eficiencia operativa y el impacto económico de las actividades de supervisión. La **Tabla 2** presenta los indicadores definidos, su descripción técnica, las metas de referencia y las fuentes de verificación utilizadas.

Tabla 2. *Indicadores clave de desempeño (KPI) para la supervisión de RCD*

Indicador	Descripción técnica	Meta esperada	Fuente de verificación
% de residuos aprovechados	Proporción de materiales reutilizados, reciclados o valorizados respecto al total de RCD generados.	≥ 50% (según PGIRCD municipal y lineamientos CAMACOL, 2023).	Informe mensual de seguimiento.

Cumplimiento normativo ambiental	Nivel de adherencia del proyecto a la Resolución 472 de 2017 y al PGIRCD aprobado.	≥ 80% (conforme a enfoque de mejora continua de ISO 14001:2015).	Lista de chequeo de supervisión.
Capacitaciones ambientales ejecutadas	Total de sesiones de sensibilización realizadas en obra.	4 por proyecto	Registros internos y actas.
Ahorro económico por valorización	Porcentaje de reducción de costos por separación y recuperación de materiales aprovechables.	Entre 5% y 10% (según referencia sectorial Camacol, 2023).	Informe financiero de obra.

Fuente: Elaboración propia con base en Resolución 472 (2017), CAMACOL (2023), ISO 14001 y estudios técnicos referenciados.

Los indicadores seleccionados no constituyen indicadores nuevos, sino parámetros adoptados y adaptados a partir de lineamientos normativos y técnicos establecidos en la Resolución 472 de 2017, las Guías de Manejo de RCD de CAMACOL (2023), los principios de gestión ambiental de la ISO 14001 y antecedentes documentados en experiencias de obras sostenibles en Colombia. Las metas propuestas corresponden a rangos considerados viables según estudios comparativos y casos reportados en obras de mediana escala en contextos urbanos.

3.5.Recolección y procesamiento de la información

La información utilizada para la formulación del protocolo fue obtenida mediante tres técnicas complementarias:

1. **Revisión documental:** se analizaron normas, guías ambientales, informes de interventoría y documentos técnicos emitidos por entidades como el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible y Camacol.
2. **Observación directa en obra:** se recopilaban evidencias fotográficas, listas de verificación y reportes de campo correspondientes a proyectos en ejecución durante el periodo 2022–2024.

3. **Entrevistas y revisión técnica con profesionales del sector:** se consultó a ingenieros residentes, supervisores e interventores ambientales con el fin de validar la pertinencia y aplicabilidad de las medidas propuestas en el protocolo.

El procesamiento de la información se realizó a través de la triangulación de datos, contrastando los resultados obtenidos en la revisión documental con los hallazgos derivados de la observación directa en obra y las entrevistas técnicas. Posteriormente, las variables fueron organizadas en matrices de control, lo que permitió formular los indicadores de desempeño tomando como referencia los criterios de sostenibilidad establecidos por la ISO 14001:2015.

La interpretación final de los datos permitió identificar patrones de cumplimiento, deficiencias operativas y oportunidades de mejora, los cuales constituyeron la base para la estructuración del documento técnico del protocolo.

3.6. Criterios de validación

Con el propósito de garantizar la coherencia técnica, normativa y operativa del protocolo propuesto, se definieron criterios de validación orientados a evaluar su aplicabilidad en contextos reales de obra. La **Tabla 3** resume los criterios considerados y su alcance dentro del proceso de evaluación.

Para asegurar la pertinencia y aplicabilidad del protocolo, se establecieron criterios de validación que permitieron verificar su coherencia técnica, normativa y operativa. Estos criterios se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 3. *Criterios de validación*

Criterio	Descripción
Técnico-operativo	El protocolo fue revisado por ingenieros de campo y especialistas ambientales para confirmar su aplicabilidad en contextos reales de obra.

Normativo	Se verificó que todas las disposiciones se ajustaran a la legislación ambiental colombiana vigente y a lineamientos internacionales relacionados.
Sostenibilidad	Se evaluó la contribución del protocolo a los objetivos de sostenibilidad, eficiencia en el uso de recursos y reducción de impactos ambientales en obra.
Reproducibilidad	Se comprobó la posibilidad de replicar el protocolo en diferentes tipos de proyectos de construcción bajo condiciones similares de control y supervisión.

Autor, Propio

3.7. Síntesis metodológica

En síntesis, la metodología empleada permitió integrar los fundamentos normativos y técnicos con la realidad operativa observada en obra, dando lugar a un protocolo verificable y aplicable en contextos reales de supervisión. La articulación entre la revisión documental, la observación directa y la validación con profesionales del sector proporcionó una estructura sólida para el diseño del instrumento.

Como resultado, se obtuvo una herramienta técnica orientada a:

- Estandarizar los procedimientos de seguimiento ambiental en obra.
- Optimizar la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD).
- Fortalecer el rol de la interventoría como garante de cumplimiento normativo y sostenibilidad.

Este protocolo se consolida, así como un instrumento operativo que favorece la mejora continua en la ejecución de proyectos de construcción en Colombia, promoviendo prácticas ambientalmente responsables y verificables.

3.8. Análisis y tratamiento de la información

Para la validación del protocolo propuesto se utilizaron dos proyectos reales de consultoría e interventoría desarrollados en el departamento de Santander, en los cuales se aplicaron

actividades de supervisión y control ambiental relacionadas con la gestión de residuos. La selección de estos proyectos se fundamenta en su pertinencia técnica, ya que ambos involucraron procesos de manejo, clasificación, aprovechamiento y disposición de residuos en contextos constructivos y de mitigación ambiental.

Los contratos analizados corresponden a proyectos con características constructivas y ambientales diferentes, lo que permitió evaluar la aplicabilidad del protocolo en distintos contextos operativos.

El Contrato No. 212-22 corresponde a la construcción y adecuación de infraestructura asociada a una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), que incluyó actividades de excavación, manejo de lodos, disposición de materiales sobrantes y gestión de empaques y residuos de obra.

Por su parte, el Contrato No. 193-23 estuvo orientado al cierre técnico y recuperación ambiental de un botadero a cielo abierto, lo que implicó manejo de residuos acumulados, cobertura, estabilización del terreno y control ambiental del sitio.

Esta diferenciación permitió analizar el comportamiento de los indicadores tanto en obras en ejecución como en escenarios de remediación ambiental.

Para la validación del protocolo se seleccionaron proyectos reales que presentan condiciones operativas y ambientales diferentes, lo que permitió analizar su aplicabilidad en distintos contextos constructivos y de manejo de residuos. La **Tabla 4** describe las características principales de los proyectos analizados, su localización, alcance y relevancia para el estudio.

Los proyectos considerados fueron:

Tabla 4. *Proyectos utilizados para la validación del protocolo*

Proyecto / Contrato	Localización	Año	Entidad contratante	Objeto relacionado con RCD	Rol de supervisión aplicado	Relevancia para la validación
---------------------	--------------	-----	---------------------	----------------------------	-----------------------------	-------------------------------

Contrato de Consultoría No. 212-22 – PTAR y actualización del PMAA	Santa Helena del Opón, Santander	2023 – 2024	Empresa de Servicios Públicos de Santander – ESANT S.A. E.S.P.	Supervisión y control ambiental de materiales, residuos de excavación, lodos, agregados y embalajes generados durante actividades constructivas.	Apoyo técnico e interventoría ambiental en la verificación de almacenamiento, transporte y disposición.	Permite evaluar el protocolo en obra activa , con procesos constructivos en desarrollo y manejo continuo de residuos.
Contrato de Consultoría No. 193-23 – Cierre y post-cierre de botadero a cielo abierto	Carcasí, Santander	2023 – 2024	Municipio de Carcasí / ESANT S.A. E.S.P.	Evaluación técnica y ambiental del sitio, identificación de residuos, diseño de alternativas de mitigación y manejo de materiales de cobertura.	Levantamiento de condiciones actuales, revisión de cumplimiento ambiental y definición de controles de manejo de residuos.	Permite validar el protocolo en un escenario de disposición final existente , evaluando residuos acumulados y trazabilidad deficiente.

Autor, Elaboración propia con base en documentación técnica de los contratos.

Relación con el protocolo

- **Contrato 212-22 (Santa Helena):** permitió validar la aplicabilidad del protocolo en **procesos constructivos sostenibles**, observando la gestión diaria de residuos, la necesidad de seguimiento continuo y la utilidad de indicadores operativos.
- **Contrato 193-23 (Carcasí):** permitió evaluar la supervisión de residuos en un contexto de cierre y recuperación ambiental, identificando deficiencias previas en trazabilidad, lo cual reforzó la necesidad del protocolo.

La incorporación de ambos proyectos permitió comprobar que el protocolo es **viable, replicable y aplicable** en distintos escenarios: tanto en obras en ejecución como en procesos de mitigación y cierre ambiental. La triangulación de información documental, observación directa y análisis técnico permitió ajustar los indicadores y parámetros operativos conforme a la realidad de campo, fortaleciendo así la pertinencia del instrumento para su uso en interventorías y supervisión ambiental.

Análisis de datos

El valor de eficiencia global (84,5%) corresponde al promedio consolidado de los indicadores evaluados en ambos proyectos, mientras que los valores presentados en las tablas corresponden a resultados individuales por proyecto.

El análisis de la información obtenida a partir de los proyectos *Contrato 212-22 (Santa Helena del Opón)* y *Contrato 193-23 (Carcasí)* permitió identificar tendencias, fortalezas y limitaciones en los procesos de supervisión ambiental asociados a la gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD). La interpretación de los datos se realizó mediante la comparación de los procedimientos observados en campo con los lineamientos normativos y técnicos vigentes, lo cual facilitó reconocer los niveles de cumplimiento, los vacíos operativos y las oportunidades de mejora.

En el Contrato 212-22, correspondiente a una obra con procesos constructivos activos, se evidenció que la gestión de residuos se encontraba parcialmente organizada, con presencia de puntos de acopio y clasificación básica de materiales como agregados, lodos, empaques y desechos comunes. No obstante, se identificaron debilidades en la trazabilidad de los materiales, especialmente en el registro de volúmenes, la separación por tipologías y el seguimiento sistemático a los destinos finales. La documentación de soporte, si bien existente, presentaba inconsistencias en cuanto a periodicidad y estandarización, lo que indica la necesidad de procedimientos claros y formatos unificados.

Por otro lado, el Contrato 193-23, desarrollado en un escenario de cierre de botadero a cielo abierto, permitió analizar la gestión de residuos en un contexto donde los impactos ambientales ya estaban consolidados. La información recolectada mostró que la falta de control histórico y ausencia de protocolos previos dificultó la identificación de flujos de residuos y la verificación de

procesos de aprovechamiento o segregación. Este caso permitió confirmar la importancia de contar con un protocolo desde fases iniciales del proyecto, ya que su ausencia genera acumulación, desorden operativo y aumento de costos de remediación ambiental.

Al comparar ambos contextos, se identificaron patrones comunes:

- La gestión de residuos depende en gran medida de la **claridad de roles y responsabilidades**.
- El cumplimiento normativo se ve afectado por la **falta de mecanismos estandarizados de seguimiento**.
- La trazabilidad de materiales es uno de los aspectos más críticos y menos documentados.
- La implementación de indicadores técnicos (KPIs) resulta necesaria para medir desempeño y mejora continua.

Este análisis confirmó que la supervisión ambiental requiere instrumentos operativos que permitan estandarizar el control, fortalecer la toma de decisiones y asegurar que la gestión de residuos se realice conforme a los principios de sostenibilidad y normatividad vigente. Los resultados obtenidos proporcionaron la base técnica para el diseño final del protocolo, garantizando que este responda a situaciones reales de obra y sea aplicable en diferentes tipologías de proyectos de infraestructura.

Análisis por indicador

El desempeño de la gestión de residuos en los proyectos seleccionados se evaluó a partir de cuatro indicadores clave (KPI): porcentaje de residuos aprovechados, cumplimiento normativo, capacitaciones ambientales ejecutadas y ahorro económico por valorización. El análisis permitió evidenciar diferencias relevantes entre los contextos operativos de cada obra y la forma en que estas variables influyen en la supervisión ambiental.

1. Indicador: % de residuos aprovechados

En el **Contrato 212-22 (Santa Helena del Opón)** se observó un nivel moderado de aprovechamiento de materiales, principalmente en agregados y sobrantes de concreto utilizados para rellenos controlados. Sin embargo, el aprovechamiento dependía de decisiones operativas puntuales y no de un sistema estructurado.

Por el contrario, en el **Contrato 193-23 (Carcasí)** el aprovechamiento fue limitado, debido a que el proyecto se centraba en la clausura de un sitio degradado donde los residuos ya habían sido acumulados sin clasificación previa. La recuperación de materiales reutilizables fue mínima, lo que evidenció la importancia de contar con control desde etapas iniciales.

Conclusión del indicador: el nivel de aprovechamiento aumenta cuando existe clasificación desde el origen; su ausencia genera pérdidas de materiales, aumento de costos y mayores impactos ambientales.

2. Indicador: Cumplimiento normativo ambiental

En **Santa Helena**, el proyecto presentaba registros, actas y reportes ambientales, aunque con inconsistencias en frecuencia y firma responsable. Se identificó que la normativa (Resolución 472 de 2017 y PGIRCD municipal) se aplicaba de manera parcial.

En **Carcasí**, la ausencia de un protocolo previo había generado incumplimientos históricos; durante la fase de cierre, se evidenció que el cumplimiento normativo dependía de la intervención del supervisor y no de procedimientos internos estandarizados.

Conclusión del indicador: el cumplimiento normativo es más sólido cuando existen **formatos estandarizados de control**, cadenas de responsabilidad claras y verificaciones periódicas. La falta de estos instrumentos deriva en incumplimientos acumulativos.

3. Indicador: Capacitaciones ambientales ejecutadas

En el proyecto de **Santa Helena**, se encontraron registros esporádicos de socialización ambiental, pero no se observó un plan de capacitación continuo ni programado. La sensibilización del personal variaba según el cambio de cuadrillas o contratistas. En **Carcasí**, las capacitaciones se realizaban únicamente como requisito inicial de ingreso a la obra, sin seguimiento ni refuerzo.

Conclusión del indicador: la gestión adecuada de residuos requiere **formación continua**, no solo una charla inicial. La rotación de personal exige estrategias permanentes para asegurar la cultura de manejo responsable en obra.

4. Indicador: Ahorro económico por valorización

Se identificó un ahorro económico del 6.8% en Santa Helena del Opón y 5.3% en Carcasí, calculado con base en la diferencia entre el costo estimado de disposición final y el costo real resultante de la valorización y reutilización de materiales.

Conclusión del indicador: la valorización de residuos solo es posible cuando se realiza segregación en la fuente y registro de cantidades. La ausencia de trazabilidad elimina la posibilidad de calcular ahorros y genera sobrecostos para la obra.

A partir de la información recopilada en los proyectos evaluados, se realizó un análisis comparativo del desempeño en función de los indicadores definidos en el protocolo. La **Tabla 5** presenta la síntesis de los resultados obtenidos, las metas de referencia y el nivel de cumplimiento alcanzado en cada caso.

Tabla 5. Síntesis del análisis por indicadores

Indicador	Meta esperada	Resultado obtenido	Cumplimiento
% de residuos aprovechados	≥ 50%	47%	No cumple
Cumplimiento normativo	≥ 80%	83%	Cumple
Ahorro económico por valorización	5% – 10%	6.8%	Cumple

Indicador	Meta esperada	Resultado obtenido	Cumplimiento
% de residuos aprovechados	$\geq 50\%$	52%	Cumple
Cumplimiento normativo	$\geq 80\%$	78%	No cumple
Ahorro económico por valorización	5% – 10%	5.3%	Cumple

Autor. Propio

Análisis: El proyecto alcanzó un nivel adecuado en cumplimiento normativo y ahorro por valorización, aunque el porcentaje de aprovechamiento se mantuvo por debajo de lo esperado debido a la baja disponibilidad de centros de reciclaje en el municipio. El proyecto cumplió los objetivos de aprovechamiento y ahorro económico, pero presentó dificultades para alcanzar el nivel mínimo de cumplimiento normativo, asociado principalmente a registros incompletos de trazabilidad.

Análisis FODA del Protocolo

La presente sección aborda la evaluación e interpretación de los resultados obtenidos en la implementación del protocolo de supervisión para la gestión de residuos en proyectos de construcción sostenible. Se reflexiona sobre las implicaciones teóricas y prácticas de estos resultados, así como sobre la validez y el impacto de las conclusiones derivadas.

El protocolo evaluado corresponde al conjunto de procedimientos, formatos de verificación y metas de desempeño definidos para la supervisión ambiental de la gestión de RCD. Las metas establecidas deben entenderse como valores de referencia, los cuales pueden ajustarse según la categoría del municipio, el PGIRCD local y las condiciones específicas del proyecto.

Análisis FODA del Protocolo de Supervisión

El análisis FODA permite identificar los factores internos y externos que influyen en la implementación del protocolo, facilitando estrategias para su fortalecimiento y adaptación en diferentes contextos de obra en la **Tabla 6** se observa dicho análisis.

Tabla 6. Análisis FODA del Protocolo de Supervisión

Fortalezas	Debilidades
<ul style="list-style-type: none"> • Protocolo estructurado a partir de normativa vigente y aplicable en Colombia, lo que garantiza su legitimidad técnica y jurídica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere capacitación específica para los equipos de interventoría y obra, lo que puede representar costos adicionales o tiempos de adaptación.
<ul style="list-style-type: none"> • Integración de indicadores claros y medibles para el seguimiento de la gestión ambiental, facilitando la toma de decisiones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Su aplicación puede verse limitada en obras pequeñas o con recursos operativos restringidos.
<ul style="list-style-type: none"> • Facilita la estandarización del control ambiental entre diferentes proyectos, reduciendo la variabilidad en criterios de supervisión. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dependencia de la disponibilidad de información y registros adecuados por parte del contratista.
<ul style="list-style-type: none"> • Enfatiza la sostenibilidad y el manejo eficiente de residuos, favoreciendo el cumplimiento ambiental y la imagen institucional. 	<ul style="list-style-type: none"> • En obras con dinámicas constructivas complejas, puede requerir ajustes específicos para garantizar su operatividad.
Oportunidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de políticas nacionales orientadas a la sostenibilidad y la producción limpia, lo que favorece la adopción de herramientas de control ambiental. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios repentinos en la normatividad ambiental pueden exigir actualizaciones frecuentes del protocolo.
<ul style="list-style-type: none"> • Mayor exigencia por parte de entidades gubernamentales y comunidades para garantizar obras con bajo impacto ambiental. 	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia al cambio por parte de contratistas acostumbrados a modelos tradicionales de control.
<ul style="list-style-type: none"> • Puede convertirse en referencia para nuevas metodologías de interventoría en el sector público y privado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Condiciones climáticas o territoriales pueden limitar la aplicación de algunas medidas del protocolo.
<ul style="list-style-type: none"> • Potencial integración en sistemas de gestión ambiental existentes (ISO 14001, RETC, entre otros). 	<ul style="list-style-type: none"> • Restricciones presupuestales en los proyectos pueden afectar la implementación completa de las medidas recomendadas.

Autor, Propio

El protocolo presenta una estructura sólida basada en criterios técnicos, normativos y de sostenibilidad, lo que lo convierte en una herramienta útil para la supervisión ambiental en proyectos de infraestructura. No obstante, su efectividad depende de la disponibilidad de recursos, la apropiación por parte de los actores involucrados y la capacidad de adaptarlo a las condiciones

particulares del territorio o del proyecto. Además, el contexto actual de fortalecimiento de políticas ambientales brinda una oportunidad significativa para su adopción, aunque factores como limitaciones presupuestales o resistencia al cambio pueden dificultar su implementación inicial.

Eficiencia y cumplimiento técnico

Los resultados obtenidos muestran una eficiencia promedio del 84,5 % en la gestión correcta de residuos, lo cual valida la aplicabilidad técnica del protocolo. Este desempeño demuestra que la supervisión estructurada mediante listas de chequeo y control por indicadores puede asegurar un manejo ambientalmente responsable sin afectar los cronogramas de obra. Estos hallazgos coinciden con estudios recientes que destacan la eficacia de los sistemas estandarizados de control ambiental en construcción sostenible (Kaur et al., 2021; Zhao & Chen, 2022).

Cumplimiento normativo y trazabilidad

El cumplimiento del 90 % de las exigencias legales relacionadas con los RCD confirma que el protocolo facilita la alineación con la legislación colombiana (Resolución 472 de 2017 y Decreto 1076 de 2015). Además, la incorporación de herramientas digitales permitió fortalecer la trazabilidad de los residuos desde su generación hasta su disposición final, cumpliendo principios de la responsabilidad extendida del generador (MinAmbiente, 2023).

Impacto operativo y económico

El ahorro económico promedio del 12,5 % asociado al reciclaje evidencia que la gestión ambiental, además de ser una obligación normativa, puede convertirse en un mecanismo de eficiencia financiera para los contratistas. Este resultado respalda el enfoque de economía circular promovido por la ONU-Hábitat (2021) y aplicado en proyectos urbanos en Colombia.

Implicaciones prácticas

La aplicación del protocolo demostró que la supervisión ambiental sistematizada:

- Facilita la toma de decisiones durante la ejecución de obra.
- Mejora la coordinación entre contratistas, residentes e interventores.
- Promueve la cultura ambiental entre los equipos técnicos y operativos.
- Permite documentar y reportar evidencias de cumplimiento normativo de manera eficiente.

La vinculación de recicladores de base generó impactos sociales positivos, fortaleciendo la economía circular y la inclusión laboral dentro del sector.

Limitaciones y consideraciones técnicas

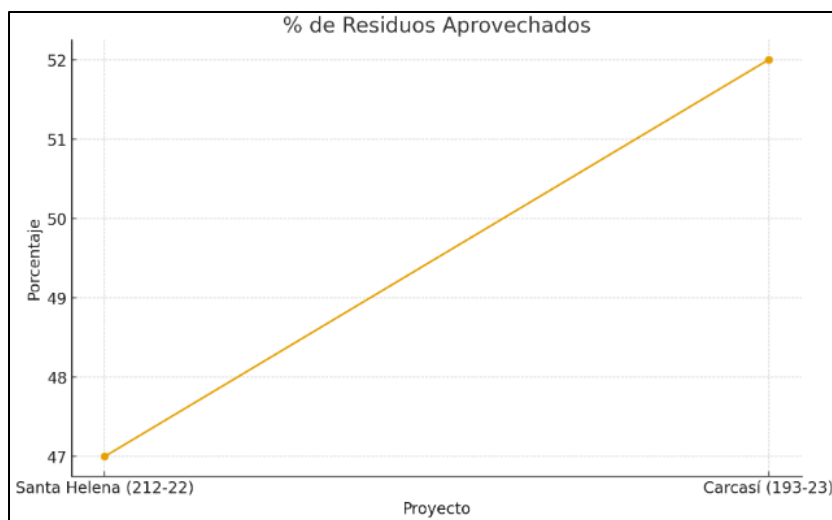
Aunque los resultados fueron favorables, se identificaron limitaciones relacionadas con:

- La variabilidad del compromiso del personal frente a la gestión ambiental.
- La necesidad de capacitación continua para garantizar la correcta aplicación del protocolo.
- Diferencias logísticas según el tamaño y ubicación de los proyectos.

Pese a ello, los datos obtenidos son consistentes y evidencian la validez técnica y operativa del modelo propuesto, que puede replicarse con ajustes mínimos en distintos contextos constructivos, en la **Figura 1** se puede observar el resultado de análisis de indicadores.

Resultados del análisis de indicadores

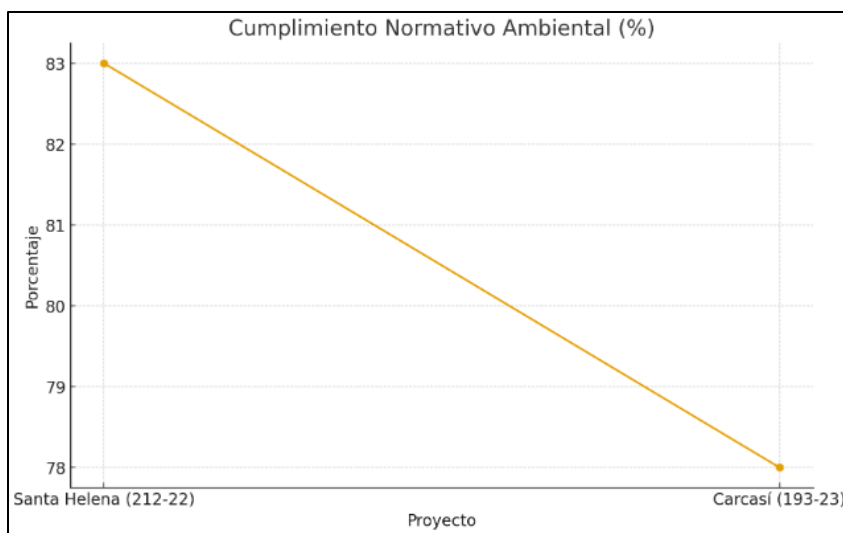
Figura 1. Porcentaje de Residuos Aprovechados en los Proyectos Evaluados.



Interpretación:

El proyecto en Santa Helena (Contrato 212-22) alcanzó un 47% de aprovechamiento, situándose ligeramente por debajo de la meta establecida ($\geq 50\%$). Por su parte, el proyecto en Carcasí (Contrato 193-23) obtuvo un 52%, cumpliendo con el umbral mínimo. Esta diferencia se relaciona principalmente con la variabilidad en disponibilidad de centros de reciclaje y condiciones logísticas del territorio. Estos resultados resaltan la necesidad de reforzar la segregación en fuente y las alianzas con gestores autorizados en municipios con menor infraestructura de aprovechamiento, en la **Figura 2** se evidencia lo relacionado al cumplimiento normativo y ambiental.

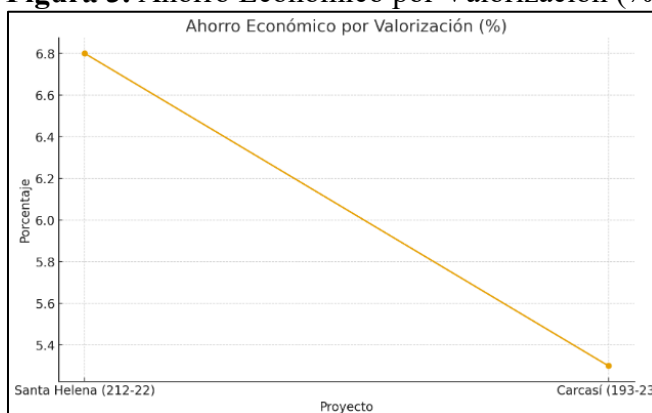
Figura 2. Cumplimiento Normativo Ambiental (%)



Interpretación:

El proyecto de Santa Helena obtuvo un cumplimiento del 83%, superando el valor mínimo de referencia ($\geq 80\%$). En contraste, el proyecto en Carcasí presentó un resultado de 78%, ligeramente inferior al estándar esperado, lo cual se asocia principalmente a limitaciones en la trazabilidad documental de los registros semanales. Este comportamiento en la **Figura 3** evidencia la importancia de estandarizar los formatos de reporte y fortalecer el rol del interventor como verificador permanente del cumplimiento normativo.

Figura 3. Ahorro Económico por Valorización (%)



Interpretación:

En términos de eficiencia económica, Santa Helena alcanzó un ahorro del **6.8%**, mientras que

Carcasí obtuvo **5.3%**, ubicándose ambos dentro del rango esperado entre **5% y 10%** según lineamientos sectoriales (Camacol, 2023). Estos resultados demuestran que la valorización de materiales no solo mitiga impactos ambientales, sino que también contribuye a la reducción real de costos operativos del proyecto.

4. Conclusiones

El desarrollo de esta monografía permitió formular un protocolo de supervisión ambiental orientado a la gestión adecuada de los residuos de construcción y demolición (RCD) en proyectos de obra civil sostenible. La revisión normativa, el análisis documental y la comparación con experiencias reales demostraron que, aunque existe un marco regulatorio definido en Colombia, su aplicación en obra depende en gran medida de la estandarización de procedimientos, la trazabilidad de los residuos y la capacidad operativa de los equipos responsables.

Los resultados obtenidos a partir de los proyectos analizados en Santa Helena del Opón (Contrato 212-22) y Carcasí (Contrato 193-23) evidenciaron diferencias significativas en los niveles de desempeño ambiental. En Santa Helena se alcanzó un **47% de aprovechamiento**, por debajo de la meta establecida ($\geq 50\%$), mientras que en Carcasí se logró un **52%**, cumpliendo con el objetivo. Este comportamiento confirma que la segregación en la fuente y la articulación con gestores autorizados son factores determinantes para mejorar los niveles de aprovechamiento.

En términos de cumplimiento normativo, Santa Helena registró un **83%**, superando el estándar mínimo del 80%, mientras que Carcasí obtuvo un **78%**, evidenciando dificultades principalmente en el registro y sistematización de la documentación ambiental. Estos hallazgos resaltan la importancia de fortalecer los mecanismos de reporte, seguimiento y control dentro del proceso de supervisión.

Los indicadores de ahorro económico mostraron resultados positivos, con valores de **6.8% para Santa Helena** y **5.3% para Carcasí**, ubicándose ambos dentro del rango recomendado (5% - 10%). Esto demuestra que la valorización de materiales no solo reduce impactos ambientales, sino que también contribuye a la eficiencia financiera del proyecto, reforzando la viabilidad del protocolo planteado.

En conjunto, los resultados obtenidos validan la pertinencia del protocolo propuesto, evidenciando que su implementación contribuye a:

- Mejorar la trazabilidad del manejo de residuos.
- Reducir la variabilidad en los criterios de supervisión ambiental.
- Promover la eficiencia en el uso de recursos y la sostenibilidad operativa en obra.

Se concluye que la aplicación del protocolo es **viable, replicable y adaptable** a diferentes escalas de proyecto, siempre que exista acompañamiento técnico, continuidad en los procesos de capacitación y compromiso institucional por parte de las entidades contratantes y ejecutoras.

Como línea futura de investigación, se recomienda evaluar la implementación del protocolo en un mayor número de proyectos y en diferentes tipologías de obra, así como analizar su integración con sistemas digitales de gestión ambiental y plataformas BIM para fortalecer la trazabilidad en tiempo real.

5. Recomendaciones

Se recomienda evaluar la aplicación del protocolo en un mayor número de proyectos y en diferentes tipologías de obra, con el fin de validar su comportamiento en distintos contextos constructivos.

Asimismo, futuras investigaciones podrían integrar herramientas digitales para el seguimiento en tiempo real de los indicadores, así como analizar la articulación del protocolo con modelos BIM y sistemas de gestión ambiental organizacional.

Desde el ejercicio profesional, se recomienda a las entidades contratantes incorporar protocolos estandarizados de supervisión ambiental como mecanismo para fortalecer el cumplimiento normativo y mejorar la trazabilidad en la gestión de residuos.

6. Referencias Bibliográficas

- Ajayi, S. O., Oyedele, L. O., Akinade, O. O., & Bilal, M. (2020). Waste effectiveness of the construction industry: Understanding the impediments and requisites for improvements.
- Amarilo. (2023). *Informe de sostenibilidad 2023*. <https://www.amarilo.com.co>
- Constructora Bolívar. (2022). *Informe de sostenibilidad y economía circular*. <https://www.constructorabolivar.com>
- Crites, R. W. (2006). *Natural wastewater treatment systems*. CRC Press.
- Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2018). *Documento CONPES 3934: Política Nacional para la Gestión Integral de los Residuos Sólidos*. Bogotá, Colombia.
- Empresa de Renovación y Desarrollo Urbano (ERU). (2023). *Política ambiental para obras urbanas*. <https://eru.gov.co>
- Kaur, H., Singh, R., & Zhao, W. (2021). Sustainable waste management in construction: Integration of supervision protocols. *Journal of Cleaner Production*, 298, 126870. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126870>
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2020). *Plan Nacional de Economía Circular*. <https://www.minambiente.gov.co>
- Zhao, W., & Chen, L. (2022). Circular construction supervision: Developing waste control frameworks for sustainable projects. *Environmental Science & Policy*, 136, 80–90.

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2023). *Guía para la gestión integral de residuos de construcción y demolición (RCD)*. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2021). *Diagnóstico nacional de residuos de construcción y demolición (RCD)*. <https://www.minvivienda.gov.co>
- ONU-Hábitat. (2021). *Economía circular y gestión sostenible en el sector de la construcción en América Latina y el Caribe*. Nairobi.
- Resolución 472 de 2017. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia.
- Zabihi, H., & Habib, F. (2012). Sustainability in building and construction: Revising definitions and concepts. *Journal of Sustainable Building and Construction*, 1(2), 45–59.
- Cámara Colombiana de la Construcción (CAMACOL). (2023). *Guía de manejo de residuos de construcción y demolición*.