

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) EN EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO, BOYACÁ

Andrés Gilberto Vargas Trujillo
Ingeniero Civil
Bogotá, D.C, Colombia
est.andresg.vargas@unimilitar.edu.co

Artículo de Investigación

DIRECTOR
Ing. David Alejandro Rincón Castro, M.Sc.



La U
acreditada
para todos

**ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA INTEGRAL DE PROYECTOS
UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA
FACULTAD DE INGENIERÍA
JUNIO DE 2021**

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y VIABILIDAD PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLANTA DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN (RCD) EN EL MUNICIPIO DE SOGAMOSO, BOYACÁ

FEASIBILITY AND VIABILITY STUDY FOR THE IMPLEMENTATION OF A CONSTRUCTION AND DEMOLITION WASTE (CDW) RECOVERY PLANT IN THE MUNICIPALITY OF SOGAMOSO, BOYACÁ.

Andrés Gilberto Vargas Trujillo
Ingeniero Civil
Bogotá, D.C, Colombia
est.andresg.vargas@unimilitar.edu.co

RESUMEN

Una de las problemáticas que se han generado con el aumento de obras de construcción en el municipio de Sogamoso, ha sido la inadecuada gestión de los RCD (Residuos de Construcción y Demolición), debido a que estos residuos se han dispuesto en escombreras, botaderos ilegales e incluso en el espacio público, poniéndole fin a la vida útil de estos residuos y ocasionando un daño ambiental. De acuerdo con casos de éxito nacionales e internacionales, una de las soluciones a esta problemática es la implementación de una planta de aprovechamiento de RCD, a través del presente artículo se realizó el estudio de factibilidad y viabilidad para implementar este tipo de planta en el municipio. Esto por medio de: la validación de la gestión actual de los RCD en el municipio; la identificación de los residuos aprovechables y no aprovechables derivados de los RCD; y el análisis económico y financiero para implementar la planta. Cumplidas estas metas, se concluyó que en efecto la gestión de RCD en el municipio es inadecuada y la implementación de la planta de aprovechamiento de RCD es factible y viable como un proyecto de inversión.

Palabras clave: RCD, Gestión, Aprovechamiento, Disposición.

ABSTRACT

One of the problems that have been generated with the increase of construction works in the municipality of Sogamoso, has been the inadequate management of CDW (Construction and Demolition Waste), because these wastes have been disposed in dumps, illegal dumps and even in public spaces, ending the useful life of these wastes and causing environmental damage. According to national and international success stories, one of the solutions to this problem is the implementation of a plant for the use of CDW, through this article a feasibility and viability study was conducted to implement this type of plant in the municipality. This was done through: validation of the current management of CDW in the municipality; identification of usable and non-usable waste derived from CDW; and economic and financial analysis to implement the plant. Once these goals were met, it was concluded that the management of CDW in the municipality is

inadequate and the implementation of the CDW recovery plant is feasible and viable as an investment project.

Keywords: CDW, Management, Recovery, Disposal.

INTRODUCCIÓN

Ubicado en el centro-oriente del departamento de Boyacá en la República de Colombia, el municipio de Sogamoso se encuentra a una altitud de 2.569 metros sobre el nivel del mar, con un área de 210 kilómetros cuadrados y con una población cercana a los 110.000 habitantes, el 85% se concentra en el área urbana del municipio. La economía del municipio se basa principalmente en la industria de: siderurgia, minería, agricultura, materiales de construcción y comercio con departamentos vecinos, esto por medio de importantes rutas viales que comunican al municipio con el resto del país.

Consecuente a estas actividades y al desarrollo económico impulsado en la construcción de edificaciones verticales, e infraestructura vial a la que le está apostando tanto al sector público como el privado en el municipio, promoviendo empleo y dando respuesta a las necesidades de crecimiento, ha surgido una problemática para la gestión de escombros y/o materiales provenientes de la construcción, también llamados RCD (Residuos de Construcción y Demolición). Entre los años 2016 y 2018 en el municipio en promedio, se registraron 234.373 m² (metros cuadrados) de área intervenida por licencias urbanísticas otorgadas, generando cerca de 22.398 m³ (metros cúbicos) de RCD al año (Preciado, 2018), los cuales fueron dispuestos en: escombreras autorizadas por la alcaldía de Sogamoso poniéndolo fin a su ciclo de vida; y en su mayoría, en lugares no aptos para su disposición, como botaderos ilegales e incluso en el espacio público afectando negativamente el medio ambiente.

De acuerdo con casos de éxito nacionales e internacionales, una de las soluciones a esta problemática es la implementación de una planta de aprovechamiento de RCD en el sitio

afectado, logrando reciclar hasta un 95% de estos residuos, por lo que se contempla estudiar esta opción en el municipio, debido a que generaría excelentes resultados para gestionarlos adecuadamente y obtener nuevos materiales granulares para construcción también llamados áridos. Permitiendo ampliar su ciclo de vida y responder a una demanda progresiva de su utilización en obras públicas y privadas de los próximos años de acuerdo con la Resolución 472 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la cual resuelve que: anualmente debe ser incrementado el uso de los materiales provenientes del aprovechamiento de los RCD en un 2%, es decir, que para el caso del municipio de Sogamoso al tener más de 100.000 habitantes le corresponde la categoría “2” y se le exige que para el presente año el 8% del peso total de los materiales utilizados en obras de construcción de grandes generadores de RCD, deben ser materiales provenientes de RCD y para el año 2022 un 10%, y así incrementando sucesivamente, hasta alcanzar mínimo del 30%.

En el presente artículo se presenta el estudio de factibilidad y viabilidad para la implementación de la planta, por medio de: la validación de la gestión actual de los RCD en el municipio para su reutilización; la identificación de los residuos aprovechables y no aprovechables derivados de construcción y demolición para su tratamiento y comercialización; y el análisis económico y financiero para implementar la planta de aprovechamiento de RCD en el municipio. Para lograr estos objetivos, en la sección de materiales y métodos del presente artículo, se presenta los insumos y el proceso utilizado para el aprovechamiento de los RCD, de acuerdo con una metodología descriptiva. Adicionalmente, se presentan los resultados obtenidos y la discusión de la implementación de la planta respecto a componentes ambientales, técnicos, económicos y financieros y, a un estudio de RCD realizado por la Alcaldía del municipio de Sogamoso, que de igual forma evalúa la planta como la solución de la problemática planteada y

consecuentemente la oportunidad de obtener ingresos. Y por último se presentan las conclusiones junto con las referencias, tablas y figuras, mencionadas a lo largo del artículo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó una investigación de tipo descriptiva para describir las características y predimensionar la implementación de la planta de aprovechamiento de RCD en el municipio, respecto a los siguientes aspectos: 1. Ambientales: Se validó la gestión actual de los RCD para su reutilización; 2. Técnicos: Se identificó los residuos aprovechables y no aprovechables derivados de construcción y demolición para su tratamiento y comercialización; y 3. Económicos y financieros para la implementación de la planta y los ingresos que generaría.

En primer lugar, se planteó validar la gestión actual de los RCD en el municipio para su reutilización, teniendo como insumo principal el único estudio existente relacionado con los RCD del municipio: “Programa de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición del municipio de Sogamoso (PGIRS)” realizado por la alcaldía de Sogamoso en el año 2018. El cual tuvo como objetivo “realizar un estudio de factibilidad del programa de gestión integral de Residuos de Construcción y Demolición de acuerdo con la Resolución 472 de 2017 dentro del marco del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de Sogamoso, Boyacá” (Preciado, 2018). En dicho estudio, el autor realizó un diagnóstico de la problemática de los RCD en el municipio de acuerdo con: la situación actual de disposición final, los actores generadores, el ciclo de manejo, la prevención y reducción, la recolección y transporte, el almacenamiento y el aprovechamiento.

Cabe mencionar que de igual manera se utilizó la Resolución 472 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la cual “reglamenta la gestión integral de los residuos generados en las actividades de construcción y demolición – RCD y otras disposiciones”

(Res.472, 2017). Para el caso del presente artículo fue fundamental esta legislación para considerar: el aprovechamiento de los RCD; las medidas mínimas de manejo ambiental en puntos limpios y en plantas de aprovechamiento; las obligaciones de los gestores de RCD (incluye planta de aprovechamiento); metas de aprovechamiento de los RCD y; la postura de la Corporación Autónoma Regional (CAR) del departamento de Boyacá “CORPORBOYACÁ”, la cual Por medio de la circular externa 160-152-12398 del 25 de septiembre de 2019, se dirigió a los interesados de los RCD, como lo son las alcaldías municipales y los generadores, anunciando que con base en esta misma resolución, dará inicio al proceso de seguimiento y control de los RCD, resaltando que ante el incumplimiento de no implementar medidas y condiciones para asegurar la adecuada gestión integral de los RCD, serán objeto de procesos sancionatorios, así como el cierre preventivo de actividad y obras públicas y privadas que apliquen, y que carezcan de certificados de manejo, tratamiento o disposición final adecuada (CORPOBOYACÁ, 2019).

En respuesta a lo anterior, el municipio de Sogamoso en el año 2018 presentó su Programa de Gestión de Residuos (PGIRS) de construcción y demolición, cumpliendo con el artículo 17 de la mencionada resolución y con base en esto, pudo realizarse la validación de una gestión adecuada de los RCD en el municipio, comparando las exigencias de normas con el diagnóstico, y posteriormente se analizaron los resultados para fundamentar la necesidad de la implementación de la planta.

En segundo lugar, se identificaron los residuos aprovechables y no aprovechables derivados de construcción y demolición para su aprovechamiento y comercialización que se obtienen en el municipio, para esto fue fundamental la caracterización de los RCD realizada en el estudio de la alcaldía, donde se identificó el porcentaje de materiales encontrados en estos residuos. Respecto al aprovechamiento de los RCD, fue utilizada la cartilla de “Gestión Integral

de RCD” de la secretaria distrital de ambiente de la alcaldía mayor de Bogotá, D.C., donde se clasifican los materiales con potencial de aprovechamiento y los que no, esta cartilla expone que: “Los RCD resultan de las actividades de la construcción (demolición, excavación, construcción y/o reparaciones de las obras civiles) o de otras actividades conexas complementarias o análogas y de estos no existe una clasificación definida en la normatividad nacional” (Secretaría de ambiente, 2015). Esta cartilla brinda información “regional” de cómo y en que se usan estos materiales aprovechados.

En tercer lugar, de acuerdo con la validación de la gestión de los RCD y su identificación para ser aprovechados en el municipio, se realizó el análisis económico y financiero de la implementación de la planta de aprovechamiento de los RCD, que consistió en:

1. Realizar un análisis del sector de acuerdo con la generación de volúmenes de RCD de obras públicas al año y con proyecciones de metros cuadrados licenciados en el municipio. Para realizar este análisis se utilizó información del DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística) y el estudio de RCD del municipio. Seguidamente, se realizó un estudio de mercado, que consistió en indagar los precios de: la disposición de los RCD en lugares autorizados por la alcaldía, áridos (materiales granulares para construcción) de canteras y el precio de transporte de materiales. Cabe aclarar que estos son los productos que se consideraron para que estimar los ingresos monetarios de la planta.

2. Definir los procesos técnicos fundamentales para la gestión de los RCD y que puedan ser comercializados, de acuerdo con los flujos de procesos propuestos por Salvany (2012), determinando los insumos necesarios para la puesta en marcha de la planta como: la adecuación del terreno y la maquinaria. Respecto a los gastos mensuales de la operación, se evaluó: el arriendo del predio, los costos administrativos, el mantenimiento de maquinaria, etc. De igual

manera se realizó un estudio de mercado para determinar los precios de los insumos y gastos, y tomando como referencia datos de maquinaria de Guzmán y Soler (2019).

3. Evaluar la inversión de acuerdo al retorno esperado, por medio de índices económicos como: el índice de rentabilidad, el valor presente neto, la tasa interna de retorno y el periodo de recuperación, ya que se consideran herramientas útiles para evaluar financieramente proyectos de inversión, teniendo en cuenta el valor del dinero en el tiempo, queriendo decir con ello que emplean una tasa de interés de descuento. En general, esta es la tasa de interés de oportunidad del inversor (Álvarez, 2017), que para efectos de este estudio se estimó en un 16%.

Estos indicadores económicos permitieron consolidar las variables que se presenten a lo largo del proyecto incluyendo: costos, proyección de ventas, crecimiento del índice de precios del consumidor (IPC), depreciación, etc., a través de los años. Los indicadores económicos se obtuvieron de la proyección de un flujo de caja, “al ser el perfil de todos las entradas y salidas de dinero en diferentes momentos del horizonte del proyecto, resultante cuantitativo de la formulación y elemento básico para la evaluación del proyecto” (Miranda, 2005), que para efectos de este estudio el horizonte del proyecto se consideró de 5 años. El flujo de caja lo compuso: la proyección de ventas de acuerdo con el análisis del sector y el estudio de mercado; los costos de producción, los gastos de administración y ventas; entre otros conceptos. Cabe resaltar que las unidades monetarias que se utilizaron están representadas por las siglas COP (unidad monetaria de curso legal en la República de Colombia – ISO4217).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base con el estudio realizado por la alcaldía de Sogamoso respecto a la gestión de RCD en el municipio de acuerdo a la Resolución 472 de 2017 que entró en vigencia desde el año 2018, se encontró en su diagnóstico que el municipio no cuenta con tecnología para el

aprovechamiento de RCD y su manejo ha sido inadecuado (ver Figuras 1 y 2). “Por lo que se hace necesario establecer alternativas de gestión que busquen mitigar y prevenir la generación de impactos ambientales por la inadecuada disposición de este tipo de residuos” (Preciado, 2018).

Puede observarse en la Figura 1 un claro ejemplo de que la disposición de los RCD no es la adecuada, puesto que este lote baldío es un terreno que no está adecuado y tampoco licenciado para cumplir con la disposición final de estos residuos. Como este existen otros lotes, en los sectores: de Las Areneras, Monjas y los chircales en la vereda Pantanitos y en otros casos, invasión del espacio público y uso para relleno de “huecos” producto del deterioro de las vías.

Ahora, se evidenció que los generadores son definidos como pequeños y grandes, de acuerdo con la Resolución 472 del 2017, donde estipula que un gran generador es la persona natural o jurídica que obtiene una licencia urbanística mayor o igual de 2000 m² y un pequeño generador (persona natural o jurídica) áreas menores de 2000 m². Los grandes generadores están obligados a: 1. Utilizar RCD aprovechables en un porcentaje no inferior al 2% en peso del total de materiales usados en la obra por año, es decir que actualmente requieren el 8% y para el 2022 el 10%; y 2. Entregar los RCD a un gestor de RCD. Sin embargo, para los pequeños generadores solo aplica la segunda obligación. Es importante mencionar esto, pues al fin y al cabo, por obligación todos los generadores deben entregar sus RCD a un gestor, inclusive los costos de su disposición son considerados en licitaciones de obra pública, tanto de infraestructura vial como de edificación. A pesar de ser una obligación, no ha sido cumplido en su totalidad como se muestra en la Figura 1.

En cuanto al esquema operativo existe para la recolección de los RCD, se encontró que los residuos son divididos en aprovechables y no aprovechables, los no aprovechables son llevados a lotes baldíos o a la única escombrera del municipio donde terminan su vida útil, y los

aprovechables, son llevados por vehículos de tracción animal o coches triciclos a zonas aledañas a ríos y quebradas para realizar su disposición ilegal o son utilizadas para rellenar huecos y/o baches de vías que en su mayoría no están pavimentadas.

De acuerdo con el diagnóstico realizado en el estudio de RCD del municipio, se encontró que los generadores de RCD no tienen en cuenta medidas de prevención y reducción de los RCD, generándolos debido a dos aspectos: el primero, no existen unos lineamientos para su gestión y en el segundo, hay un manejo inadecuado de los materiales en las obras de construcción. Como puede observarse en la Figura 2, la gestión de RCD en obra generalmente no es la apropiada, pues se ve como residuos de madera, acero, concreto y plástico no están separados, se ha concluido que la primera gestión para el ideal aprovechamiento de los RCD es que estén separados desde la obra.

Respecto al almacenamiento y aprovechamiento, se encontró que el municipio no cuenta con sitios para el almacenamiento de los RCD, los cuales son denominados en la Resolución 0472 de 2017 en su artículo 17 como puntos limpios. Este almacenamiento está a cargo de los responsables de la obra de construcción y en algunos casos pueden rentar lotes para su almacenamiento, incluso estos residuos pueden ser explanados y distribuidos uniformemente para aumentar el nivel del suelo, sin embargo, al no tener un tratamiento previo este relleno puede no tener las características suficientes para soportar cargas de un edificio, o paso de vehículos. En cuanto al aprovechamiento, en el municipio no existe una planta de aprovechamiento que realice una gestión completa de RCD, pero si una empresa que presta el servicio de su disposición final.

De acuerdo con las alternativas de gestión de RCD de la cartilla “Gestión Integral de RCD” y la caracterización realizada en el estudio de RCD en el municipio, en la Tabla 1 se

presentan los porcentajes promedio de materiales que componen los RCD generados en el municipio al año, entre los años 2016 y 2018, teniendo en cuenta una densidad promedio de RCD de 1246 kg/m³ y para residuos de excavación de 1500 kg/m³, según Preciado (2018).

Con base en la clasificación de los RCD generados en el municipio de Sogamoso y a la identificación de los materiales aprovechables, se planteó reciclar por lo menos el 95% de los RCD en la planta de aprovechamiento, debido a que con la maquinaria adecuada se pueden producir insumos de construcción de carreteras y agregados de concretos y/o morteros, también llamados áridos, como se señala en la Tabla 1. Los materiales que pueden ser aprovechados para este fin son los que presentan los mayores porcentajes de presencia en los RCD. Adicionalmente, se consideró que el 5% restante puede ser suministrado a pequeños recicladores, debido a que la planta no contempla la gestión de los materiales como madera, plástico, vidrio, etc. para su comercialización, o en su defecto, realizar su disposición final en sitios autorizados.

El resultado final del aprovechamiento de los RCD podrá ser utilizado como áridos finos y gruesos, debido a que se ha demostrado que el uso de los residuos de demolición como el concreto generan impactos positivos debido a su implementación como material alternativo de construcción, tal es el caso de las bases y sub-bases granulares destinadas al soporte de pavimentos, mediante procesos de compactación que garantizan un incremento de su densidad y, por ende, una mejora de sus propiedades mecánicas (Peña Muñoz, 2018).

En Colombia, la industria de la construcción consume el 40% de la energía, genera el 30% del CO₂ y el 40% de los residuos. Consume el 60% de los materiales extraídos de la tierra. Adicionalmente, en la construcción se desperdicia el 20% de todos los materiales empleados en la obra (Minambiente, 2017). De acuerdo con este diagnóstico de la principal actividad económica que genera RCD en Colombia, puede decirse que el municipio de Sogamoso no es la

excepción, donde la construcción es un pilar fundamental en su economía y ha sido sujeta para realizarse de una manera sustentable. El municipio al ser categoría “2” por contar con una población de más de 100.000 habitantes, está sujeta a responder a la demanda generada por materiales aprovechados de RCD, en atención a la resolución 472 de 2017.

De acuerdo con los datos del DANE, mostrados en la Figura 3 desde enero de 2018 hasta febrero de 2021, el área total licenciada en Colombia se ha mantenido en un rango entre 1'700.000 y 2'100.000 m², disminuyendo en el 2020 por causa de la pandemia mundial causada por el virus COVID-19, sin embargo, puede verse como en febrero de 2021 comparado con febrero de 2020, hubo un aumento de aproximadamente el 5%, lo cual es positivo y representa indicios del aumento de demanda de áridos para la construcción, y que consecuentemente los constructores estarán en la obligación de dar cumplimiento a la Resolución 472 de 2017.

En el caso del municipio de Sogamoso, de acuerdo con el estudio de RCD realizado por el municipio, Preciado (2018) recopiló información acerca de los metros cuadrados licenciados desde el año 2000 hasta el año 2018, omitiendo datos entre el 2012 y 2015, debido a que no le fue posible contar con esta información. En la Figura 4 se presenta la dinámica de la construcción en el municipio respecto a las licencias urbanísticas entregadas, donde el comportamiento de la construcción en el municipio de Sogamoso es progresivo a pesar de ser volátil, porque depende factores como: subsidios del gobierno para compra de vivienda, disposición de los bancos para préstamos de construcción, proyectos viales, etc. Sin embargo, al calcular la ecuación lineal del comportamiento, se proyectó en la Figura 4 esta línea de tendencia que representa un aumento en actividades la construcción de aproximadamente un 5% anual.

Ahora, para el caso en específico de la generación de RCD, al realizar la proyección con los únicos datos que se cuentan de los años 2016, 2017 y 2018, se contempla un crecimiento

lineal hasta el año 2021, a partir del año 2022 teniendo en cuenta que el horizonte del proyecto es de 5 años, se evalúa la proyección con un crecimiento del 5% de acuerdo con los datos del DANE y de las licencias urbanísticas del municipio, dando como resultado que en el año 1 y 5 se generarían 24.919 m³ y 31.803 m³ de RCD en el municipio, respectivamente (ver Figura 5).

En el municipio de Sogamoso, existe una empresa privada que presta el servicio de “ingreso de RCD” para su disposición final, llamada Eco Acción Ingeniería e.s.p., por un costo de \$15.800 COP por m³, sin embargo, no comercializan áridos provenientes del aprovechamiento de los RCD. Adicionalmente, presenta el servicio de tratamiento de residuos de RCD como “lonas o bolsas de cemento y sus derivados” por \$550 COP el kilo. Esta empresa se encuentra ubicada a aproximadamente 1 kilómetro más alejada de las vías principales del lugar donde se propone la planta de aprovechamiento de RCD del presente artículo (Ver Figura 6). Si bien en el año 2020 la alcaldía de Sogamoso promovió el uso de una escombrera en el sector de los Alpes (ubicada a 3 km del centro del municipio) donde no se cobra por la disposición de RCD, esta disposición se hace dentro de unas cárcavas generadas por actividades mineras de dicho sector, lo que afecta geomorfológicamente el subsuelo y causa un deterioro ambiental en sus zonas aledañas, pues los RCD contienen materiales no se integran naturalmente con los tipos de suelo en los que tradicionalmente se han abierto estos agujeros.

Para la indagación de los precios, se utilizaron: los precios de referencia del INVIAS (2020) para el departamento de Boyacá en el periodo 2020-2; los precios de contratos de suministro de material para construcción de la alcaldía de Sogamoso en los procesos licitatorios: IMC-057-2019 (2019), SASI-001-2020 (2020) y SASI-019-2020 (2021); y una cotización de la única empresa que realiza disposición final de RCD. Con estos precios se obtuvo el promedio de los precios del mercado de cada producto contemplado para comercializar en la Tabla 2.

Respecto a los precios de transporte, estos fueron consultados en las mismas fuentes. Si bien, la planta presta el servicio de gestión de RCD para comercializar áridos, para complementar estos productos debe contarse con el servicio de transporte de materiales, que es un punto a favor para los clientes. Este servicio transporta los materiales desde la planta hasta la obra de construcción del cliente y recoge los RCD de la obra para llevarlos a la planta. En la Tabla 3 para efectos de utilizar valores enteros se determinaron los precios de: 1. m³ de material reciclado entregado en planta, 2. m³ de gestión de RCD recibido en planta y 3. m³/km de servicio de transporte de material o de RCD.

Respecto a los insumos necesarios para la puesta en marcha de la planta, en primer lugar la localización de la planta de aprovechamiento, es un factor clave, ya que debe ser un predio cercano a la zona industrial y urbana del municipio de Sogamoso y sus alrededores, con diferentes vías de acceso pavimentadas y que cuente con amplias zonas para la recepción y tratamiento de los RCD, por lo cual se optó por la localización ilustrada en la Figura 6, y en la Tabla 4 se encuentran las características del predio.

La ubicación del predio es estratégica, debido a que la ruta “62”, que es la vía por donde está el acceso, la alimenta un corredor vial de doble calzada pavimentada que la conecta directamente con la zona urbana del municipio de Sogamoso, aumentando la seguridad vial y disminuyendo tiempos de los recorridos del transporte. Adicionalmente, al estar a menos de 4 km de varias plantas cementeras y concreteras como Holcim, Argos y Colconcretos, se pueden formar vínculos empresariales para el suministro de materiales, de igual manera podrán formarse vínculos con otras industrias para que se les sea gestionado sus RCD. En cuanto a las características técnicas del predio, son ideales debido a que como se muestra en la Figura 6, este predio hizo parte de un predio más grande que fue ocupado por la concesión vial Briceño –

Tunja – Sogamoso (BTS), donde se almacenaron materiales e insumos para construcción, entre ellos granulares y maquinaria pesada. Esto requirió adecuar el terreno con afirmados que nivelaran y estabilizaran el terreno, aumentando su capacidad de resistencia para la acumulación de materiales y garantizando la libre movilización interna de maquinaria pesada.

En segundo lugar, se determinaron los insumos de maquinaria y operación, y de gastos mensuales necesarios para el aprovechamiento de los RCD, estos son presentados en las Tablas 5, 6 y 7, junto con capacidades técnicas, cantidades y valores comerciales, de acuerdo con indagaciones realizadas tomando como referencia a Guzmán y Soler (2019). A continuación, se describe el proceso técnico para el aprovechamiento y paralelamente se nombran sus insumos:

1. Recepción y pesaje: Este proceso consta en la recepción de los RCD y posteriormente pesaje del material recibido, con el fin de: recibir adecuadamente los residuos y si es posible clasificados, y llevar un control de toneladas recibidas, de lo contrario su clasificación se hará en el siguiente proceso. Para este proceso se contempló contar con: una volqueta de capacidad de 11 m³ o más, para prestar el servicio de recoger escombros y de llevar material, y una báscula para pesar los residuos que entran a la planta y el producto que sale.

2. Separación: Luego de la recepción y pesaje, se descargan los RCD y se realiza la separación de los materiales que no estén clasificados, a través de dos medios: el primero, es el manual para materiales fáciles de identificar como: madera, metales, plásticos, etc., y el segundo, por medio de una tolva, separando materiales con tamaños de 0-60 milímetros (mm), > 60 mm y < 250 mm, de acuerdo con Chavéz (2014).

3. Almacenamiento: Al separar y clasificar los RCD aprovechables, se procede a su almacenamiento en las diferentes zonas de la planta, esto con el fin de que cuando se obtenga

suficiente material y de acuerdo a solicitudes de clientes se realice el proceso necesario para obtener los productos requeridos en el aprovechamiento.

4. Aprovechamiento: Seguido de los pasos anteriores y de acuerdo con los requisitos de clientes y la demanda del mercado, se procede a su aprovechamiento, donde los RCD aprovechables que han sido almacenados son tratados para la obtención de un producto, por medio del siguiente proceso: (i). A través de una banda se transporta el material clasificado hasta una trituradora de mandíbula para reducir tamaños de las partículas en fracciones de < 35 mm y > 35 mm; (ii). Por medio de otra banda se transporta el material reducido a un separador magnético con el fin de separar el acero, alambres, o cualquier material férrico. (iii). Por medio de otra banda se transporta el material sin férricos a la trituradora de impacto, la cual reduce significativamente el tamaño de las partículas hasta tamaños menores a 10 mm. (iv). Finalmente, el material es transportado por otra banda hasta una criba vibratoria, la cual realiza el tamizaje y clasificación final del material y por medio de otras dos bandas se separan los materiales para control de calidad por medio de ensayos de laboratorio de acuerdo a normatividad INVIAS o la solicitada por el cliente (Chavéz, 2014).

5. Almacenamiento de productos: Obtenidos los productos luego de su aprovechamiento, son cuantificados y almacenados de acuerdo con sus especificaciones técnicas en condiciones que no afecten sus propiedades ni que puedan sufrir alteraciones por factores externos para ser comercializados.

En la Tabla 8 se presentan las cantidades de RCD utilizadas para el análisis económico y financiero, donde se contempló que la cantidad de RCD con la que se trabajaría en la planta sería del 65% del total generado en el municipio durante el horizonte del proyecto de 5 años este porcentaje se obtiene del cálculo que aproximadamente el 45% del total de RCD generados,

proviene de obras públicas y teniendo en cuenta que estas obras están en la obligación de cumplir con la correcta disposición de sus RCD, se estima que con el precio competitivo frente a la empresa que también presta estos servicios, se podrá acaparar el 35% del total. Sumado a este porcentaje se contempló un 30% más para no superar la capacidad de las volquetas, teniendo en cuenta que aproximadamente cada una demora 2 horas en sus trayectos de cargue o descargue de materiales, es decir el haber contemplado dos volquetas con capacidad de mínima de 11 m³ garantizaría que la cantidad de RCD a gestionar en la planta sea de 11 m³/h, siendo esta misma capacidad la cantidad proyectada para el año 5, para gestionar en la planta considerando una intensidad de trabajo de 40 horas semanales.

Del 65% de RCD que se generara en el municipio, se contempla obtener ingresos por: 1. la gestión del 100% de los mismos, 2. el aprovechamiento del 95% para la venta de materiales para construcción o áridos, y 3. el transporte del 50% para la recolección y/o entrega del material aprovechado, teniendo en cuenta trayectos de 12 km, y que comúnmente los generadores de RCD tienen sus volquetas para llevar los residuos hasta el punto de disposición (ver Tabla 8).

En la Tabla 9 se presentan los datos necesarios para realizar el flujo de caja, como el de la financiación, donde se contempló financiar la suma de los insumos de maquinaria y los necesarios para la operación de la planta con una tasa de interés anual del 16%, que se consideró adecuada en diferentes entidades bancarias para un plazo de 5 años. De igual manera se contemplaron los impuestos para persona jurídica del 32% anual de acuerdo con la DIAN (Dirección de Impuestos y Aduanas Nacional), inflación del 5% de acuerdo con datos del DANE y también para estimar el incremento de salarios del 5%, y por último se contemplaron las depreciaciones para la maquinaria, las instalaciones, y los muebles y equipos en 20, 15 y 10 años, respectivamente.

En la tabla 10 es presentado el flujo de caja de la planta, donde se proyectaron los ingresos por el servicio de gestión de RCD, venta de material de construcción y los servicios de transporte, con ventas superiores a mil millones de pesos por año. A estos ingresos por año se les restaron los egresos, contemplando los gastos mensuales y depreciaciones para obtener la utilidad operacional, a la cual se le restaron los gastos financieros por intereses del préstamo bancario para obtener la utilidad antes de impuestos, a esto se le restan los impuestos y se obtuvo la utilidad neta a la que, se le restó la amortización del préstamo y se obtuvo el flujo de caja neto.

Con los datos del flujo de caja neto, fue posible obtener los indicadores económicos presentados en la Tabla 11. La tasa interna de retorno (TIR) fue valorable al ser casi el doble de la tasa de interés anual y de la tasa de oportunidad del 16%. El valor presente neto (VPN) igualmente fue favorable, debido a que es mayor de 0. La rentabilidad también fue favorable, siendo de 26% mayor al 16% de tasa de oportunidad. El periodo de recuperación estimado fue de 3 años, el cual es favorable al ser menor que el horizonte del proyecto de 5 años. Por lo anterior pudo afirmarse que la implementación y operación de la planta es rentable.

En el estudio de RCD realizado por el municipio en el año 2018, en su estudio de factibilidad para implementar un programa de gestión de residuos, se evaluaron tres alternativas. La Alternativa 1, consistió en un sitio de disposición final de RCD del municipio, que contemple la adecuación del predio y maquinaria similar a la que se propone en el presente artículo. La Alternativa 2 consiste en que exista un gestor de RCD para que ejecute la gestión integral de los residuos. Por último, la Alternativa 3 consiste en que la recolección y transporte y posible aprovechamiento sea realizado por un gestor de RCD y que el municipio implemente el sitio de disposición final de RCD. Esta última alternativa no se discutió debido a que en dicho estudio se

concluyó que, deben analizarse más a fondo los costos y condiciones, y no es claro si el gestor o el municipio asume el costo de la maquinaria.

La Alternativa 1, Preciado (2018) realizó un análisis financiero para su implementación, donde el cálculo del total de costos de inversión inicial fue de 1.537.302.695 COP, casi el doble de lo que se plantea en este artículo (ver Tabla 5) y únicamente ofrecen el servicio de disposición final de m³ de RCD por 25.000 COP, obteniendo un punto de equilibrio en el segundo año, contando con que la mayoría de los RCD generados en el municipio sean llevados hasta el punto de disposición final, lo que es complejo debido a que persisten sitios no adecuados donde se disponen estos residuos sin necesidad de que el generador pague, arriesgándose a que sea multado. Esta toma de riesgos surge por no pagar el alto precio propuesto por el estudio del municipio para la disposición final de RCD, el cual es casi el doble al evaluado en este artículo.

Respecto a la Alternativa 2, en el estudio del municipio se calificó como más viable, con lo que se está de acuerdo y se valida, debido a que pueden ser evaluadas diferentes propuestas para la gestión integral de RCD por parte de gestores autorizados (refiriéndose al sector privado en el cual encajaría la planta de aprovechamiento), para reducir tarifas con mayores beneficios, ya que, efectivamente el costo de disposición final de RCD contemplado en este artículo de 12.000 COP es menor al propuesto en el estudio del municipio de 25.000 COP y brinda mayores beneficios, ampliando el ciclo de vida de los RCD convirtiéndolos áridos para la construcción.

Finalmente, en el estudio de RCD del municipio, se concluye que Sogamoso no es gran generador de RCD. Quizás para 2018 era cierto, pero actualmente no es así, pues en el último año ha habido un crecimiento exponencial de obras de construcción, un ejemplo claro es la obra de la variante Sogamoso, que durará 2 años y generará 373.255 m³ de RCD y 8'290.588 m³/km de transporte de materiales provenientes de excavaciones (INVIAS - LP-DT-056-2020 , 2020).

CONCLUSIONES

Se logró validar la gestión actual de los RCD en el municipio para su reutilización, utilizando como insumo principal el “Programa de Gestión de Residuos de Construcción y Demolición del municipio de Sogamoso (PGIRS)” realizado por la alcaldía en el año 2018, donde se encontró que la gestión actual es inadecuada, debido a que: no hay separación de los residuos generados desde la obra y su disposición final se hace en lugares no aptos, como botaderos ilegales a cielo abierto o incluso en el espacio público, afectando el medio ambiente, además de no existir un gestor de RCD que incluya el aprovechamiento estos residuos.

La identificación de los residuos aprovechables y no aprovechables derivados de construcción y demolición para su tratamiento y comercialización fue completa, debido a que se obtuvo la caracterización de todos los materiales que se encuentran en los RCD generados en el municipio, permitiendo corroborar que pueden obtenerse áridos de construcción producto del aprovechamiento de: material de excavación, material fino revuelto, concreto, mortero, ladrillo/bloque y cerámicas, es decir más del 95% de los RCD generados puede ser reciclado.

Respecto al análisis económico y financiero para la implementación de la planta, se obtuvieron los datos necesarios del DANE y del municipio en cuanto a licencias de construcción de los últimos 20 años, donde se encontró que ha habido un crecimiento del 5%, por lo que se utilizó el mismo porcentaje para contemplar el crecimiento en ventas que obtendría la planta en el horizonte del proyecto. En cuanto al precio de los productos ofrecidos para proyectar los ingresos, se lograron obtener por medio del estudio de mercado con entidades públicas y privadas, de igual manera los precios de los insumos para la puesta en marcha y operación de la planta, lo que permitió realizar el flujo de caja para obtener los 4 indicadores económicos (TIR, VPN, Rentabilidad y PR), que al interpretarlos se concluye que el proyecto es factible y viable.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía de Sogamoso. (12 de Abril de 2019). *IMC-057-2019 - ESTUDIOS PREVIOS PARA EL SUMINISTRO MATERIALES DE CANTERA NECESARIO PARA LA CONSTRUCCION RECUPERACION Y ADECUACION DEL ESPACIO PUBLICO INCLUYENTE*. Obtenido de Secop I: <https://n9.cl/755cs>
- Alcaldía de Sogamoso. (16 de Marzo de 2020). *SASI-001-2020 - CONTRATO DE SUMINISTRO DE BASE SUBBASE AFIRMADO Y MATERIALES GRANULARES PARA LA CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA PARA MEJORES VIAS MEJOR CALIDAD DE VIDA*. Obtenido de Secop I: <https://n9.cl/p2f56>
- Alcaldía de Sogamoso. (26 de Enero de 2021). *SASI-019-2020 - CONTRATO DE SUMINISTRO DE MATERIALES DE CANTERA BASE GRANULAR Y SUB-BASE GRANULAR PARA LA CONSTRUCCION Y MANTENIMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA*. Obtenido de Secop I: <https://n9.cl/lj0g>
- Álvarez, F. (Agosto de 2017). *TÉCNICAS PARA EVALUAR FINANCIERAMENTE PROYETOS DE INVERSIÓN*. Obtenido de Universidad ICESI - Departamento Contable y Financiero: https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/bitstream/10906/83189/1/alvarez_tecnica_s_evaluar_2017..pdf
- Chavéz, A. P. (3 de Febrero de 2014). *UNIDAD LOGÍSTICA DE RECUPERACIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN: ESTUDIO DE CASO BOGOTÁ D.C.* Obtenido de Universidad Militar Nueva Granada: <http://www.scielo.org.co/pdf/cein/v23n2/v23n2a06.pdf>
- CORPOBOYACÁ. (25 de Septiembre de 2019). *CORPOBOYACÁ*. Obtenido de Circular externa 160-152-12398: <https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2019/09/circular-externa-160-152-12398.pdf>
- Dane. (15 de Abril de 2021). *Departamento Administrativo Nacional de Estadística*. Obtenido de Bolétin Técnico Licencias de Construcción (ELIC): https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/boletines/licencias/bol_lic_feb21.pdf
- Guzmán, M. y Soler, A. (2019). *Estudio de factibilidad para la creación de una planta para el aprovechamiento de los residuos de la construcción y demolición (RCD) en Bogotá*. Obtenido de Universidad de La Salle: https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_industrial/117
- INVIAS - LP-DT-056-2020 . (20 de Octubre de 2020). *FORMULARIO 1 MI, PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA VARIANTE DE SOGAMOSO*. Obtenido de Secop II: <https://community.secop.gov.co/Public/Tendering/ContractNoticeManagement/Index?currentLanguage=es-CO&Page=login&Country=CO&SkinName=CCE>

- INVIAS. (Diciembre de 2020). *APUS Boyacá 2020-2*. Obtenido de Análisis de Precios Unitarios de referencia: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/analisis-precios-unitarios/11204-apus-boyaca-2020-2/file>
- Minambiente. (3 de Marzo de 2017). *Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible*. Obtenido de Minambiente reglamenta manejo y disposición de residuos de construcción y escombros: <https://www.minambiente.gov.co/index.php/noticias/2681-minambiente-reglamenta-manejo-y-disposicion-de-residuos-de-construccion-y-escombros>
- Miranda, J. (2005). *GESTIÓN DE PROYECTOS*. Bogotá, D.C.: MM Editores.
- Peña Muñoz, S. T.-J. (21 de Febrero de 2018). *Evaluación de las propiedades de residuos de construcción y demolición de concreto para su uso en la elaboración de sub-bases granulares. Una alternativa al manejo de residuos en el Valle de Aburrá*. . Obtenido de Cuaderno Activa, 10(1), 79-90.: <https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/496>
- Preciado, E. (2018). *Programa de gestión de residuos de construcción y demolición del municipio de Sogamoso*. Sogamoso: Alcaldía de Sogamoso.
- Res.472. (28 de Febrero de 2017). *Resolución 472 de 2017*. Obtenido de Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible: <https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/resoluciones/3a-RESOLUCION-472-DE-2017.pdf>
- Salvany, J. (Diciembre de 2012). *Gestión de Residuos de la Construcción y Demolición (RCD) - Primer Foro Internacional para la Gestión y Control de los Residuos de la Construcción y Demolición -RCD-*. Obtenido de Secretaría Distrital de Ambiente: <http://ambientebogota.gov.co/documents/664482/0/JorgeSalvanyBarcelona1.pdf>
- Secretaría de ambiente. (2015). *Gestión Integral de RCD*. Obtenido de Alcaldía Mayor de Bogotá, D.C.: <http://www.ambientebogota.gov.co/web/publicaciones-sda/cartilla-rcd>

TABLAS Y FIGURAS

Lista de tablas

<i>Tabla 1 Porcentaje de materiales en los RCD generados en el municipio de Sogamoso al año.</i>	24
<i>Tabla 2 Precios obtenidos del estudio de mercado.</i>	25
<i>Tabla 3 Precios utilizados para la evaluación económica.</i>	25
<i>Tabla 4 Características del predio para la implementación de la planta de aprovechamiento RCD.</i>	25
<i>Tabla 5 Insumos de maquinaria.</i>	26
<i>Tabla 6 Insumos para la operación de la planta.</i>	26
<i>Tabla 7 Gastos mensuales para la operación de la planta.</i>	26
<i>Tabla 8 Cantidad de RCD contemplados para realizar la evaluación económica.</i>	27
<i>Tabla 9 Datos utilizados para realizar el flujo de caja.</i>	27
<i>Tabla 10 Flujo de caja de la planta de aprovechamiento de RCD.</i>	28
<i>Tabla 11 Indicadores económicos.</i>	28

Lista de figuras

<i>Figura 1 Inadecuada disposición de RCD en el lote de la Cra 27 con Calle 1 - Sogamoso.</i>	29
<i>Figura 2 Almacenamiento actual de RCD en obras del municipio.</i>	29
<i>Figura 3 Área total licenciada en m² en 302 municipios de los 32 departamentos de Colombia – Enero de 2018 hasta febrero de 2021.</i>	30
<i>Figura 4 Metros cuadrados de licencia urbanística en el municipio de Sogamoso 2000-2018.</i>	30
<i>Figura 5 Proyección de m³ de RCD generados en el municipio de Sogamoso.</i>	31
<i>Figura 6 Localización de la planta de aprovechamiento RCD.</i>	31

TABLAS

Tabla 1 Porcentaje de materiales en los RCD generados en el municipio de Sogamoso al año.

Material de RCD	%	Volumen (m3)	Peso (Ton)	Aprovechables	Alternativa de aprovechamiento
Excavación	61.18%	12 698	19 048	Si se clasifica	Reutilización como áridos finos y gruesos, para relleno, recuperación de taludes y estabilización de suelos
Material fino revuelto	18.02%	4 503	5 611	Si se clasifica	Reutilización como áridos finos y gruesos
Ladrillo/bloque	6.55%	1 637	2 039	Si	Reutilización como áridos finos y gruesos
Concreto	6.51%	1 628	2 028	Si	Reutilización como masa para rellenos, suelos en carreteras y reciclaje como grava suelta, para producción de morteros, cementos y como granulado
Mortero	4.54%	1 135	1 414	Si	Reutilización como masa para rellenos, suelos en carreteras y reciclaje como grava suelta, para producción de morteros, cementos y como granulado
Cerámica	1.94%	484	603	Si	Reciclaje como adoquín, fachada y acabados
Madera	0.46%	114	143	Si	Reutilización para casetones, vallados y linderos
Plástico	0.25%	63	79	Si	Reciclaje como plástico
Metales	0.25%	62	77	Si	Reutilización para aplicación en otros productos y como aleación
Teja de barro	0.21%	53	66	Si	Reutilización como áridos finos y gruesos
Cartón	0.03%	9	11	Si	Reciclaje como cartón
Vidrio	0.03%	9	11	Si	Reciclaje para vidrio
Bolsas de cemento	0.01%	2	2.8	Si	Reutilización para empaques de cemento. Aplica de acuerdo a políticas establecidas por empresas cementeras.
Residuos peligrosos	0.00%	0	0.60	No	
Icopor	0.00%	0	0.60	No	
TOTAL	100%	22 398	26 301		

Nota. Adaptado del PGIRS de RCD del municipio de Sogamoso del año 2018 de acuerdo con la cartilla de “Gestión Integral de RCD”.

Tabla 2 Precios obtenidos del estudio de mercado.

ítem	Unidad	INVIAS APUS Boyacá 2020-2	Contratos de la alcaldía de Sogamoso (número de proceso y año)			Empresa: Eco-acción ingeniería	Promedio
			SASI-019- 2021 (2021)	SASI-001- 2020 (2020)	IMC-057- 2019 (2019)		
Arena	m3	78 556	56 140		3 800		46 165
Bases granulares	m3	57 000	43 892	43 892	47 520		48 076
Gravilla	m3	78 556	78 475		77 000		78 010
Rajón	m3	61 000		46 618	51 840		53 153
Subbases granulares	m3	45 613		41 589	45 360		44 187
Disposición de RCD	m3	8 000				15 800	11 900
Transporte de materiales	m3/km	1 331			1 200		1 266

Nota. Elaboración propia.

Tabla 3 Precios utilizados para la evaluación económica.

Producto	Valor utilizado para la eval. Económica (COP)
1. m3 de material reciclado entregado en planta.	54 000
2. m3 de gestión de RCD recibido en planta.	12 000
3. m3/km de servicio de transporte de material o de RCD.	1 300

Nota. Elaboración propia.

Tabla 4 Características del predio para la implementación de la planta de aprovechamiento RCD.

Características	Resultado
Ubicación	Límite entre los municipios de Sogamoso (Norte) y Nobsa (Sur)
Latitud	5°45'25.77"N
Longitud	72°56'9.18"O
Ancho (entrada de vehículos)	40 m
Profundidad	400 m
Área total	16 000 m ²
Distancia a la zona urbana del municipio de Sogamoso	5 km
Distancia a la zona industrial del municipio de Sogamoso	4 km

Características	Resultado
Nombre de la Ruta de la vía de acceso	“62” Transversal Del Cusiana
Uso del suelo	Industrial
Adecuado para alojamiento de materiales de construcción y manipulación de maquinaria pesada	Si

Nota. Elaboración propia.

Tabla 5 Insumos de maquinaria.

Insumo	Capacidad	Cantidad	Valor comercial	Valor total
Volqueta	≥ 11 m ³	2	190 000 000	380 000 000
Bascula	35 Ton	1	22 000 000	22 000 000
Retroexcavadora "pajarita"	7 Ton	1	100 000 000	100 000 000
Tolva de alimentación	30 Ton/h	1	20 000 000	20 000 000
Bandas transportadoras	30 Ton/h	6	11 000 000	66 000 000
Trituradora de mandíbula	20 Ton/h	1	12 000 000	12 000 000
Separador magnético	10 Ton/h	1	12 000 000	12 000 000
Trituradora de impacto	10 Ton/h	1	25 000 000	25 000 000
Criba vibratoria para tamizaje y separación de materiales	30 Ton	1	30 000 000	30 000 000
			Total	667 000 000

Nota. Elaboración propia.

Tabla 6 Insumos para la operación de la planta.

Actividad	Unidad	Cantidad	Valor comercial	Valor total
Adecuación del terreno	Ha	1.6	1 000 000	1 600 000
Accesos	Un	1.0	2 000 000	2 000 000
Construcción de instalaciones	m ²	200	500 000	100 000 000
Muebles y equipos tecnológicos	Global	1	15 000 000	15 000 000
Cerramiento del predio	km	0.88	10 000 000	8 800 000
Gestión administrativa (diseño técnico de la planta y tramites con las entidades respectivas)	Global	1	24 000 000	24 000 000
			Total	151 400 000

Nota. Elaboración propia.

Tabla 7 Gastos mensuales para la operación de la planta.

Gastos mensuales	Unidad	Cantidad	Valor comercial	Valor total
Arriendo del predio	Mes	1	4 000 000	4 000 000
Costos administrativos (Servicios, publicidad, pólizas, capacitaciones, contador, etc.)	Mes	1	7 000 000	7 000 000

Gastos mensuales	Unidad	Cantidad	Valor comercial	Valor total
Mantenimiento de maquinaria	Mes	1	4 000 000	4 000 000
Gerente	Salario	1	3 200 000	3 200 000
Administrador de planta	Salario	1	2 400 000	2 400 000
Conductor de volqueta	Salario	1	1 300 000	1 300 000
Operarios de maquinaria	Salario	2	1 000 000	2 000 000
Obreros	Salario	3	1 000 000	3 000 000
Vigilante	Salario	2	1 000 000	2 000 000
Prestaciones legales	%	50	9 900 000	4 950 000
Combustible (Volqueta y retroexcavadora)	Galones	500	10 000	5 000 000
			Total mensual	38 850 000
			Total anual	466 200 000

Nota. Elaboración propia.

Tabla 8 Cantidad de RCD contemplados para realizar la evaluación económica.

Ítem	Unidad	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Cantidad de RCD (65% del total)	m3/año	17 007	17 857	18 750	19 688	20 672
	m3/mes	1 417	1 488	1 563	1 641	1 723
	m3/hora	9	9	10	10	11
Gestión de RCD (100%)	m3	17 007	17 857	18 750	19 688	20 672
Venta de material (95%)	m3	16 157	16 964	17 813	18 703	19 638
Transporte de RCD y material aprovechado (50%)	m3	8 503	8 929	9 375	9 844	10 336
Servicio de transporte para 12 km	m3/km	102 041	107 143	112 501	118 126	124 032

Nota. Elaboración propia.

Tabla 9 Datos utilizados para realizar el flujo de caja.

ítem	Resultado	Unidad
Valor a financiar	818 400 000	
Tasa de interés anual	16%	
Plazo	5	años
Cuota	249 947 038	
Impuestos	32%	
Inflación	5%	
Incremento Salario	5%	
Depreciación maquinaria	20	años
Depreciación instalaciones	15	años
Depreciación muebles y equipos	10	años

Nota. Elaboración propia.

Tabla 10 Flujo de caja de la planta de aprovechamiento de RCD.

ítem	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Ingresos		1 209 190 842	1 333 132 904	1 399 789 549	1 469 779 026	1 543 267 978
Gestión de RCD		204 082 843	225 001 334	236 251 401	248 063 971	260 467 169
Venta de material para construcción		872 454 152	961 880 703	1 009 974 738	1 060 473 475	1 113 497 148
Servicio de transporte		132 653 848	146 250 867	153 563 410	161 241 581	169 303 660
Egresos		448 436 667	468 746 667	490 072 167	512 463 942	535 975 305
Arriendo del predio		48 000 000	50 400 000	52 920 000	55 566 000	58 344 300
Gastos administrativos		84 000 000	88 200 000	92 610 000	97 240 500	102 102 525
Mantenimiento de maquinaria		48 000 000	50 400 000	52 920 000	55 566 000	58 344 300
Nomina		226 200 000	237 510 000	249 385 500	261 854 775	274 947 514
Depreciación maquinaria		33 350 000	33 350 000	33 350 000	33 350 000	33 350 000
Depreciación instalaciones		7 386 667	7 386 667	7 386 667	7 386 667	7 386 667
Depreciación muebles y equipos		1 500 000	1 500 000	1 500 000	1 500 000	1 500 000
Combustible		60 000 000	63 000 000	66 150 000	69 457 500	72 930 375
Utilidad operacional		760 754 176	864 386 237	909 717 382	957 315 085	1 007 292 672
Gastos financieros (Intereses)		130 944 000	111 903 514	89 816 550	64 195 672	34 475 454
Utilidad antes de impuestos		629 810 176	752 482 723	819 900 832	893 119 413	972 817 219
Impuestos		201 539 256	240 794 471	262 368 266	285 798 212	311 301 510
Utilidad neta		428 270 920	511 688 252	557 532 566	607 321 201	661 515 709
Inversión inicial	- 818 400 000					
Amortización de prestamos		119 003 038	138 043 524	160 130 488	185 751 366	215 471 584
Flujo de caja neto	- 818 400 000	309 267 882	373 644 728	397 402 078	421 569 835	446 044 124

Nota. Elaboración propia.

Tabla 11 Indicadores económicos.

Indicador	Resultado	Condición
TIR	35%	> 16%
VPN	425 684 513	> 0
Rentabilidad	26%	> 16%
PR	3.00	< 5

Nota. Elaboración propia.

FIGURAS

Figura 1 Inadecuada disposición de RCD en el lote de la Cra 27 con Calle 1 - Sogamoso.



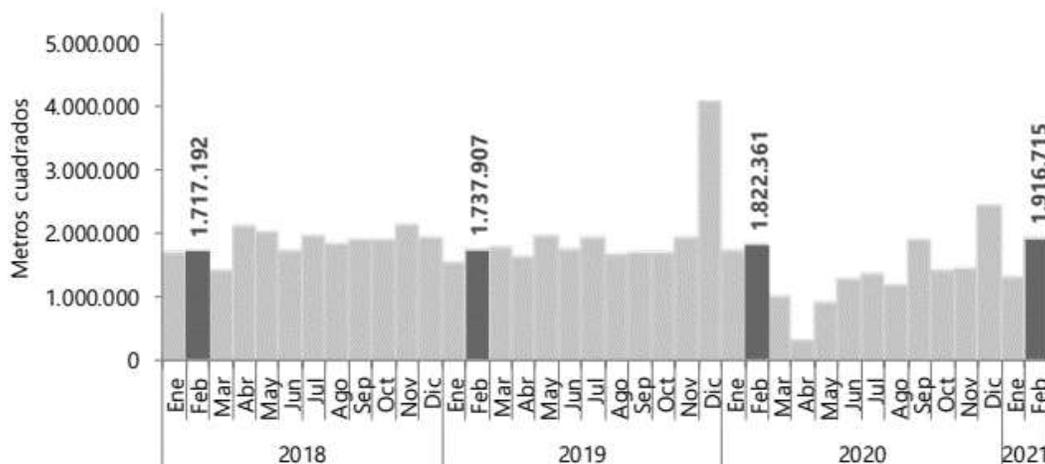
Nota. Tomado del PGIRS de RCD del municipio de Sogamoso del año 2018.

Figura 2 Almacenamiento actual de RCD en obras del municipio.



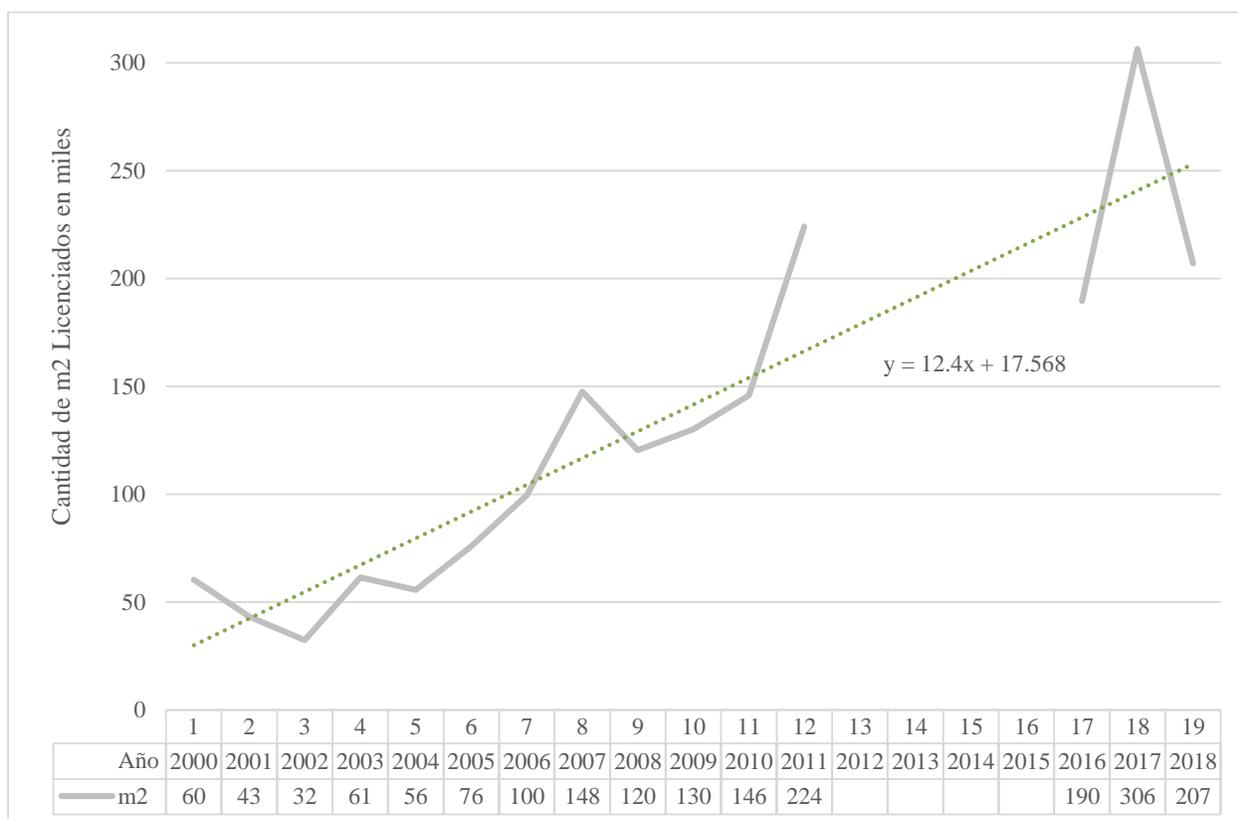
Nota. Tomado del PGIRS de RCD del municipio de Sogamoso del año 2018.

Figura 3 Área total licenciada en m2 en 302 municipios de los 32 departamentos de Colombia – Enero de 2018 hasta febrero de 2021.



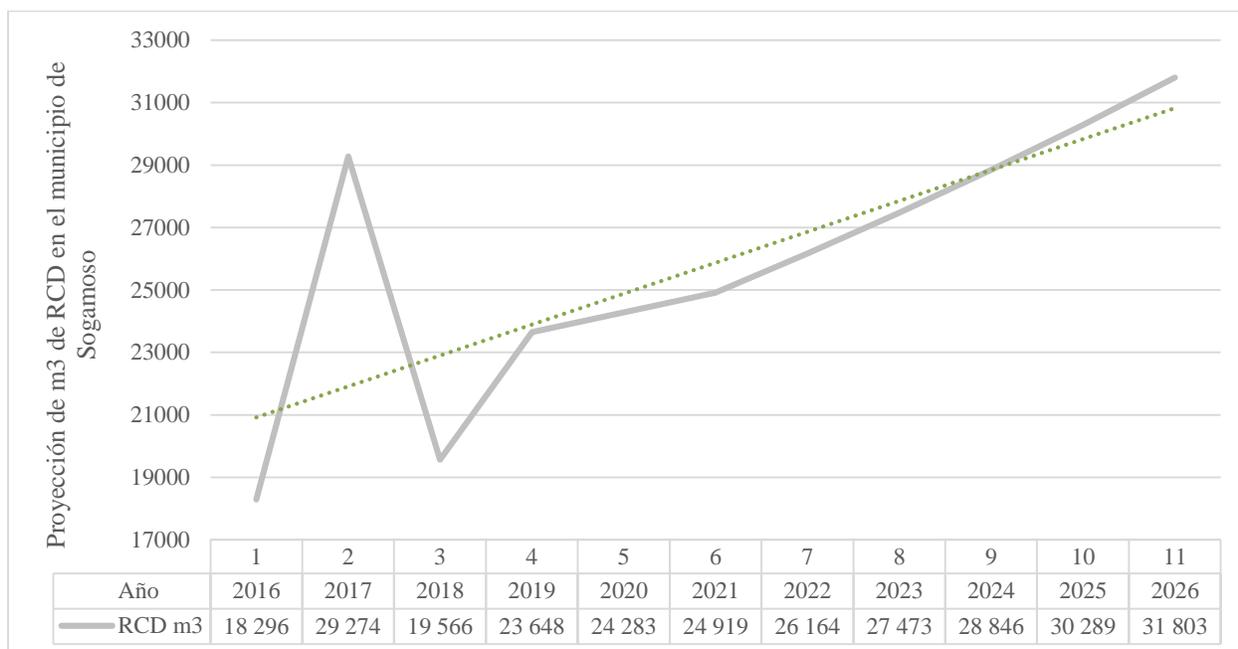
Nota. Obtenido del Boletín Técnico Licencias de Construcción Febrero 2021 (Dane, 2021)

Figura 4 Metros cuadrados de licencia urbanística en el municipio de Sogamoso 2000-2018.



Nota. Adaptado del PGIRS de RCD del municipio de Sogamoso del año 2018.

Figura 5 Proyección de m³ de RCD generados en el municipio de Sogamoso.



Nota. Elaboración propia a partir del PGIRS de RCD del municipio del año 2018.

Figura 6 Localización de la planta de aprovechamiento RCD.



Nota. Elaboración propia a partir del programa Google Earth Pro.