

## **Gestión de residuos sólidos según la estrategia de Economía Circular en el Sena sede Yamboró**

Estudiantes: Diana Lorena Ávila Dussán; Andrea Patiño Villarraga

Docente: Gloria María Restrepo Franco Ph.D.

Pitalito-Huila

Correo: [dlavila85474@umanizales.edu.co](mailto:dlavila85474@umanizales.edu.co), [apatino86423@umanizales.edu.co](mailto:apatino86423@umanizales.edu.co)

Teléfono de contacto: 3166966192 - 3219073490.

Dirección de correspondencia: Calle 17 sur No.2E-24 casa D7 Pitalito-Huila

**Resumen. Contexto:** El crecimiento poblacional, la generación de residuos y su ineficiente manejo, causan la disminución del aprovechamiento, reduciendo la vida útil de los vertederos, provocando el deterioro ambiental y afectando salud humana. Reflejando las consecuencias del modelo de gestión lineal basado en extraer, usar y tirar, siendo necesario la transición hacia una economía circular. **Objetivo:** El objetivo de esta investigación fue evaluar la gestión de residuos sólidos según la estrategia de economía circular en el Sena sede Yamboró. **Metodología:** La investigación fue descriptiva que incluyó el análisis de información cualitativa y cuantitativa durante un periodo de 2 años. La metodología se basó en la estimación de las métricas de eficiencia operacional, de desempeño circular y de creación de valor circular con base en los indicadores propuestos en materia de residuos por la Estrategia Nacional de Economía Circular. **Resultados:** se determinó la generación de un promedio de 45,312 kg de residuos sólidos de los cuales el 76,8% corresponde a aprovechables, el 21,9% a no aprovechables y 1,4% a peligrosos que pasan por un flujo de la gestión integral, que contempla la separación en la fuente, recolección, clasificación, almacenamiento, aprovechamiento y valorización, recolección externa, tratamiento y disposición final. **Conclusiones:** Los anteriores indicadores, permitieron evaluar el aporte de la gestión de los residuos sólidos a la economía circular en la institución, dado que la tasa de aprovechamiento evitó la disposición final de 34.756 kg/año y redujo el 69,79% de emisión de GEI, favoreciendo las ventajas sociales, económicas y ambientales de esta práctica y contribuyendo al cumplimiento de los ODS.

**Palabras clave:** aprovechamiento, circularidad, economía lineal, flujo, métrica, reciclaje.

**Abstract. Context:** Population growth, the generation of waste and its inefficient management, cause a decrease in use, reducing the useful life of landfills, causing environmental deterioration and affecting human health. Reflecting the consequences of the linear management model based on extract, use and throw away, the transition to a circular economy being necessary. **Objective:** The objective of this research was to evaluate solid waste management according to the circular economy strategy in the Sena Yamboró headquarters. **Methodology:** The research was descriptive that included the analysis of qualitative and quantitative information over a period of 2 years. The methodology was based on the estimation of the operational efficiency, circular performance and circular value creation metrics based on the indicators proposed in the matter of waste by the National Circular Economy Strategy. **Results:** the generation of an average of 45,312 kg of solid waste was determined, of which 76.8% corresponds to usable, 21.9% to non-usable and 1.4% to hazardous that pass through a management flow comprehensive, which includes the separation at the source, collection, classification, storage, use and recovery, external

collection, treatment and final disposal. **Conclusions:** The previous indicators allowed evaluating the contribution of solid waste management to the circular economy in the institution, given that the utilization rate avoids final disposal of 34,756 kg / year and reduced GHG emissions by 69.79%, favoring the social, economic and environmental advantages of this practice and contributing to the fulfillment of the SDGs.

**Key words:** heavy metal, toxicity, arrays, assessment, environmental indicators

## 1. Introducción

Los actuales modelos económicos lineales de producción y consumo, donde los recursos y materias primas son considerados ilimitados, basados en el extraer, fabricar, usar y desechar, provocan la generación de cantidades significativas de residuos. Dado a la falta de separación en la fuente y los escasos sistemas de aprovechamiento, los residuos terminan en los vertederos, causando problemas ambientales, económicos y sociales, representados principalmente en el cambio climático, el agotamiento de los recursos y la contaminación (Consejo Nacional de Política Económica y Social [CONPES], 2018). Todos estos aspectos indican que el modelo lineal es cada vez más insostenible. En efecto, ha surgido el concepto del modelo de Economía Circular (EC) basado en la sostenibilidad, que se convierte en una alternativa fundamental que responde a los desafíos globales; que trata de reducir la presión sobre los ecosistemas, desvinculando del desarrollo económico el consumo de recursos finitos, buscando que los productos, componentes y materias, conserven su utilidad y el máximo valor en todo el ciclo económico. De tal manera, que se eliminen las externalidades negativas, en busca de oportunidades para la productividad con innovación y eficiencia (TECNALIA, 2018).

En consecuencia, se plantea la necesidad de promover el avance gradual hacia una EC a través de la gestión integral de residuos sólidos estimulando la cultura ciudadana, la educación e innovación para el aprovechamiento. Lo anterior, a partir de los principios de la circularidad como el fomento de la preservación y mejoramiento del capital natural, la optimización del uso de los recursos y la eficiencia de los sistemas (Espaliat, 2017).

Considerando este panorama, Colombia progresó en la creación de la Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos mediante el CONPES 3874. En esta se apuesta al modelo de EC como eje transversal para ampliar la eficiencia en el ciclo de producción y consumo, desde la perspectiva del manejo integral que comprende la generación, separación en la fuente, tratamiento, aprovechamiento y disposición final. La finalidad es invertir la pirámide actual de la gestión de los residuos, aumentando las acciones de prevención y valorización, y minimizando la eliminación de estos en los vertederos; contribuyendo de esta manera a acelerar el cumplimiento de los Objetivos del Desarrollo Sostenible – ODS.

En relación con la problemática expuesta, el SENA como entidad pública de alto impacto nacional, establece lineamientos institucionales para prevenir y manejar los residuos generados en el marco de la gestión integral, con el fin de garantizar la administración, segura y efectiva de los residuos que se generan en la ejecución de los procesos. Tal es el caso de la sede Yamboró un centro de formación, que acoge dichos lineamientos y establece las acciones pertinentes para llevar a cabo el respectivo manejo integral de los residuos, contribuyendo a la sostenibilidad. La importancia de esta investigación está en demostrar a pequeña escala que sí es posible la implementación de la Economía Circular; por

consiguiente, el objetivo de este trabajo fue evaluar la gestión de los residuos sólidos de la sede Yamboró con base en el modelo de EC.

## 2. Marco teórico

### 2.1. Economía circular

La EC es un concepto económico directamente relacionado con la sostenibilidad, que tiene como fin que el valor de los productos, materiales y recursos naturales, permanezcan en la economía durante más tiempo, con el objetivo de reducir al máximo la generación de residuos. De esta manera se pretende cerrar las brechas de la economía lineal, promoviendo un flujo cíclico para la extracción, transformación, distribución, uso y recuperación de los materiales y la energía de los productos y servicios disponibles en los mercados (Prieto-Sandoval et al., 2017).

Este modelo económico es reconstituyente y regenerativo por diseño y pretende mantener en procesos circulares los materiales, los productos y componentes, para que, una vez terminada la vida útil, puedan ser reintegrados en la cadena de valor, distinguiendo entre ciclos técnicos y biológicos. El ciclo técnico consiste en la gestión de los materiales transformados en la industria, de tal manera, que sean diseñados para ser reutilizados y reciclados en un metabolismo industrial, con la más alta calidad de retención posible. Por su parte, el ciclo biológico comprende los flujos de materiales renovables, basado en el metabolismo natural, es decir en devolver a la naturaleza de manera segura aquellos materiales que son biodegradables (Moscoso et al., 2019; Korhonen et al., 2018).

Este modelo tiene como objetivo establecer en las empresas y las economías un carácter sistémico y holístico para impulsar la transformación de los sistemas productivos de un enfoque lineal a un enfoque circular, de tal manera que generen oportunidades económicas, sociales y ambientales (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MINAMBIENTE] y Ministerio de Comercio Industria y Turismo [MINCIT] (2019). Los principios elementales de la EC son la base para que las nuevas formas de producción actúen de manera sostenible en el mercado con competitividad e innovación, como: (i) *preservar y mejorar el capital natural*, el cual se fundamenta en la necesidad de controlar las reservas finitas, equilibrando los flujos de recursos renovables dentro del sistema, propiciando las condiciones para su regeneración; (ii) *optimizar el uso de los recursos*, que implica rotar los productos, componentes y materiales procurando siempre mantener su máxima utilidad, tanto en los ciclos técnicos como en los biológicos; (iii) y *fomentar la eficiencia del sistema*, que pretende detectar y eliminar desde el diseño los factores negativos externos, para evitar y reducir los posibles daños causados a los sistemas y áreas que afectan a las personas como la alimentación, movilidad, educación, sanidad o entretenimiento y gestionar adecuadamente todos los factores externos como la contaminación del aire, el agua, el suelo y la contribución al cambio climático (Espaliat, 2017).

La EC fundamentada en un flujo cíclico, implica unas etapas del producto o servicio, que orienta a las empresas a redireccionar sus actividades con tecnología e innovación para mejorar su actuar hacia la competitividad y sostenibilidad. Estas etapas comprenden: extraer, transformar, distribuir, usar y recuperar los materiales y la energía de productos y servicios. Estos se convierten en los campos de acción que se deben tener en cuenta en los procesos de mejora de la gestión ambiental, creando en un nuevo enfoque para la creación de valor (Prieto-Sandoval, 2017).

Para fortalecer esta iniciativa, Colombia se une en línea con los fundamentos del desarrollo sostenible y las tendencias internacionales, a través de la adopción de la Estrategia Nacional de Economía Circular soportada mediante la política Nacional de gestión integral de los residuos sólidos. Se busca fortalecer el modelo de desarrollo del país en el ámbito económico, ambiental y social, a través de la lógica de “producir conservando y conservar produciendo”; convirtiéndose en el primer país en América Latina en establecer esta estrategia. Se pretende promover la eficiencia en el uso de materiales, agua y energía considerando la capacidad de recuperación de los ecosistemas y el uso circular de los flujos de materiales (MINAMBIENTE y MINCIT, 2019).

Para analizar las oportunidades del avance hacia el modelo de la EC, se elaboró un diagnóstico del metabolismo de la economía colombiana para identificar y definir las líneas de los recursos prioritarios, a partir del cual se definieron seis líneas de acción que representan los diferentes flujos de materiales y sobre estos se enfoca el desarrollo de la estrategia: flujos de materiales industriales y productos de consumo masivo, flujos de materiales de envases y empaques, flujos de biomasa, fuentes y flujos de energía, flujos de agua y flujos de materiales de construcción.

Para cada una de estas líneas se establecieron indicadores que permiten alcanzar logros tempranos y avances estructurales, que representan dos tipos de acción: los indicadores de gestión que miden el avance en la ejecución de mecanismos y las actividades para avanzar en la transformación hacia la EC. Los Indicadores de desempeño muestran el avance real de la EC en la valorización de materiales y aumento de la eficiencia en el metabolismo de la economía colombiana (MINAMBIENTE y MINCIT, 2019).

## **2.2. La gestión de residuos sólidos**

La gestión de los residuos implica el manejo adecuado de estos en las etapas del flujo que van desde su generación, separación en la fuente, recolección, transporte, aprovechamiento, tratamiento y disposición final, con el fin de disminuir los impactos ambientales y garantizar la salud pública (CONPES,2019). Luego, su importancia está en comprender que una eficiente gestión permite aprovechar los residuos para involucrarlos el ciclo productivo y convertirlos fácilmente en recursos.

Desde este enfoque, es importante mencionar que como punto de partida establece medidas prioritarias tendientes a minimizar los residuos para prevenir su generación, como estrategia para jerarquizar la gestión de los residuos como una pirámide invertida, continuando con la reutilización, el aprovechamiento mediante procesos de reciclaje, el tratamiento de los no aprovechables, la valorización energética y la disposición final. De esta manera la gestión de los residuos tiene un papel importante en la economía circular, por su contribución a generar significativos porcentajes de reciclaje, permitiendo que los materiales de gran valor retornen a la economía, logrando el cuidado de la salud humana, el mejoramiento de la calidad de vida de las personas y la protección ambiental (Marcet et al., 2018).

### 3. Metodología

El tipo de investigación fue descriptiva con enfoque mixto, donde se tuvieron en cuenta aspectos cualitativos y cuantitativos del comportamiento de la gestión de los residuos sólidos al interior del centro de formación del SENA sede Yamboró, municipio de Pitalito-Huila.

La información fue recolectada de datos históricos de 2 años (2018 y 2019), correspondientes a documentos institucionales como el Plan de Gestión de Residuos Sólidos (PGRS), estudios de caracterización de residuos sólidos en la sede y reportes suministrados por el Sistema Integrado de Gestión y Autocontrol (SIGA) del SENA, documentos técnicos e investigaciones sobre emisiones de gases efecto invernadero (GEI).

La metodología adoptada para el logro de los objetivos de esta investigación se basó en la propuesta por FORETICA (2019) que proporciona una hoja de ruta empresarial con el fin de determinar la medida de la circularidad, que implica tres alcances: métricas de eficiencia operacional, métricas de desempeño circular y métricas de creación de valor circular.

#### 3.1. Identificación del flujo de los residuos sólidos en los procesos de las unidades productivas del centro de formación

De acuerdo con el alcance de la métrica de eficiencia operacional, se identificaron las entradas de materiales y salidas de los residuos sólidos de los procesos y servicios, en las diferentes áreas de generación de la sede Yamboró. Con esta información se determinó el flujo de los residuos a través de las diferentes etapas del manejo integral de estos al interior de la institución.

#### 3.2. Determinación de los indicadores de la gestión de los residuos sólidos de acuerdo con la estrategia nacional de economía circular y los lineamientos del sistema integrado de gestión y autocontrol-SIGA del SENA

Para determinar la métrica de creación de valor circular, de acuerdo con el alcance de este estudio, se seleccionaron los siguientes indicadores de la gestión de los residuos de la sede Yamboró, adaptados a las líneas de acción de los flujos de materiales de la Estrategia Nacional de Economía Circular de Colombia, dado a que no se ha establecido un marco global de referencia avalado para el seguimiento y medida del tránsito empresarial de una economía lineal a una circular.

- *Indicadores para el flujo de materiales de construcción provenientes del acero*  
Tasa de aprovechamiento de chatarra de hierro y acero en Colombia
- *Indicadores para el flujo de materiales de provenientes de envases y empaques*  
Aprovechamiento de los residuos de envases y empaques
- *Indicadores para el flujo de biomasa*  
Toneladas de biomasa residual aprovechada  
Número de proyectos innovadores para el aprovechamiento de biomasa residual
- *Indicadores agregados de la Estrategia nacional de economía circular*  
Tasa de reciclaje (%)  
Reducción de gases de efecto invernadero (%)

### 3.3. Análisis del aporte de la gestión de los residuos sólidos del CGDSS de acuerdo con el modelo de la Economía Circular

De conformidad con lo anterior, se evaluó el desempeño circular con base a los indicadores seleccionados y la determinación del impacto asociado a los residuos, a partir de las emisiones de CO<sub>2</sub> relativas a cada tipo de desecho producido de acuerdo con el tratamiento recibido y expresadas en Toneladas (t) de CO<sub>2</sub> equivalente (e) por kilogramo de residuo sólido (tCO<sub>2</sub>e/kg de rs). Se compararon dos escenarios: sin PGRS considerando que todos los residuos a excepción de los residuos peligrosos (que por normatividad obliga a los generadores a gestionarlos integralmente tanto a nivel interno como externo) son dispuestos en un relleno sanitario, por ser el sistema de disposición final más implementado en Colombia Según la Superintendencia de Servicios Públicos (2020), y con PGIRS teniendo en cuenta las estrategias de aprovechamiento y valorización de cada uno de los tipos de residuos utilizados en la sede Yamboró como compostaje aeróbico, vermicompostaje, digestión anaerobia para la producción de biogás (según Chan, Sinha, y Wang (2011) son considerados los métodos más comunes para el reciclaje o valorización de residuos orgánicos), reciclaje y transterificación; con el fin de evaluar el porcentaje de reducción; usando el método simplificado de las directrices del IPCC (2006) para estimar las emisiones directas, en donde se combina la información de los datos de generación con los Factores de Emisión (FE) mediante una ecuación básica (Ecuación 1).

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ equivalente} = \text{Dato generación por tipo de residuo} * FE \quad (\text{Ecuación 1})$$

En relación con las emisiones de los residuos compostados se tuvo en cuenta que es un proceso aeróbico en donde una parte del carbono orgánico degradable de los residuos tratados son convertidos a CO<sub>2</sub> (pero no cuentan como GEI por ser de origen biogénico); la otra parte se libera en el proceso en forma de metano (CH<sub>4</sub>) por algunas secciones anaeróbicas que ocurren en el compostaje. Se estima que las emisiones son menos del 1% del contenido de carbono inicial, con emisión de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) entre 0,5% y 5% del contenido inicial de nitrógeno en el residuo.

Para este tratamiento biológico de desechos, se tomaron datos de FE de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O por defecto correspondientes a valores promedio igual a  $4 \times 10^{-6}$  Ton de CH<sub>4</sub>/kg de residuos tratados y  $3 \times 10^{-7}$  tN<sub>2</sub>O/kg de residuos tratados. Los residuos de estiércol de porcina que son sometidos a tratamiento de biodigestión anaerobia emiten  $1 \times 10^{-6}$  tCH<sub>4</sub>/kg de residuos tratados (IPCC, 2006).

Los anteriores valores de los FE se convirtieron a CO<sub>2</sub> multiplicando por el potencial de calentamiento global (PCG) que para el CH<sub>4</sub> es 28 y para el N<sub>2</sub>O es 265.

Los residuos de aceite de cocina usado son transformados en biodiesel con un porcentaje de conversión promedio del 96%, siendo una energía renovable destinada al autoconsumo que se utiliza en una proporción 30% de biodiésel y 70% diésel, por consiguiente, el FE del biodiesel según la Oficina Catalana del Canvi climàtic (2013) corresponde a  $1,83 \times 10^{-3}$  tCO<sub>2</sub>/litro.

Para el caso de los residuos no aprovechables que son dispuestos en el relleno sanitario regional con tratamiento gestionado anaerobio, el FE corresponde a  $5,5 \times 10^{-5}$  tCH<sub>4</sub>/kg de residuo dispuesto por el PCG de CH<sub>4</sub> que es 28. Mientras los residuos peligrosos tienen un promedio de FE de 0,000975 tCO<sub>2</sub>/kg de residuos (Pava-Medina *et al.*, 2016).

Finalmente se determinó la creación de valor circular de la sede Yamboró a partir de los indicadores propuestos por la Estrategia Nacional de EC y otros indicadores propuestos por los investigadores del proyecto.

#### 4. Resultados y discusión

##### 4.1. Identificación del flujo de los residuos sólidos en los procesos de las unidades productivas del centro de formación

En la sede Yamboró se llevan a cabo actividades de formación técnica y tecnológica en diferentes áreas del conocimiento, que requiere la interacción de la comunidad educativa como aprendices, instructores, personal administrativo y operarios. Los escenarios de enseñanza-aprendizaje son espacios dotados en infraestructura y equipos necesarios, para el desarrollo de la formación tales como: (i) ambientes de formación que comprende salones, laboratorios, biofábrica (lombricultura y compostaje), unidad de producción pecuaria (ganadería, porcicultura, avicultura), unidad de producción agrícola, unidad de agroindustria, unidad de gastronomía, unidad de biocombustibles, laboratorio de sistemas, Escuela Nacional de la Calidad del Café y biblioteca. (ii) Las áreas administrativas conformadas por coordinación académica, asesorías en investigación, emprendimiento, agronegocios, gestión documental, archivo y sala de instructores. (iii) Las áreas de bienestar como enfermería, gimnasio, zona juegos, complejo deportivo, cafetería y restaurante y áreas complementarias incluidas bodega de insumos y herramientas, planta de agua potable, planta de aguas residuales y unidades sanitarias.

Estas áreas son las fuentes generadoras de residuos sólidos, que están en función de las actividades que allí se ejecutan y de las principales materias primas, insumos, materiales y demás bienes que entran a los procesos, como se ilustra en la Figura 1.

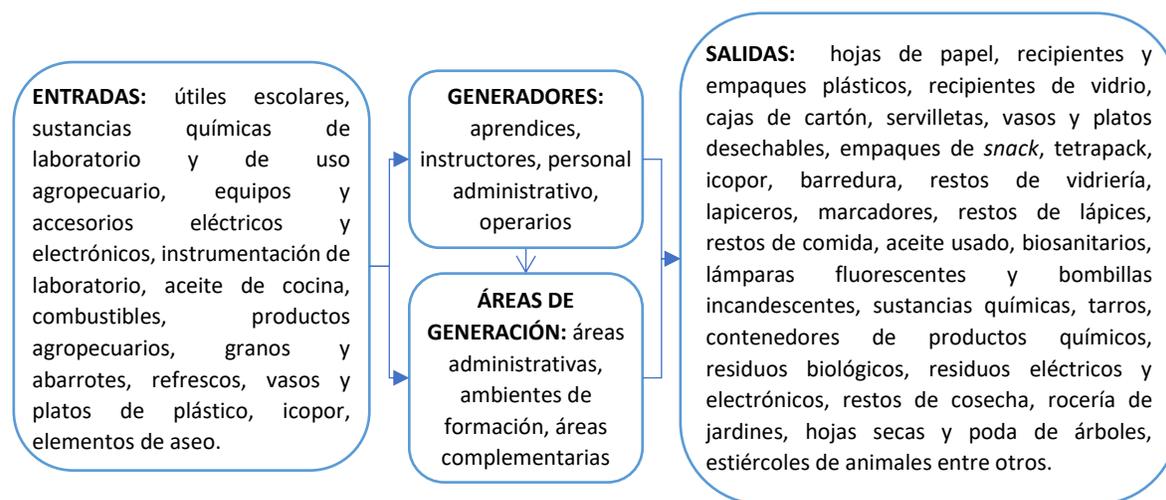


Figura 1. Flujo de generación de residuos sólidos.

Los residuos generados por la comunidad educativa conformada por 553 personas en el 2018 correspondieron a 48.389 kg. Para el año 2019 un total de 696 personas generaron 42.233 kg. Estos residuos pasaron a las diferentes etapas de manejo dentro de la sede, de acuerdo con el flujo de la gestión de los residuos, que teniendo en cuenta las áreas de generación y las características de estos, permite contemplar las diferentes formas de gestión

interna y aprovechamiento, que tiene como eje transversal la sensibilización ambiental pilar fundamental para el logro de un eficiente manejo (Figura 2).

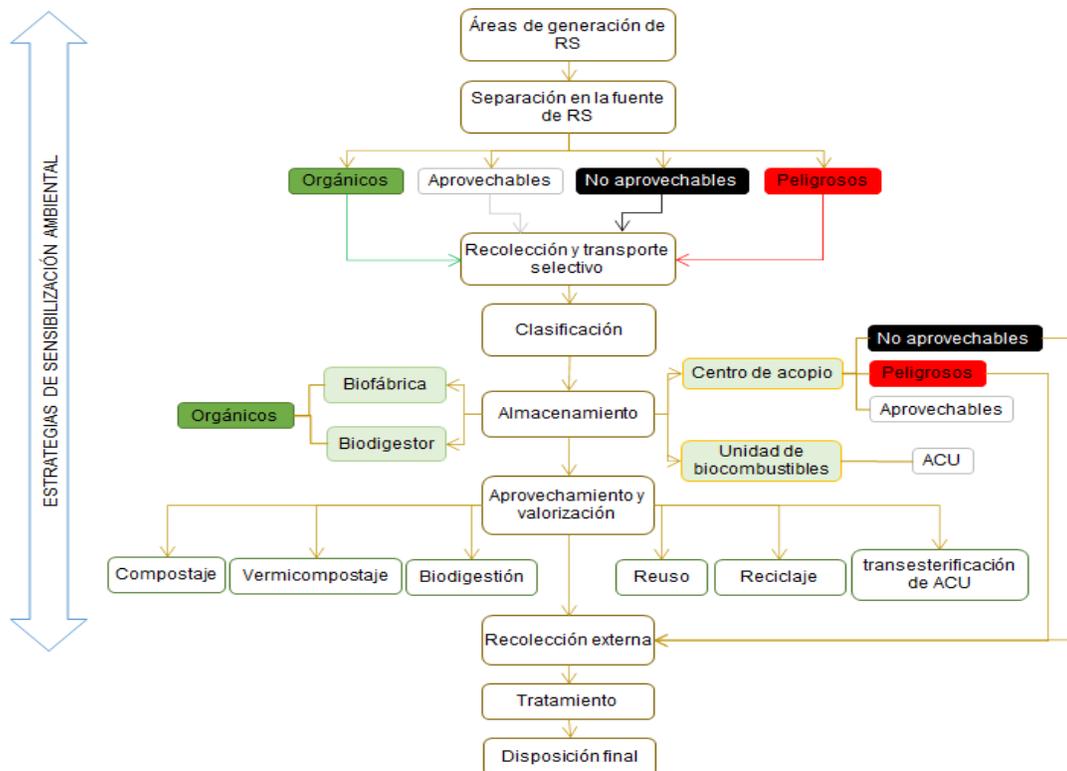


Figura 2. Flujo de la gestión interna de los residuos sólidos. ACU: Aceites de Cocina Usados.

Toda la comunidad educativa se vincula de manera participativa en el desarrollo de diferentes estrategias ambientales que le apuntan a la disminución de residuos y a la apropiada separación en la fuente en orgánicos, aprovechables inorgánicos, no aprovechables y peligrosos. Seguidamente se lleva a cabo la recolección selectiva de acuerdo con las rutas establecidas para cada tipo de residuo, estos son transportados hasta los sitios de almacenamiento de acuerdo con sus características. Allí se realizan las actividades pertinentes de adecuación y clasificación para un almacenamiento temporal seguro. Los residuos orgánicos se transforman en abonos compostados mediante compostaje aeróbico y vermicompostaje y biogás a través de biodigestión anaerobia; los residuos inorgánicos aprovechables son donados a las recicladoras de la localidad según políticas institucionales, los residuos de aceite usado de cocina (ACU), son transformados en biodiesel por transesterificación y los residuos peligrosos y especiales son entregados a las empresas autorizadas para el transporte manejo y disposición final segura. Por su parte los residuos no aprovechables son recolectados por la empresa de aseo, quienes se encargan de disponerlos en el relleno sanitario de la región.

#### 4.2. Determinación de los indicadores de la gestión de los residuos sólidos de acuerdo con la estrategia nacional de economía circular y los lineamientos del sistema integrado de gestión y autocontrol-SIGA del SENA

El SENA tiene establecido a nivel nacional el Sistema Integrado de Gestión y Autocontrol como una herramienta que permite mejorar el desempeño de la institución en todos sus procesos, dentro del cual se encuentra el componente ambiental. El PGRS institucional, cumple con los objetivos de este componente, dado que se ha estructurado con base en el aspecto “Generación de residuos”, el cual representa aproximadamente el 50% de los aspectos ambientales negativos identificados (SIGA, 2020).

Por consiguiente, en el marco del SIGA se han determinado unos indicadores correspondientes a la generación de los residuos sólidos como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Indicadores de generación anual de residuos sólidos 2018-2019.

Nombre del indicador SIGA	2018		2019		Promedio		Variación anual	
	(kg)	%	(kg)	%	kg	%	kg	%
<b>Residuos compostados</b>	25.871	53,5	19.479	46,1	22.675	49,8	-6.392	-25
<b>Residuos de porcinaza</b>	7.865	16,3	10.960	26,0	9.413	21,1	3.095	39
<b>Residuos aprovechables inorgánicos</b>	2.898	6,0	1.911	4,5	2.404	5,3	-987	-34
<b>Residuos de aceites de cocina usados-ACU</b>	79	0,2	449	1,1	264	0,6	369	466
<b>Residuos no aprovechables</b>	11.002	22,7	8.876	21,0	9.939	21,9	-2.126	-19
<b>Residuos peligrosos</b>	675	1,4	559	1,3	617	1,4	-116	-17
<b>Total</b>	48.390	100	42.234	100	45.312	100	-6.156	

Fuente: SIGA (2020).

Los indicadores muestran un comportamiento con algunas variaciones en su composición gravimétrica, como son los residuos compostados que presentan una reducción del 25%, causada por la implementación de estrategias para la disminución de residuos, como el cierre definitivo de un restaurante-cafetería administrada por personal externo que, de acuerdo con caracterizaciones realizadas, se consideraba como un área de gran generación de todo tipo de residuos. Por consiguiente, se estableció sólo un restaurante en el área de gastronomía y una cafetería donde se prioriza la venta de productos elaborados en el mismo centro de formación, reduciendo la venta de productos externos.

Por su parte los residuos de porcinaza presentaron un aumento del 39% debido a la cantidad de cerdos que varía mensual y anualmente de acuerdo con su reproducción y venta. En el caso de los residuos aprovechables inorgánicos que incluye plástico, cartón, papel, vidrio y metal, se evidenció una reducción del 34% que corresponde a las campañas educativas para la optimización en la separación en la fuente y las estrategias adoptadas por la institución para la reducción de la generación de ciertos materiales utilizados en empaques de diferentes productos, como la venta de bebidas elaboradas en el centro y servidas en vasos biodegradables y la disminución de la venta de snacks de paquete. Así mismo se estableció de manera obligatoria el uso de plataformas digitales para la documentación interna y

externa, que permitiera la disminución de la generación de papel. Igualmente, los residuos de aceite de cocina usado (ACU) que son utilizados para la producción de biodiesel, presentaron un aumento del 466% dado que en el año 2018 parte de este era donado a personal externo y no se registraba su generación. Los residuos peligrosos presentaron una disminución 17%. Sin embargo, es de resaltar que la generación de residuos no aprovechables tuvo una reducción del 19% lo que permitió evidenciar un avance en su gestión al interior de la sede.

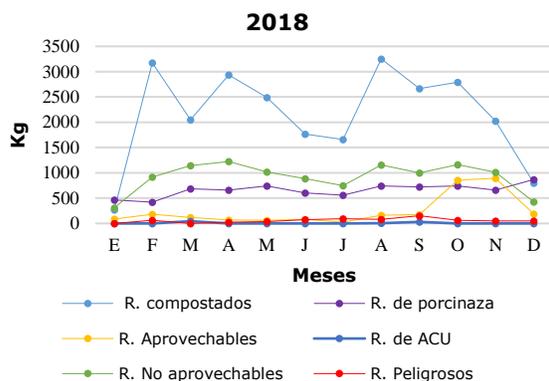


Figura 3. Comportamiento de los indicadores de generación mensual de residuos en el año 2018.

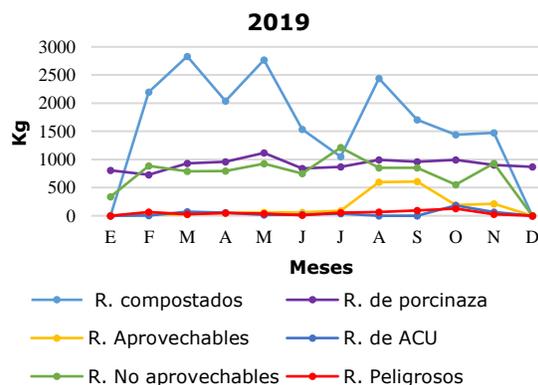


Figura 4. Comportamiento de los indicadores de generación mensual de residuos en el año 2019.

De conformidad con los datos anteriormente expuestos y teniendo en cuenta las caracterizaciones de residuos realizadas en los años evaluados, se determinó la fracción de residuos aprovechables de acuerdo con su composición gravimétrica la cual fue de 76,8% del total de residuos generados, que equivale a 34.756 kg/año de residuos, que se evitan en la disposición final, como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Generación anual de residuos aprovechables (2018-2019).

Tipo de residuos	Año 2018		Año 2019		Promedio	
	kg	%	kg	%	kg	%
<b>Aprovechables orgánicos</b>	<b>33.736</b>	<b>69,7</b>	<b>30.439</b>	<b>72,0</b>	<b>32.087,5</b>	<b>70,9</b>
Residuos vegetales (residuos de frutas y verduras, hojarascas, podas, residuos de cosecha), gallinaza y bovinaza	25.871	53,5	19.479	46,1	22.675	49,8
Residuos de porcinaza	7.865	16,3	10.960	26,0	3.095	21,1
<b>Aprovechables inorgánicos</b>	<b>2.897</b>	<b>6,0</b>	<b>1.911</b>	<b>4,5</b>	<b>2.404</b>	<b>5,3</b>
Plástico	1.906	3,9	1.114	2,6	1.510	3,3
Cartón	435	0,9	451	1,1	443	1,0
Papel	249	0,5	106	0,3	178	0,4
Vidrio	256	0,5	159	0,4	208	0,5
Metal	51	0,1	80	0,2	65	0,1
ACU	<b>79</b>	<b>0,2</b>	<b>449</b>	<b>1,1</b>	<b>264</b>	<b>0,6</b>
<b>Total</b>	<b>36.71</b>	<b>75,9</b>	<b>32.798</b>	<b>77,7</b>	<b>34.756</b>	<b>76,8</b>

Los residuos orgánicos representan la mayor fracción de los residuos generados con un 70,9%, de los cuales el 49,85% son residuos vegetales (residuos de frutas y verduras, hojarasca, podas, residuos de cosecha), gallinaza y estiércol bovino. Estos se aprovechan a través de procesos de compostaje y vermicompostaje en la producción de bioinsumos para el autoconsumo, dada la vocación agroecológica de los sistemas productivos agrícolas del centro de formación. El 21,1% del estiércol porcino es depositados en el biodigestor para la producción de biogás, utilizado como fuente energética para el sistema de calentamiento de lechones.

El porcentaje de residuos aprovechables inorgánicos que incluye plástico, cartón, papel, vidrio y metal es del 5,3%, porción que contribuye al desarrollo del reciclaje de la localidad. El porcentaje de los residuos de ACU que es de 0,6%, es aprovechado para la producción de biodiesel.

A partir de los anteriores indicadores de gestión de residuos sólidos, se determinaron para el periodo de evaluación, las emisiones de CO<sub>2</sub> relativas a cada tipo de residuo en los dos escenarios con PGRS y sin PGRS (Tabla 3). Para el escenario sin PGRS, se obtuvo un total de emisiones de 69,43 tCO<sub>2</sub>e/kg de residuo, siendo los residuos orgánicos con potencial para ser compostados los que generan mayor cantidad de emisiones con 34,92 tCO<sub>2</sub>e/kg, principalmente por la cantidad generada, seguido de los residuos no aprovechables con emisiones de 15,31 tCO<sub>2</sub>e/kg. La Cantidad de emisiones para este escenario resulta de la liberación a la atmósfera de CH<sub>4</sub> en el proceso de descomposición anaerobia de estos residuos en los vertederos, que contribuyen significativamente al efecto invernadero global, por tener un potencial de calentamiento 25 veces mayor que el CO<sub>2</sub> (Chan, Sinha, y Wang, 2011; Sánchez et al., 2015).

Tabla 3. Emisiones de CO<sub>2</sub>e para los escenarios sin PGRS y con PGRS

Tipo de residuo	Sin PGRS			Con PGRS			Reducción %
	Kg	FE tCO <sub>2</sub> e/kg	Emisiones tCO <sub>2</sub> e/kg	Kg	FE tCO <sub>2</sub> e/kg	Emisiones tCO <sub>2</sub> e/kg	
Compostados	22.675	1,54x10 <sup>-3</sup>	34,92	22.675	1,915x10 <sup>-4</sup>	4,34	87,56
Porcinaza	9.413	1,54x10 <sup>-3</sup>	14,50	9.413	2,8x10 <sup>-5</sup>	0,26	98,18
ACU	264	1,54x10 <sup>-3</sup>	0,41	253,44*	1,83x10 <sup>-3</sup>	0,46	- 14,08
Aprovechables inorgánicos	2.404	1,54x10 <sup>-3</sup>	3,70				100,00
No aprovechables	9.939	1,54x10 <sup>-3</sup>	15,31	9.939	1,54x10 <sup>-3</sup>	15,31	-
Peligrosos	617	9,75x10 <sup>-4</sup>	0,60	617	9,75x10 <sup>-4</sup>	0,60	-
<b>Total</b>	<b>45.312</b>		<b>69,43</b>	<b>42.897,44</b>		<b>20,98</b>	<b>69,79</b>

\*Cantidad en litros de biodiesel.

En el escenario con PGRS se logró un total de emisiones de 20,98 tCO<sub>2</sub>e/kg. siendo los residuos no aprovechables los que generaron mayor cantidad de emisiones con 15,31 tCO<sub>2</sub>e/kg, que son llevados y confinados a relleno sanitario, mientras que los residuos que reciben algún tipo de tratamiento biológico como los compostados y la porcinaza mostraron un porcentaje de reducción de emisiones de 87,56 y 98,18 respectivamente. Lo anterior obedece a que los procesos de compostaje y vermicompostaje se llevan a cabo en condiciones aeróbicas en donde los gases emitidos son principalmente CO<sub>2</sub> (Majumdar et al., 2006), las cuales se consideran que no contribuyen al calentamiento global, dado a que las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de estos procesos son de origen biogénico, es decir, que el carbono ha

sido previamente fijado de forma biológica y las emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O son generadas en pequeñas cantidades (Chan, Sinha, y Wang, 2011; Sánchez et al., 2015). Para el caso de la digestión anaerobia, la reducción se presenta porque el CH<sub>4</sub> formado en este proceso es recuperado para la generación de calor, en consecuencia, este sistema permite reducir las emisiones de GEI y a su vez disminuir la dependencia de combustibles fósiles contribuyendo a mejorar los problemas medioambientales (Ismail & Abderrezaq, 2007)

Sin embargo, los residuos ACU presentaron un aumento en la emisión del 14%, dado a que la combustión del biodiésel genera mayor cantidad de gases que si el ACU es dispuesto en relleno sanitario. Cabe resaltar que el biodiesel como fuente de energía alternativa contribuye a la solución de demanda energética, a la contaminación y al calentamiento global, debido a que reduce la emisión de GEI hasta en un 50% en comparación con los combustibles fósiles (Srivastava et al., 2020; Godri Pollitt et al., 2019). Para el caso de los residuos aprovechables inorgánicos, no se cuantificaron las emisiones dado a que son entregados a los procesos de reciclaje de la localidad (Ver Tabla 3). Es preciso destacar, que de acuerdo con estudios realizados los materiales reciclados segregados en el origen resultan en ahorros netos de emisiones de GEI, una vez contabilizada la producción primaria evitada (Turner, Williams & Kemp, 2015)

Comparando los dos escenarios se puede deducir que la implementación de estrategias de aprovechamiento y valorización de residuos contribuye a la reducción de emisiones totales para la sede Yamboró correspondiente al 69,79% con respecto al escenario sin PGRS.

Adicionalmente, la institución como centro de formación integral tiene como propósito para el fortalecimiento de los procesos formativos el desarrollo de proyectos de ciencia, tecnología e innovación, a través del cual se han logrado importantes aportes para el aprovechamiento y valorización de residuos de biomasa y subproductos agrícolas y agroindustriales como se relacionan en la Tabla 4.

Tabla 4. Proyectos de innovación para el aprovechamiento y valorización de residuos de biomasa.

Proyecto de innovación		Año	Investigador líder
1	Elaboración de infusiones funcionales a partir de subproductos de guanábana.	2018	Iván Alberto Sandoval Salazar
2	Producción de etanol a partir de desechos orgánicos.	2018	
3	Catalizador ecológico a partir de escamas de tilapia para producción de biodiesel.	2018	
4	Obtención de un aceite con propiedades nutraceuticas a partir de semillas de guanábana.	2018	
5	Harina funcional a partir de cáscara de café.	2018	
6	Elaboración de barras energéticas a partir de cáscara de banano.	2018	
7	Producción de concentrados a partir de mezclas de cáscara de café, ramio, trigo amazónico, y sachá inchi.	2018	
8	Elaboración de aglomerados a partir de residuos de cáscara de higuera.	2018	
9	Elaboración de tableros aglomerados de partículas, a partir de residuos de guadua.	2018	
10	Aprovechamiento de la cereza de café para producir harina y pulpa deshidratada.	2018	
11	Producción de biomasa y aceite a escala laboratorio a partir de microalgas aisladas de los sistemas productivos piscícolas del Tecnoparque Yamboró Pitalito como potencial para consumo animal.	2018	

12	Elaboración de Empaque Biodegradable para Empresa D'Codorniz Pitalito Huila.	2018	Cyntia Katherine Ojeda
13	Elaboración de papel artesanal a partir de subproductos agroindustriales.	2018	
14	Pellet Orgánico Mineral.	2019	José Julián Apraez

La información anterior demuestra la importancia de la gestión de los residuos, reflejando el aporte que hace la institución con la aplicación de técnicas de valorización, para reducir la cantidad de residuos no aprovechables que se generan en los procesos de formación.

### 3.1. Análisis del aporte de la gestión de los residuos sólidos del CGDSS de acuerdo con el modelo de la Economía Circular

Para determinar la métrica de creación de valor circular, se evaluó el desempeño circular de la institución, considerando los indicadores seleccionados de la Estrategia Nacional de EC y los indicadores propuestos por los autores del presente estudio, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Indicadores de creación de valor circular de la sede Yamboró.

Indicador	Valor
Tasa de aprovechamiento de chatarra de hierro y acero (%)	0,10
Tasa de aprovechamiento de envases y empaques (%)	5,2
Toneladas de biomasa residual aprovechada (t)	32,1
Número de proyectos innovadores para el aprovechamiento de biomasa residual	14
Tasa de reciclaje (%)	76,80
Reducción de gases efecto invernadero (%)	69,79
Ahorro económico en compra de compost (\$) *	4.535.000
Ahorro económico en compra de diésel (\$) *	563.403
Ahorro económico en disposición final de RS No aprovechables (\$) *	26.817.000

La tasa de aprovechamiento de metales corresponde a 0,1%, un valor bastante bajo pero significativo para contribuir a mejorar la calidad de este material en los procesos de reciclaje, dado a que se obtiene de una adecuada práctica de separación en la fuente.

Siguiendo los lineamientos de la Estrategia Nacional EC en cuanto al flujo de materiales de envases y empaques, se incluyó para la cálculo de la tasa de aprovechamiento los porcentajes de plásticos, papel, cartón y vidrio recuperado, dando como resultado una tasa de 5,2%, que propicia una simbiosis industrial entre empresas contribuyendo al ciclo técnico junto con los metales, en donde esta cantidad de material es entregado como aporte de materia prima a los procesos de reciclaje, manteniendo de esta manera su valor en la cadena, incentivando el aprovechamiento y el cierre de ciclos.

Con relación a la cantidad de biomasa aprovechada se evidenciaron 32,35 toneladas de residuos orgánicos transformados en bioabonos, biogás y biodiesel, lo cual corresponde al 71,5% del total de los residuos generados. Esto se traduce en un valor agregado para mejorar la productividad agrícola, minimizar la presión en rellenos sanitarios, disminuir las emisiones de GEI y reducir costos de producción, contribuyendo de esta manera al ciclo biológico devolviendo a la naturaleza estos materiales biodegradables (Razza et al., 2018). Esto es fundamental ya que la biomasa es considerada uno de los residuos de mayor importancia en la economía circular, por los altos volúmenes de generación y su bajo aprovechamiento en la actual economía lineal (MINAMBIENTE y MINCIT, 2019).

El centro de formación también le apuesta a brindar opciones para el aprovechamiento y generación de valor de estos materiales a través de los resultados obtenidos en 14 proyectos de investigación e innovación desarrollados en el periodo evaluado, con el fin de divulgarlos y transferirlos en la formación profesional y al sector productivo de su área de influencia, para fortalecer la innovación tecnológica y la productividad de su grupo de interés.

El indicador de la tasa de reciclaje correspondiente al 76,8%, refleja un importante progreso y fortalecimiento de la gestión de los residuos a través de la ejecución de estrategias de agregación de valor, con lo cual se corrobora que los sistemas de reciclaje son eficientes y generan ventajas sociales, económicas y ambientales debido a que contribuye a disminuir emisiones de CO<sub>2</sub>, el consumo de materias primas vírgenes que representan una disminución en la presión de extracción sobre los recursos naturales, se favorece el ahorro energético, asimismo se reduce la cantidad de residuos enviados a vertederos, aumentando de esta manera su vida útil y reduciendo la contaminación del suelo, el agua y el aire (Medina-Mijangos, 2021).

En consecuencia, se evidencia una reducción considerable de emisiones de GEI de un 69,79%, convirtiéndose en un mecanismo para mitigar el cambio climático, con lo cual se da respuesta a los principios de la EC que apuntan a mejorar el actuar de las empresas hacia la sostenibilidad.

El aspecto económico también está implícito en las ventajas del manejo adecuado de los residuos, lo cual conlleva a un crecimiento empresarial que se logra al incrementar la rentabilidad y minimizar costos de operación como resultado de la aplicación de innovaciones integradas, dado que se obtienen significativos ahorros para el caso en estudio, alrededor de \$31.915.403, distribuidos en \$4.535.000 de la producción de 226,75 bultos de 40kg de compost; \$563.403 correspondiente al valor de 67 galones de diésel y en \$26.817.000 de la disposición de 44.695kg de residuos no peligrosos.

Teniendo en cuenta la creación de valor circular, se resalta la importancia de la gestión de los residuos como aspecto estratégico para avanzar hacia la EC (FORETICA, 2019), además de convertirse en una herramienta fundamental para dar respuesta a los retos de los ODS en Colombia (CONPES, 2018). En particular contribuye con el ODS 11 “Ciudades y comunidades sostenibles y sus meta 11-6 (reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades, incluso prestando especial atención a la calidad del aire y la gestión de los desechos municipales y de otro tipo), el ODS 12 “Producción y consumo responsable” y sus metas 12-4 (Lograr la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida, de conformidad con los marcos internacionales convenidos, y reducir significativamente su liberación a la atmósfera, el agua y el suelo a fin de minimizar sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente), 12-5 (Reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización) y el ODS 13 “Acción por el clima en su meta 13-2 (Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales) (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2015).

#### **4. Conclusiones**

La generación de residuos sólidos está en función de las materias primas, insumos, materiales y demás bienes que entran a los procesos de formación, por lo cual su conocimiento, permite tomar decisiones y direccionar las medidas para reducir y manejar adecuadamente los residuos al interior de la sede; por consiguiente, el control de indicadores

de la gestión de residuos, que miden el desempeño ambiental de la institución a través del SIGA, se convierte en una herramienta eficaz para el seguimiento y medición del avance hacia la circularidad.

En el marco del PGRS institucional, se lleva a cabo la gestión interna de los residuos que contempla las etapas a través de las cuales estos fluyen, mostrando un manejo eficiente basado en estrategias de agregación de valor como las jornadas de sensibilización ambiental, el compostaje, vermicompostaje, biodigestión, transesterificación de aceites, reuso y contribución al reciclaje.

Consecuentemente, se demuestra la importancia de la gestión de los residuos, reflejando el aporte que hace la institución a los principios de la EC, manteniendo procesos circulares, mediante el ciclo biológico devolviendo a la naturaleza el 71,5% de los residuos biodegradables de forma segura y a través del ciclo técnico contribuyendo con el 5,3% de aporte de materia prima para los procesos de reciclaje.

Lo anterior, refleja una gestión responsable de los residuos con una disminución 6.156 kg en la generación, una tasa de aprovechamiento de 76,8% que equivale a 34.756 kg/año de residuos que se evitan en la disposición final y por consiguiente se logra una reducción de 69,79% de emisiones de GEI, lo cual permite obtener resultados económicos, sociales y ambientales que manifiesta el actuar institucional y su contribución a los ODS.

Este estudio se convierte en una herramienta para que las instituciones conozcan los impactos de las actividades de la gestión de residuos y el aporte a la EC, a partir de la cuantificación de la generación de residuos, la identificación y aplicación de actividades de valorización de residuos y la contribución a la reducción de emisiones de GEI.

## **Bibliografía**

- Chan, Y.C., Sinha, R.K. & Wang, W. (2011). Greenhouse gas emission from household aerobic composting, anaerobic digestion and vermicomposting of household waste in Brisbane (Australia). *Waste Management & Research*, 29 (5), 540–548. <https://doi.org/10.1177/0734242X10375587>
- Consejo Nacional de Política Económica y Social [CONPES]. (2016). Documento CONPES 3874, (2016). *Política Nacional para la Gestión Integral de Residuos Sólidos*. Recuperado de <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3874.pdf>
- Espaliat, M. (2017). Economía circular y sostenibilidad. Nuevos enfoques para la creación de valor. Recuperado de [https://wolfypablo.com/documentacion/documentos/2017-10/710%20Economia circular y sostenibilidad.pdf](https://wolfypablo.com/documentacion/documentos/2017-10/710%20Economia%20circular%20y%20sostenibilidad.pdf)
- FORETICA. (2019). La medición de la economía circular. Marcos, indicadores e impacto en la gestión empresarial. Recuperado de [https://foretica.org/wp-content/uploads/informe\\_medida\\_economia\\_circular\\_foretica.pdf](https://foretica.org/wp-content/uploads/informe_medida_economia_circular_foretica.pdf)
- Godri Pollitt, K., Chhan, D., Rais, K., Pan, K. & Wallace, J. (2019). Biodiesel fuels: ¿A greener diesel? A review from a health perspective. *The Science of the total environment*. 688. 1036-1055. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.002>.

- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM]. (2019). Informe Nacional de Residuos o Desechos Peligrosos en Colombia 2018. Recuperado de <http://www.andi.com.co/Uploads/Respel2018.pdf>
- Intergovernmental Panel On Climate Change [IPCC]. (2006). Capítulo 1- Introducción a las directrices de 2006. Recuperado de [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/1\\_Volume1/V1\\_1\\_Ch1\\_Introduction.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/1_Volume1/V1_1_Ch1_Introduction.pdf)
- Intergovernmental Panel On Climate Change [IPCC]. (2006). Capítulo 4- Tratamiento biológico de los desechos sólidos. Recuperado de [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/5\\_Volume5/V5\\_4\\_Ch4\\_Bio\\_Treat.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/5_Volume5/V5_4_Ch4_Bio_Treat.pdf)
- Korhonen, J., Honkasalo, A. & Seppälä, J. (2018). Circular Economy: The Concept and its Limitations, Ecological Economics, Volume 143, Pages 37-46, <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.06.041>.
- Majumdar, D., Patel, J., Bhatt, N., & Desai, P. (2006). Emission of methane and carbon dioxide and earthworm survival during composting of pharmaceutical sludge and spent mycelia. *Bioresource technology*, 97(4), 648–658. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.03.015>
- Marcet, X., Marcet V, M. y Vergés, F. (2018). *Qué es la economía circular y por qué es importante para los territorios*. Recuperado de [http://www.pacteindustrial.org/public/docs/papers\\_publications/6e3474fb7a3a924fac653ff095bfc0c9.pdf](http://www.pacteindustrial.org/public/docs/papers_publications/6e3474fb7a3a924fac653ff095bfc0c9.pdf)
- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible [MINAMBIENTE] y Ministerio de Comercio, Industria y Turismo [MINCIT]. (2019). Estrategia Nacional de Economía Circular. Cierre de ciclos de materiales, innovación tecnológica, colaboración y nuevos modelos de negocio. Recuperado de [http://www.andi.com.co/Uploads/Estrategia%20Nacional%20de%20EconA%CC%83%C2%B3mia%20Circular-2019%20Final.pdf\\_637176135049017259.pdf](http://www.andi.com.co/Uploads/Estrategia%20Nacional%20de%20EconA%CC%83%C2%B3mia%20Circular-2019%20Final.pdf_637176135049017259.pdf)
- MacArthur, F. E. (2013). Towards a circular economy: economic reasons for an accurate transition. Fundación Ellen, España. Retrieved from <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Ellen-MacArthur-Foundation-Towards-the-Circular-Economy-vol.1.pdf>
- Moscoso, K. M., Rojas, C. R., & Beraún, M. M. (2019). La economía circular: modelo de gestión de calidad en el Perú. *PURIQ*, 1(02). <https://doi.org/10.37073/puriq.1.02.48>
- Oficina Catalana del Canvi climàtic. (2013). Guía práctica para el cálculo de Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Recuperado de <https://fdocuments.ec/document/guia-de-calculo-de-emisiones-de-gases-de-efecto-invernadero-gei.html>
- Organización de las Naciones Unidas [ONU]. (2015). Objetivos de desarrollo sostenible. Recuperado de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/poverty/>

- Pava Medina, M., Villalba R, D., Saavedra Q, F., Carrasco, J., & Rodríguez D, W. (2016). Factores de emisión considerados en la herramienta de cálculo de la huella de carbono corporativa MVC Colombia. Bogotá. Recuperado de [https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella\\_carbono/feb12/18Anexo\\_17Factores\\_emision\\_herramienta\\_MCV\\_V6.pdf](https://www.acueducto.com.co/wps/html/resources/2018ag/huella_carbono/feb12/18Anexo_17Factores_emision_herramienta_MCV_V6.pdf)
- Prieto-Sandoval, V., Jaca, C. y Ormezabal, M. (2017). Economía circular: Relación con la evolución del concepto de sostenibilidad y estrategias para su implementación. Recuperado de <http://revistas.um.edu.uy/index.php/ingenieria/article/view/308/366>
- Razza, F., D'Avino, L., L'Abate, G. & Lazzeri, L. (2018). The Role of Compost in Bio-waste Management and Circular Economy. In *Designing Sustainable Technologies, Products and Policies* (págs. 133-143). Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-66981-6>
- Sánchez, A., Artola, A., Font, X., Gea, T., Barrena, R., Gabriel, D., & Mondini, C. (2015). Greenhouse gas from organic waste composting: emissions and measurement. In *CO2 sequestration, biofuels and depollution* (pp. 33-70). Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-11906-9\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-11906-9_2)
- Sistema Integrado de Gestión y Autocontrol SIGA-SENA.(2020). Plan de gestión Integral de residuos sólidos del Centro de Gestión y Desarrollo Sostenible Surcolombiano sede Yamboró.
- Srivastava, R. K., Shetti, N. P., Reddy, K. R. & Aminabhavi, T. M. (2020). Production of biofuels, biodiesel and biohydrogen through bioprocesses. A review. *Environ Chem Lett* 18, 1049–1072. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-00999-7>
- Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios de Colombia. (2020). Informe Nacional de Disposición Final de Residuos Sólidos 2019. Recuperado de [https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2021/Jun/informe\\_df\\_2019\\_final\\_22-12-2020.pdf](https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2021/Jun/informe_df_2019_final_22-12-2020.pdf)
- TECNALIA. (2018). Estudio en la intensidad de utilización de materiales y economía circular en Colombia. Recuperado de [https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Circular/MATEC%20Producto%202\\_v5.pdf](https://www.dnp.gov.co/Crecimiento-Verde/Documents/ejes-tematicos/Circular/MATEC%20Producto%202_v5.pdf)
- Turner, D., Williams, I. & Kemp, S. (2015). Greenhouse gas emission factors for recycling of source-segregated waste materials, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 105, Part A, 2015, Pages 186-197. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.10.026>.