

DOI: 10.26820/recimundo/9.(esp).mayo.2025.282-297

URL: <https://recimundo.com/index.php/es/article/view/2621>

EDITORIAL: Saberes del Conocimiento

REVISTA: RECIMUNDO

ISSN: 2588-073X

TIPO DE INVESTIGACIÓN: Artículo de revisión

CÓDIGO UNESCO: 3308 Ingeniería y Tecnología del Medio Ambiente

PAGINAS: 282-297







Optimización del sistema de gestión de residuos del GAD municipal de salcedo a través de un sistema dinámico a través de la vinculación con la sociedad

Optimization of the waste management system of the Salcedo Municipal GAD through a dynamic system via engagement with society

Otimização do sistema de gestão de resíduos do GAD Municipal de Salcedo através de um sistema dinâmico via engagement com a sociedade

Jose Luis Agreda Oña¹; Andrés Sebastián Moreno Ávila²; Oscar René Daza Guerra³; Alejandra de las Mercedes Martínez Yanchapaxi⁴

RECIBIDO: 10/01/2025 **ACEPTADO:** 19/03/2025 **PUBLICADO:** 06/05/2025

1. Universidad Técnica de Cotopaxi; Latacunga, Ecuador; jose.agreda2101@utc.edu.ec;  <https://orcid.org/0009-0005-5858-869X>
2. Universidad Técnica de Cotopaxi; Latacunga, Ecuador; andres.moreno0063@utc.edu.ec;  <https://orcid.org/0009-0008-4961-3031>
3. Universidad Técnica de Cotopaxi; Latacunga, Ecuador; oscar.daza@utc.edu.ec;  <https://orcid.org/0000-0003-3641-6991>
4. Universidad Técnica de Cotopaxi; Latacunga, Ecuador; alejandra.martinez7@utc.edu.ec;  <https://orcid.org/0009-0001-9924-6574>

CORRESPONDENCIA

Jose Luis Agreda Oña
jose.agreda2101@utc.edu.ec

Latacunga, Ecuador

RESUMEN

El aprovechamiento de residuos comunes es clave para llegar a generar ciudades verdes. El objetivo de la investigación fue establecer distintos escenarios de aprovechamiento de residuos orgánicos y revalorizarlos mediante la economía circular y el levantamiento de datos provenientes de la vinculación con la sociedad en el cantón Salcedo. La metodología usada fue analizar la gestión de residuos implementando cuatro escenarios diferentes; el primero con el aumento de un 20% de separación en la fuente, un segundo escenario se estableció con 20% de aprovechamiento y los escenarios 4 y 5 son combinaciones de los dos primeros con un aumento en el factor de aprovechamiento, esta información se la procesó con la metodología de dinámica de sistemas apoyada en el software vensim, realizando una proyección de resultados hasta el año del 2100. Las variables que se analizaron fueron el crecimiento poblacional, capacidad del relleno sanitario, residuos aprovechados y separados en la fuente, en donde el resultado a destacar es que los residuos que son dispuestos en el relleno sanitario se redujeron en un 40%, asegurando que la capacidad del relleno sanitario se mantenga viable hasta el año 2100.

Palabras clave: Separación en fuente, Aprovechamiento de residuos, Economía circular, Dinámica de sistemas.

ABSTRACT

The utilization of common waste is key to achieving green cities. The objective of this research was to establish different scenarios for the utilization of organic waste and its revaluation through the circular economy and the collection of data from engagement with society in the Salcedo canton. The methodology used was to analyze waste management by implementing four different scenarios; the first with a 20% increase in source separation, a second scenario was established with 20% utilization, and scenarios 4 and 5 are combinations of the first two with an increase in the utilization factor. This information was processed using the system dynamics methodology supported by Vensim software, carrying out a projection of results until the year 2100. The variables analyzed were population growth, landfill capacity, utilized and source-separated waste, where the noteworthy result is that the waste disposed of in the landfill was reduced by 40%, ensuring that the landfill capacity remains viable until the year 2100.

Keywords: Source separation, Waste utilization, Circular economy, System dynamics.

RESUMO

A utilização de resíduos comuns é fundamental para alcançar cidades verdes. O objetivo desta investigação foi estabelecer diferentes cenários para o aproveitamento dos resíduos orgânicos e a sua valorização através da economia circular e da recolha de dados com base no envolvimento com a sociedade no cantão de Salcedo. A metodologia utilizada foi analisar a gestão de resíduos implementando quatro cenários distintos; o primeiro com um aumento de 20% na separação na fonte, foi estabelecido um segundo cenário com 20% de utilização, e os cenários 4 e 5 são combinações dos dois primeiros com um aumento do fator de utilização. Esta informação foi processada utilizando a metodologia de dinâmica de sistemas apoiada pelo software Vensim, realizando uma projeção de resultados até ao ano 2100. As variáveis analisadas foram o crescimento populacional, a capacidade do aterro, os resíduos utilizados e separados na origem, onde o resultado notável é que os resíduos depositados no aterro foram reduzidos em 40%, garantindo que a capacidade do aterro se mantém viável até ao ano 2100.

Palavras-chave: Separação na origem, Utilização de resíduos, Economia circular, Dinâmica de sistemas.

Introducción

Es importante darse cuenta de que la protección del medio ambiente es necesaria para la salud de los habitantes del Cantón Salcedo y del planeta, así como la conservación de la biodiversidad, también es nuestra responsabilidad salvaguardar el bienestar de las futuras generaciones. Por lo que se debe hacer cambios profundos en el estilo de vida. La gestión de residuos constituye uno de los desafíos ambientales más significativos en las áreas urbanas y rurales de todo el mundo, El mundo enfrenta una creciente presión para desarrollar sistemas de gestión de residuos eficientes y sostenibles debido al aumento de la población y la urbanización acelerada. El Gobierno Autónomo Descentralizado (GAD) Municipal de Salcedo no es la excepción, enfrentando la necesidad de optimizar su sistema de gestión de residuos para mitigar los impactos ambientales y mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

La gestión de residuos en el Cantón Salcedo presenta varias limitaciones, tales como la falta de infraestructura adecuada, deficiencias en la recolección y disposición de residuos, y una baja participación ciudadana en prácticas de reciclaje.

Estas deficiencias no solo generan problemas ambientales, como la contaminación del suelo y agua, sino que también afectan negativamente la salud pública y la economía local. Ante esta situación, es favorable implementar estrategias innovadoras que permitan una gestión más eficiente y sostenible de los residuos. El uso de sistemas dinámicos se presenta como una solución prometedora para abordar la complejidad de la gestión de residuos. Un sistema dinámico permite modelar y simular diferentes escenarios de gestión, proporcionando una herramienta valiosa para la toma de decisiones informadas. A través de la simulación, es posible identificar los puntos críticos del sistema actual, evaluar el impacto de diversas políticas y estrategias, y optimizar los procesos de recolección, tratamiento y disposición final de los residuos.

Además, se recopilaron datos relevantes, los cuales se analizaron utilizando técnicas estadísticas y cualitativas. Con base en estos datos, se desarrollará un modelo de simulación que permita probar diferentes escenarios y estrategias de optimización. La metodología de este estudio se fundamenta en un enfoque cualitativo, para obtener una visión integral del problema.

Del mismo modo, la expresión ciudadana es reducida, con interacción a la calidad y posibilidad de los servicios, con relación a un servicio otorgado por un régimen paternalista, el cual le ofrece como si fuera una especie de favor, por lo cual la población no posee derecho a quejarse

La generación per cápita estimada para el año 2023 es de aproximadamente 0,51 kg/gab*día, con una generación anual de 80 toneladas al relleno sanitario, por lo que el manejo de residuos es vital importancia en los próximos años. En los últimos años el Cantón Salcedo ha experimentado un crecimiento desmedido de población.

La modelación del sistema dinámico se realizará utilizando software especializado, como Vensim, para simular los diferentes escenarios y evaluar sus resultados. Al optimizar el sistema de gestión de residuos, se espera mejorar la eficiencia operativa, reducir los impactos ambientales y promover una mayor participación ciudadana en la separación y reciclaje de residuos. En última instancia, esta investigación aspira a ser un recurso valioso para las decisiones, y un paso hacia un futuro más sostenible para la comunidad de Salcedo.

Metodología

La metodología comprendió principalmente tres fases fundamentales: Revisión bibliográfica a nivel nacional, la contextualización de la información para el modelo del problema en el GAD Municipal de Salcedo y el modelado mediante la utilización de Dinámica de Sistemas.

En la revisión bibliográfica internacional, se recopilaban datos y resultados de investigación similares, enfocadas en el modelado para la gestión de residuos.

Se desarrolló un modelo de gestión de residuos para Bangkok (Tailandia) y se propusieron varios esquemas de clasificación de fuentes, lo que dio lugar a cambios significativos en la vida útil del vertedero. De igual manera (Rodríguez Andrade, J. y Ibarra Vega, D, 2019)

Estos plantearon un modelo para la gestión de residuos en Teherán, Irán, incorporando variables económicas y políticas. Esto los llevó a conclusiones más concretas, como que lo más importante no es introducir el concepto de separación en la fuente, sino tener una planificación adecuada, el uso de políticas públicas y una participación e involucramiento comunitario continuo y efectivo. Una verdadera herramienta para la eficiencia ambiental, social y económica.

Según Sufian & Bala (2007), la gestión de residuos sólidos en Dhaka, Bangladesh y se concluyó que utilizar residuos para generar electricidad es una buena estrategia para reducir el impacto ambiental. Se encontraron investigaciones más específicas (Porrás A. P., 2018).

En cuanto a la contextualización de la información para el modelado del problema en el Cantón Salcedo, se adquirieron artículos (Sáez & Urdaneta G, 2014), realizaron una revisión bibliográfica sobre la gestión de residuos sólidos en algunos países de América Latina y el Caribe, el aumento poblacional en China con la generación creciente de residuos y propuso planes para mejorar el sistema de gestión.

Investigaciones similares, se recopilaban datos cuantitativos para obtener la modelación, requerir información sobre el plan de Gestión Integral de Residuos (PGIRS, 2016). Este documento adquiere información relevante, como la cantidad de residuos en el Relleno Sanitario, para así obte-

ner el aprovechamiento y a su vez, su vida útil, frecuencia de recolección, caracterización de residuos y operadores del servicio público de aseo.

La revisión bibliográfica se realizó mediante un análisis de contenido interpretando, comprando, ordenando y priorizando la información que se obtuvo según el año de dicha investigación para así generar resultados que refleje la manera más cercana a la realidad.

El modelamiento del Sistema de Gestión en el Cantón Salcedo, considerando la información y los datos recopilados, se determina las variables más factibles para el estudio determinado, tales como población, recolección, disposición final, aprovechamiento de residuos orgánicos y reciclaje. Las variables recopiladas fueron elegidas debido a su presencia común de dichos modelos estudiados, a su vez la gestión de residuos en la ciudad de Salcedo. Se llevó a cabo un determinado análisis histórico de cada uno de estos aspectos, analizando su comportamiento en los últimos años para construir tendencias pasadas y así proyectar posibles tendencias futuras, las cuales se validaron a través de dicho modelo.

En esta metodología, el concepto de sistemas se considera fundamental, entendido como una unidad compuesta por diversos elementos que interactúan de manera coordinada para alcanzar un objetivo específico. La Dinámica de Sistemas facilita la comprensión de las relaciones entre las variables, permite visualizar las posibles consecuencias de dicha modelación de una sola de ellas (Rodríguez, 2019).

En el contexto de la dinámica de Sistemas, la importancia de la construcción de estructuras de realimentación, las cuales se definen como representaciones formales de los factores más significativos de un problema y sus interrelaciones.

Variables que se utilizadas en Vensim para la simulación de sistemas

Los sistemas dinámicos están priorizados en el uso de las variables que se contactan en diferentes procesos para ver su repercusión, y el efecto en los distintos procedimientos de un sistema; un gran ejemplo particular para dicha investigación es un sistema dinámico de gestión de desechos para el Cantón Salcedo, partiendo del crecimiento poblacional como causa directa en la problemática de la gestión y disposición final.

Definición de variables para el análisis del sistema dinámico en el diagrama de causales

Para definir las variables a tenerse en cuenta se parte del Re-COA en su artículo 615, se establece las diferentes fases del sistema GIRS. La simulación debe poseer un efecto a través del tiempo para observar el comportamiento de variable a lo largo del tiempo.

1. Fase de Generación: En esta fase se consideran las variables causales de los de-

sechos generados per cápita, a su vez clasificando por su origen; en esta fase obtenemos la población, generación de residuos intermedios y reciclables.

2. Fase de almacenamiento y transporte: se obtuvieron las variables causales como la recolección de residuos y en su fase de reciclaje, como los principales para optimizar el GIRS.
3. Fase de Eliminación y disposición final se estableció como variable la capacidad del relleno sanitario, y residuos dispuestos en el relleno, se adicioneo el aprovechamiento orgánico se dirige fundamentalmente a la eliminación.

Se establece una relación que mantiene las variables entre sí para el análisis causal previo a la mejora del software Vensim, estos parámetros se pueden según lo que se describe en la tabla 1.

Tabla 1. Variables

VARIABLE	IMPORTANCIA
Población	Crecimiento Neto de la población
Generación De Residuos	Relacionado directamente con la Población
Separación en la fuente	Ayuda a la disposición final y el aprovechamiento en la fuente.
Reciclaje	Ayuda a la disposición final y el aprovechamiento en la fuente
Aprovechamiento de Orgánicos	
Capacidad del Relleno	En toneladas métricas
Residuos dispuestos en el relleno	Cantidad de residuos que entra en el sistema
Disposición Final	Volumen en el relleno

Nota: Variables consideradas en el proceso de Gestión de Residuos en el Cantón Salcedo.

Resultados

Los resultados obtenidos estuvieron en función de 4 escenarios diferentes propuestos por Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos (SGIRS), iniciando con un incremento del 30% de la separación en la fuente del

total de residuos generados y recolectados. Segundo escenario se sugirió el 30% de la revalorización de los residuos sólidos que se depositan en el SGIRS. Para el tercer escenario se acoplaron el escenario 1 y 2 para lograr evidenciar la optimización en SGIRS tomando en cuenta como principal estrate-

gia la mitigación en la fuente, basándose bajo la dictación del Re COA del país.

Como 4 escenario se estima al escenario 3 más un aumento de aprovechamiento de residuos al 50%, generado resultados a través del modelamiento en el Software Vensim para la optimización del SGIRS.

Caracterización de Sistema de Gestión Integral como Sistema Dinámico

Basándose en la metodología, el primer paso consistió en la creación del diagrama causal (ver Figura 10), que se determina a partir de la población, dentro de esta variable se observa elementos como los nacimientos, las

defunciones, la migración, los cuales producen la incrementación de población del Cantón Salcedo, en efecto, para simplificar estas interacciones, se utiliza el concepto de incremento neto, el mismo que está conformado por las variables mencionadas anteriormente, y creando una combinación genera un impacto en la población , en donde podemos definir que si existe un aumento en la variable de incremento neto y su valor es positivo la población tendrá un crecimiento afectando así a la variable ya mencionada.

Tomando en cuenta todo este proceso podemos considerar que el bucle se caracterizará por ser un refuerzo.

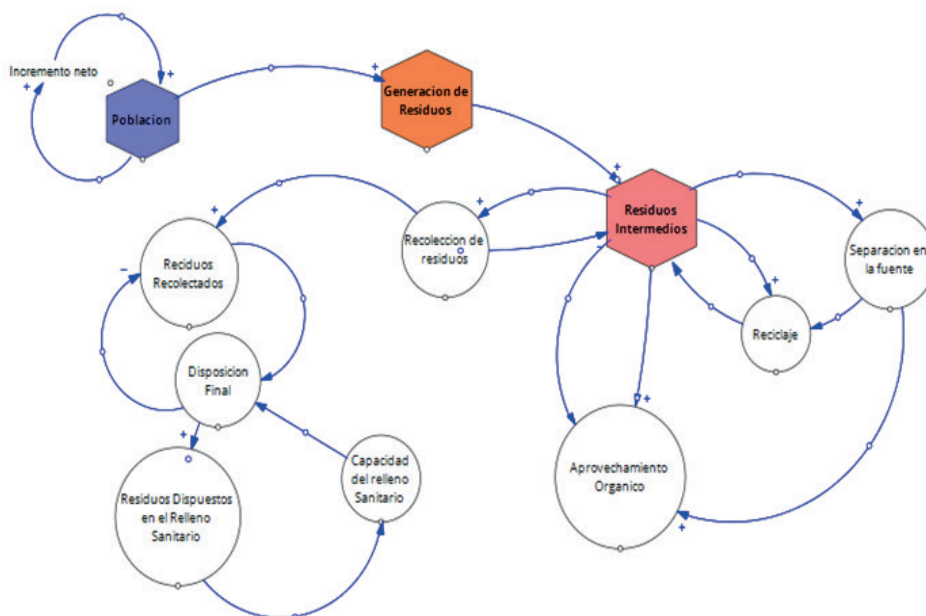


Figura 1. Diagrama de causas con las variables de estudio Sistema integral de gestión de residuos sólidos

Análisis de diagrama causa:

Si se presencia un incremento en la población, la generación de cantidad de residuos sólidos será mayor, lo cual quiere decir que aumentará los residuos intermedios, que se observan en el modelo, los cuales surgen después del proceso de aprovechamiento y se destina a la disposición final en el relleno sanitario.

La implementación de diversas estrategias puede reducir estos residuos. Como, por ejemplo, un aumento en los residuos intermedios puede promover una mayor separación en la fuente, lo cual a su vez facilitará dos acciones: en primer lugar, más reciclaje, es decir que, como consecuencia, menos residuos intermedios (primer bucle de balance, generando otro entre residuos y reciclaje): en segundo lugar, un mayor aprovechamiento de material orgánico y

menos residuos intermedios (tercer bucle de balance, generando otro entre residuos y aprovechamiento).

Asimismo, la reducción de los residuos intermedios también puede lograrse mediante la recolección, que se llegan a ser considerados residuos recolectados, los cuales son aquellos transportados en el vehículo recolector, es así donde se establece el quinto bucle de balance, donde el aumento en los residuos acumulados implica una mayor recolección, pero de la misma forma, una mayor recolección reduce la acumulación de residuos.

En el proceso de recolección aumenta la cantidad de residuos recolectados, los cuales deben ser dispuestos, Esto quiere decir que mientras mayor sea la cantidad de residuos recolectados, se requiere una mayor disposición final.

En otras palabras, una mayor disposición final precede a una disminución de los re-

siduos presentes en los vehículos, dando lugar a la creación del sexto bucle de balance.

Por último, si existe una cantidad mayor en la disposición final, se depositará más residuos en el Relleno Sanitario, lo cual llevará a cabo una disminución en la capacidad, al tomar en cuenta este aspecto, se determina que, a menor capacidad del relleno, la disposición final de residuos será de manera más limitada, creando así el último bucle de balance.

Diseño dinámico del Sistema de gestión integral de Residuos Sólidos

Concluyendo con la elaboración del diagrama causal, la conversión a un diagrama de niveles y flujos se lleva a cabo utilizando el software Vensim, el diseño final se presenta en la figura, en la elaboración fue esencial establecer de manera apropiada las variables de nivel, así como los flujos de entrada y salida mostrado en la Figura 11.

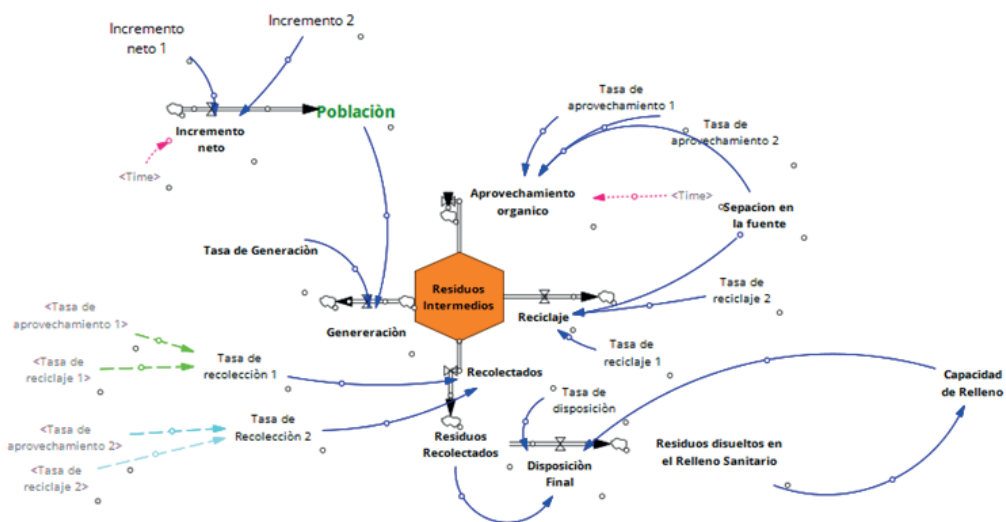


Figura 2. Diagrama de Flujo y Niveles

Análisis del Sistema de Flujo: Para realizar el esquema se tomó en cuenta los indicadores seleccionados del índice de Calidad Ambiental Urbana (ICAU), se realizó una conexión usando dos ecuaciones las

cuales incorporan las variables de residuos sólidos aprovechados, residuos sólidos generados y residuos sólidos dispuestos adecuadamente, las cuales están expuestas en el modelo.

$$\% \text{Residuos sòlidos aprovechados} = \frac{\text{Residuos sòlidos aprovechados}}{\text{Residuos sòlidos generados}} * 100$$

$$\% \text{Residuos dispuestos adecuadamente} = \frac{R.S \text{ Dispuestos adecuadamente}}{\text{Residuos sòlidos generados}} * 100$$

Para terminar con la creación del diagrama de niveles y flujos, se elaboró el modelo matemático, a través de ecuaciones de nivel, de flujo y auxiliares. A continuación, se realizó el análisis dimensional, herramienta que verifica la coherencia de las dimensiones (o unidades) en las dos partes de una ecuación, para determinar si ésta es realmente aplicable (Martínez, 2004).

Resultado Simulados

Se obtuvo una estructura cualitativa, donde se integró la información cuantitativa usando los datos recopilados durante la revisión bibliográfica. La simulación se realizó en el Software Vensim. Los primeros resultados se observaron a través del diagrama de niveles y flujos, así como del modelo matemático. Las variables utilizadas se aprecian en la Tabla 1, estos datos cumplen diferentes condiciones para cada variable, para lograr obtener los valores.

En primera instancia, la calibración implica optimizar todas las variables y flujos mediante la comparación de los comportamientos modelos con los obtenidos a partir de la revisión bibliográfica, en otras palabras, las tendencias identificadas. La verificación se centra en el análisis de los errores relativos y su ajuste para respaldar su minimización, lo que garantiza la confiabilidad de los resultados futuros.

Para este proceso se llevó a cabo un análisis de la primera variable denominada población, tomando en cuenta que esta variable tiene una mayor disponibilidad de información y constituye la base fundamental del modelo. Para evaluar si la variable sigue las tendencias reales se utiliza como referencia el año 2001 en el cual, según datos del INEC, la población urbana de Salcedo 51,304 personas, de igual manera se consideran las tasas de incremento neto.

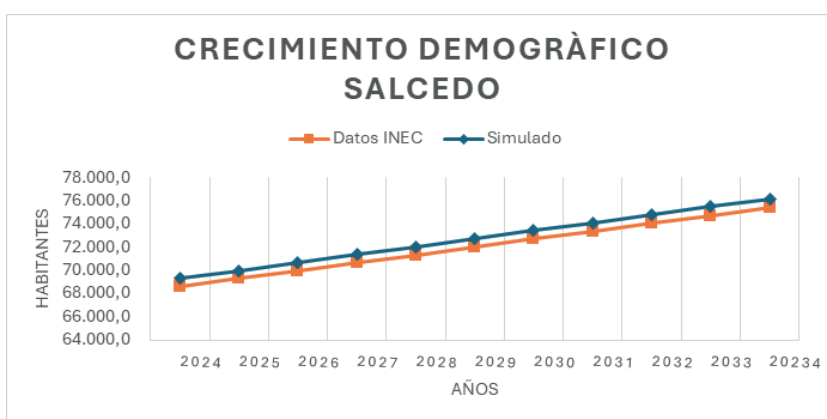


Figura 3. Datos reales contra simulación para afinar el modelo Vensim

Analizando los resultados obtenidos a través del modelo con los datos proporcionados por el INEC, se afirma que el modelo sigue la trayectoria de los datos reales. De

la misma forma existe un error relativo registrado con un valor de 2,70 indicando que no existe una diferencia comparativa entre los valores, esto quiere decir que no afecta sig-

nificativamente a la comparativa entre los datos, además los datos simulados representan de manera cercana la realidad de la población en la ciudad.

Los habitantes del Cantón Salcedo cada día incrementan la cantidad de residuos los cuales están producidos en sus domicilios, colegio, hospitales, entre otros teniendo como destino final llegar al relleno sanitario. La simulación indica un aumento lineal de la población, pero a un ritmo ligeramente superior, de 68000 en 2024 a 76500 en 2034. El aumento medio ronda las 850 personas al año.

Capacidad del Relleno Sanitario

El relleno sanitario de salcedo se creó para

gestionar una cantidad importante de residuos sólidos urbanos, con enfoque en una gestión eficiente y sostenible. Se estima que la vida útil prevista del vertedero será de entre 15 y 20 años, dependiendo del crecimiento de la población y la producción de residuos.

Dicho esto, se realizó un análisis sobre la capacidad del relleno sanitario el cual está representado en la siguiente figura, Donde se verificó que la capacidad del vertedero se ve impactada por el aumento exponencial del volumen de residuos acumulados. El relleno sanitario puede alcanzar su capacidad máxima mucho antes de lo previsto. Si es necesario, provocando importantes problemas medioambientales y logísticos.

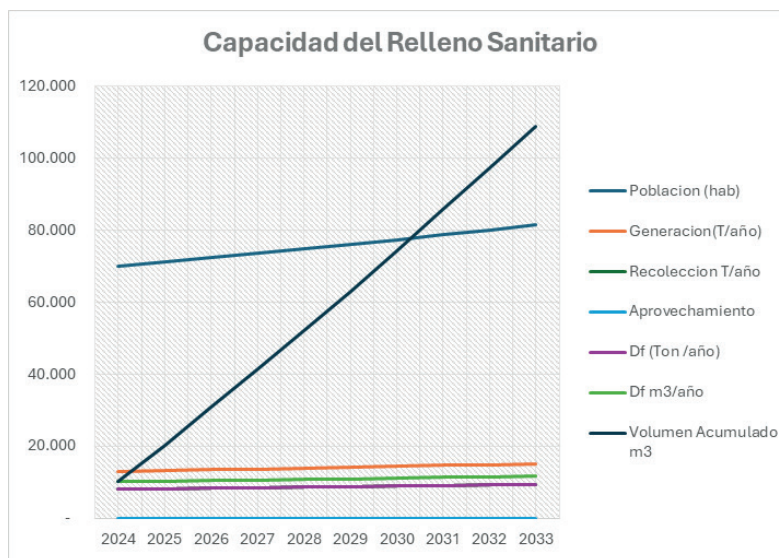


Figura 4. Capacidades del relleno Sanitario

Residuos sanitarios

Los desechos sanitarios de Salcedo incluyen una variedad de desechos producidos por actividades médicas y de salud que requieren un manejo específico para garantizar la salud y el bienestar ambiental.

Para evitar riesgos para comunidad y el entorno natural, la clasificación, gestión y disposición de estos residuos deben seguir estrictamente las regulaciones establecida por las autoridades competentes, dicho esto se evaluó los residuos sanita-

rios determinado valores mensuales, donde en el mes de noviembre se observará el valor más bajo de entrada de residuos sanitarios según los datos proporcionados con el GAD Municipal, Mientras que en la simulación podemos decir que las líneas exhiben un patrón constante del 2 al 9, con picos y mínimos en los meses 2 a 4, y un mínimo en los meses de Febrero a Abril , y un mínimo en los meses de Mayo al meses de Septiembre, la simulación refleja los aspectos fundamentales de la gestión de residuos , con un tendencia constante.

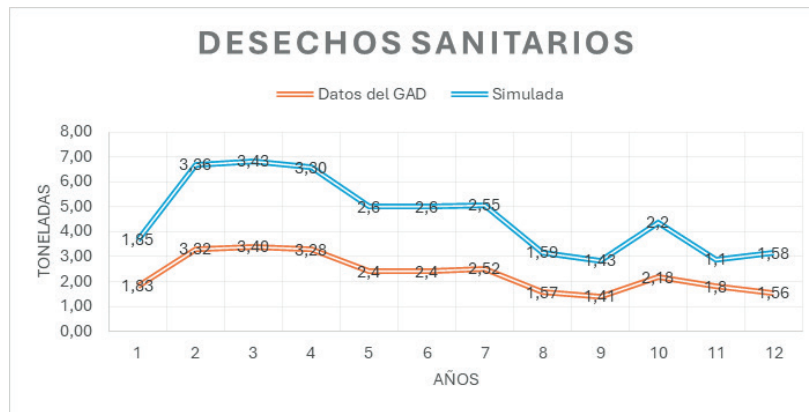


Figura 5. Desechos Sanitarios

Ingresos comunes al Relleno Sanitario

El vertedero de Salcedo plantea un problema importante para los residuos eliminados, esto debe abordarse de manera proactiva, las proyecciones sugieren de que la generación de residuos está aumentando, lo que requiere planificación estratégica y mejoras en la gestión de residuos. El énfasis debe estar en mejorar las capacidades de recolección y procesamiento de desechos, al mismo tiempo recolección y procesamiento de desechos, al mismo tiempo que se promueven prácticas sustentables que minimicen el uso del relleno sanitario.

El crecimiento sostenible y eficiente del sistema de gestión de residuos de Salcedo

depende de la implementación de tecnologías de tratamiento avanzadas y programas eficientes de reducción y reciclaje. Los datos reales muestran una variabilidad moderada a lo largo del año, con una tendencia a permanecer dentro del rango de 900 a 1200 toneladas por mes. En la línea de valores se aprecia que los picos y valles son menos prominentes, lo que indica un cierto nivel de producción de residuos a lo largo del año.

La línea de producción simulada muestra niveles consistentes más altos que los datos del GAD Municipal, que oscilan entre 1.500 y 2,000 toneladas por mes. Muestra una gran variación con varios picos y caídas significativas en marzo, junio y noviembre.

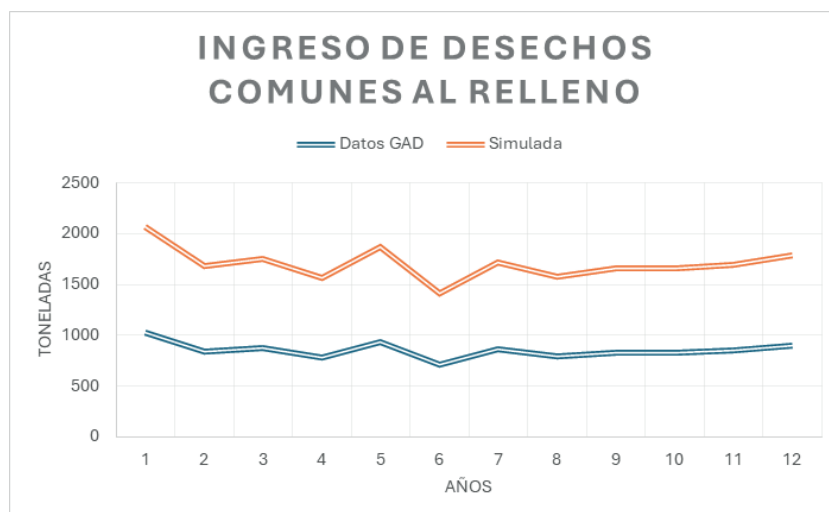


Figura 6. Ingreso de desechos comunes al relleno

Recuperación de Material Reciclado

Se refiere al proceso mediante el cual los desechos sólidos que se depositan en el relleno se separan y recuperan para su reciclaje en lugar de simplemente depositarlos en el suelo. El proceso implica la clasificación, recolección y procesamiento de materiales reciclables como papel, plástico, vidrio y metales. El objetivo de este proceso es reducir el volumen de desechos que quedan en el relleno y reducir el impacto ambiental.

La recuperación de materiales reciclados tiene sus picos a lo largo del año en los meses de marzo a abril y de noviembre a diciembre, aunque hay algunas diferencias en magnitud, es decir que la gráfica de recuperación de material reciclado muestra las dinámicas del reciclaje en el relleno sanitario de Salcedo y destaca la estacionalidad y las diferencias entre los datos reales y los simulados. Este análisis es fundamental para que las autoridades locales modifiquen sus prácticas y políticas de gestión de desechos para mejorar la recuperación de reciclados y promover prácticas más sostenibles.

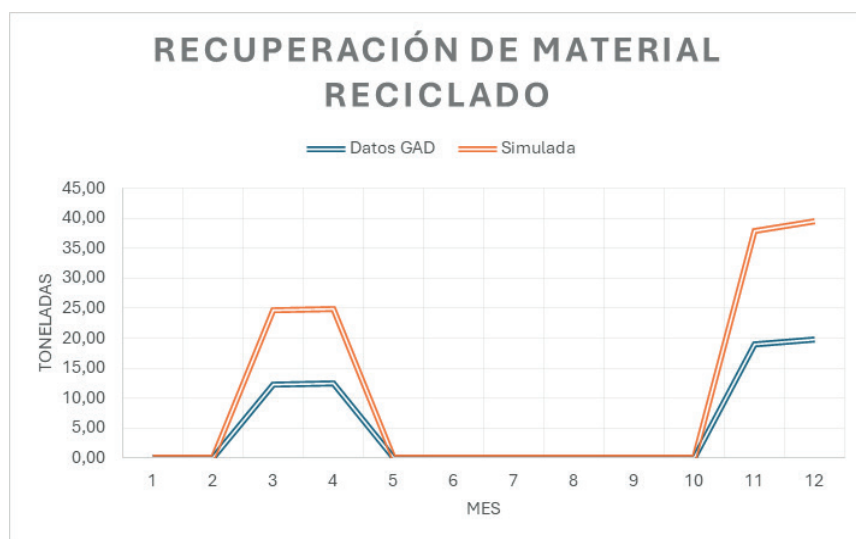


Figura 7. Recuperación de material reciclado

Discusión

Tomando en cuenta la evaluaciones realizadas y simulaciones, se observa que el indicador de residuos aprovechados alcanza un aprovechamiento constante del 44% en el escenario 3, mientras que en el escenario 1 se mantendría un valor de 38% y con el escenario 2 se obtiene un aprovechamiento del 19,5%.

Teniendo presente la ecuación 2, se considera un valor alto en el indicador de residuos dispuestos señala que más residuos del total de los generados se llevan a disposición, considerando que el objetivo es aprovechar más residuos y disminuir de for-

ma significativa los que se llevan al relleno sanitario, es influyente que este indicador tenga valores bajos, el escenario actual mantiene un valor de 81,39% de residuos dispuestos adecuadamente, el escenario 2 de 78,08%, el escenario 1 de 61,31% y el escenario 3 de 55,97%.

Conforme a lo anterior, en el escenario 2, plantea un aumento del 3,45% en el aprovechamiento total donde se encuentran tantos los residuos orgánicos y de reciclaje en donde se puede apreciar menos mejoras, porque los resultados muestran que las tendencias se comportan de forma muy similar al escenario actual, mientras que el escena-

rio 1 busca aumentar únicamente la separación de la fuente, lo cual ayuda a prolongar la vida útil del relleno sanitario. En el indicador de residuos aprovechados se observa una mejoría del 24%, mientras que en los residuos dispuestos se aprecia un valor del 20,09%, el escenario 3 refleja un aumento del 28% tomando en cuenta que es el conjunto de los dos anteriores mencionados y comparando con el escenario actual, el segundo indicador muestra un valor favorable del 25,45%.

Finalmente, el escenario 4, busca aumentar un 33,43% el total de aprovechamiento y alentar la separación en la fuente, donde permite ver los mejores resultados, pues para el 2040 se tendría un espacio disponible para 36,365.900 toneladas de residuos, 21,431.900 más que el escenario 3, el indicador de residuos aprovechados alcanza el 74,57% y el de residuos dispuestos adecuadamente 24,56% lo más favorable del análisis.

Sáez, A., & Urdaneta, J. A (2014), en su investigación determinan que en América Latina y el Caribe, la gestión de residuos se enfoca en la recolección y en la disposición final, sin prestar la suficiente atención a las demás variables del sistema, mientras que el autor Porras R. A (2018) afirma que, en el departamento de Cundinamarca, los rellenos sanitarios se han tomado como la única alternativa, evitando otras estrategias importantes. El cantón Salcedo no está fuera de tener este tipo de inconvenientes descritos con anterioridad al igual que las problemáticas que hoy en día se presentan, lo cual es a causa de no contar con un análisis integral de residuos.

Al evaluarse los distintos escenarios, se afirma que el cantón Salcedo necesita plantear estrategias que tengan como principal objetivo incrementar el aprovechamiento de residuos y así disminuir la cantidad que se destina a disposición final.

Análisis de mejora en el sistema de gestión Integral de Residuos Sólidos

Según el Gobierno Nacional, hay diversas maneras de mejorar el manejo de los desechos sólidos en el cantón Salcedo las cuales están agrupadas en 4 categorías principales, el primer grupo abarca estrategias para reducir la producción de residuos, disminuir la cantidad dispuesta y promover la reutilización, aprovechamiento y tratamiento de los mismos, en el segundo grupo se enfoca en la sociedad y busca aplicar estrategias educativas sobre este tema, en cuanto al tercer grupo se direcciona a otros actores y pretende que cada participante en la gestión se responsabilice y actúe para mejorar el proceso, concluyendo con el cuarto grupo el cual busca que las autoridades ambientales ejecuten controles estrictos sobre cada actividad relacionada con la gestión de los residuos sólidos (Consejo Nacional de Política Económica y Social - CONPES -, 2016).

Todas estas estrategias son fundamentales para el sistema, ya que permiten reducir la generación de residuos, incrementar la separación y aprovechamiento, disminuir la contaminación y prolongar la vida útil del vertedero sanitario (Ávila, Nieto, Jiménez, Osorio, 2011).

El análisis de los diferentes escenarios permite ver que la opción que incrementa la separación en la fuente (Escenario 1) tiene un mejor resultado, que el escenario 2 donde existe un mayor aprovechamiento de los residuos, lo que quiere decir que es indispensable que la Arcadia se enmarque, inicialmente, en el segundo grupo de estrategias, es decir, la educación a la población. Como fue mencionado por varios autores, para lograr la obtención de buenos resultados es fundamental sensibilizar a la población con respecto a los residuos generados en cada una de las actividades diarias e impulsar su participación responsable en el sistema de gestión (Sáez, A., & Urdaneta, J. A, 2014).

La alcaldía anterior ha buscado que se seleccionen los residuos ordinarios en bolsa negra y los residuos reciclables en bolsa verde; lo cual puede explicar el aumento de

5,16% en el aprovechamiento de residuos del 2016 al 2017.

Se deben plantear estrategias más sólidas, que busquen una selección más estricta de los residuos, lo cual quiere decir que se separa la materia orgánica de los residuos ordinarios y el plástico del papel y cartón, además es evidente que se debe buscar un incremento en la cantidad de personas que realizan separación en la fuente, para que toda la gestión sea más eficiente.

Crear políticas públicas efectivas debe ser el primer paso para generar cambios positivos importantes en todo el sistema de gestión de residuos sólidos en el cantón salcedo, para esto es fundamental el interés, la inversión y a la coordinación de quienes gobiernan la ciudad, quienes tiene a cargo este servicio y todas aquellas instituciones con competencia en esta gestión (Sáez, A., & Urdaneta, J. A, 2014), así mismo, debe contarse con el apoyo de las autoridades ambientales, para verificar que cada actividad involucrada en la gestión de residuos se esté llevando a cabo adecuadamente y que no impacte negativamente la calidad ambiental urbana.

Siguiendo con la línea de estrategias, la Arcadia, debe promover la educación a la población, y buscar la minimización de la cantidad de residuos que se llevan a disposición a través de incentivos a empresas que se dediquen a reciclar, tratar, reutilizar o aprovechar residuos, es importante entonces, que se eduque a la población recicladora en temas como la gestión empresarial y el Registro Único de Recicladores de Oficio (RURO), de la misma manera, que se planee adecuadamente el proceso para la formalización de los mismos y que se brinden mecanismos más eficientes para la recolección selectiva. Estas estrategias atenderán el aspecto fundamental de los problemas principales del sistema de gestión de residuos en Salcedo, la informalidad, pues, tal como sucede en algunos países de América Latina y el Caribe, aún se observan per-

sonas que trabajan en las calles, separando los residuos que desde los hogares no se segregan (Sáez & Urdaneta, 2014).

La formalización de los recicladores es un punto clave, esto permite organizar toda la cadena desde la recolección hasta la comercialización de los nuevos productos, teniendo en cuenta aspectos como las rutas selectivas, la sectorización de la ciudad y el establecimiento formal de centros de acopio, transferencia, reciclaje y aprovechamiento, tal como lo afirmó Porrás R. A. (2018), como conclusión al análisis del modelo de residuos en Chía, Cundinamarca.

Es importante también que el GAD Municipal tome en cuenta los registros que existen de cantidad y caracterización de los residuos sólidos que se generan en la ciudad y aquellos que llegan al relleno sanitario (Sáez & Urdaneta, 2014), para que partir de todos estos datos, se planifique adecuadamente el sistema de gestión y se pueda tomar en cuenta otras estrategias alternativas al relleno sanitario, como la incineración de ciertos residuos, tal como lo describió Hernández Sánchez (2012).

Según Goicochea Cardoso (2015), en los últimos años se han desarrollado distintos modelos para la gestión de residuos sólidos vinculando variables sociales, económicos y ambientales, con el objetivo de apoyar la toma de decisiones, además es importante tener en cuenta que todos los modelos tienen limitaciones, al asumir ciertas variables y no tomar en cuenta todo el proceso. Por ejemplo, en el cantón Salcedo, así como en otras ciudades de América Latina y el Caribe, una de las limitaciones más grandes en la gestión de residuos sólidos es el cambio de administración, pues genera discontinuidad en todos los procesos (Sáez & Urdaneta, 2014).

Estrategias de mejora de la gestión de residuos sólidos

Promover la Separación en la Fuente (Kaza, Bhada, & Van Woerden, 2018), poner en marcha programas educativos que destaquen

la importancia de la separación en la fuente, Distribuir contenedores de reciclaje y compostaje a los hogares, optimizar la recolección de residuos (Hoorweg & Bhada, 2012); Emplear tecnologías de monitoreo y rutas eficientes para la recolección. Establecer horarios de recolección claros y eficientes.

Impulsar la Economía Circular (MacArthur, 2013): Colaborar con empresas locales para establecer programas de reciclaje y reutilización. Desarrollar sistemas de depósito y retorno para envases reutilización. Implementar Tecnologías Innovadoras (Cavallier, 2019): Utilizar sensores y sistemas de monitoreo inteligentes para la gestión eficiente de residuos. Implementar tecnologías avanzadas como la inteligencia artificial para predecir patrones de generación de residuos. Involucrar a la Comunidad y organizar eventos comunitarios y campañas de concientización. Establecer programas de voluntariado para la limpieza y gestión de desechos. Apoyar a los recicladores informales, legalizar la participación de los recicladores informales en la cadena de gestión de residuos, proporcionar capacitación y equipo de seguridad para mejorar sus condiciones laborales.

Aplicar tarifas diferenciales (Van Eygen, Laner, & Fellner, 2018): establecer sistemas de tarifas que incentiven la reducción de residuos. Ofrecer descuentos a hogares que participen activamente en programas de reciclaje.

Desarrollar Infraestructuras Sostenibles (UNEP, 2018): mejorar la infraestructura para la clasificación y procesamiento eficiente de residuos.

Desarrollar instalaciones de tratamiento de residuos que prioricen la sostenibilidad

Realizar Auditorías y Evaluaciones Llevar a cabo auditorías periódicas del sistema de gestión de residuos, evaluar el impacto ambiental y la eficacia de las iniciativas implementadas.

Conclusiones

La gestión eficiente de residuos sólidos es crucial para proteger el medio ambiente, la salud pública y asegurar un futuro sostenible para las generaciones venideras. Este proyecto no solo busca resolver problemas críticos en la gestión de residuos en el Cantón Salcedo, sino que también contribuirá al campo de la ingeniería ambiental y la gestión de residuos a través del desarrollo y validación de modelos dinámicos aplicables en contextos similares. Es fundamental actuar ahora para reducir la contaminación, beneficiar a la comunidad y preservar el medio ambiente para las futuras generaciones. Las variables dinámicas del sistema que se identifican y definen con precisión, como la tasa de generación de residuos, la capacidad de recolección y la tasa de reciclaje, crean una base sólida para los modelos de Vensim. Además, estas variables se utilizan como la base de cualquier simulación y análisis de escenarios, proporcionando la oportunidad de comprender de manera más profunda las relaciones e interdependencias en los sistemas de gestión de residuos. La evaluación de un sistema de gestión de residuos utilizando el software Vensim proporciona una visión general completa y dinámica de su rendimiento. Las simulaciones realizadas muestran cómo los cambios en ciertas variables afectan el rendimiento general del sistema, permitiendo identificar estrategias efectivas de optimización basadas en datos. La implementación de las estrategias de optimización obtenidas del análisis dinámico se espera no sólo que incremente la eficiencia y reduce los costos, sino también que tenga un impacto positivo en el medio ambiente. La reducción de la cantidad de desechos enviados al vertedero y el incremento de la tasa de reciclaje son sostenibles para el medio Ambiente, y la optimización de los recursos y procesos es sostenible para la viabilidad económica del sistema de Administración municipal de residuos de Salcedo. Por lo tanto, para concluir, el proceso de análisis y optimización de Vensim demostró

que una de las preocupaciones clave que se necesita tomar en consideración es la necesidad de reforzar la capacidad institucional de gestión del municipio de Salcedo. La formación de los empleados con respecto a la implementación de Vensim y prácticas de gestión de residuos en general implica los costos de inicio, pero este conocimiento mejora la eficiencia operativa y la capacidad de los empleados para tratar los problemas de gestión de residuos.

Bibliografía

- Ávila, S. L., Nieto, M. S., Jiménez, D. C., & Osorio, J. C. (2011). Análisis del impacto generado en un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos por el aumento de los residuos asociados al crecimiento de la población a través de Dinámica de Sistemas. Colombia: Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario, Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas.
- Cavalier, J. M. (2019). Propuesta de diseño de contenedor ecológico inteligente, para mejorar la gestión de residuos sólidos urbanos en el distrito de Villa El Salvador. UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR. https://repositorio.un-tels.edu.pe/jspui/bitstream/123456789/354/3/Cavalier_Marcos_Trabajo_de_Suficiencia_2019.pdf
- GAD Salcedo. (2023). San Miguel de Salcedo. https://es.wikipedia.org/wiki/San_Miguel_de_Salcedo.
- Goicochea Cardoso, O. C. (2015). Evaluación ambiental del manejo de residuos sólidos domésticos en La Habana, Cuba. *Ingeniería Industrial*, 36(3), 263-274.
- Hernandez Sampieri & Mendoza Torres. (2018). datos numericos. Ecuador: https://imedea.uib-csic.es/master/cambioglobal/Modulo_II_cod101606/M%C3%B3dulo%203.%20La%20desertificaci%C3%B3n%20como%20sistema/Manejo%20del%20programa%20Vensim/Manual%20del%20programa%20Vensim.pdf.
- Hernández Sánchez, M. (2012). Estudio y propuesta de mejora del sistema de reciclado de residuos sólidos urbanos en la comarca de Utiel-Requena de Valencia. Universitat Politècnica de València. <https://core.ac.uk/download/pdf/14018381.pdf>
- Hoornweg, D., & Bhada, T. P. (2012). What a waste: a global review of solid waste management. En D. & T. Hoornweg, What a waste: a global review of solid waste management.
- Kaza, S. Y., Bhada, T. P., & Van Woerden, F. (2018). What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050. . En S. Y.-T. Kaza. World Bank Publications.
- MacArthur, E. (2013). Towards the circular economy. *Journal of Industrial Ecology*.
- Martínez, J. (2004). Análisis Dimensional: Apuntes de Mecánica de Fluidos. Escuela Politécnica Superior de Ingeniería de Gijón. Gijón, España.: Universidad de Oviedo.
- PGIRS. (2016). Documento técnico de soporte de un plan de Gestión. <https://www.habitatbogota.gov.co/sites/default/files/archivos-adjuntos/Documento%20t%C3%A9cnico%20PGIRS%20011116.pdf>.
- Porras, A. P. (2018). Residuos sólidos en el municipio de Chía vs crecimiento poblacional un indicador ambiental para ejecutar planes de acción enmarcados en la política pública. Universidad Militar Nueva Granada. <https://repository.umng.edu.co/server/api/core/bitstreams/8db79874-f0bb-4bc7-88fa-e39a2c727152/content>
- Rodríguez Andrade, J. y Ibarra Vega, D. (2019). Modelo para la evaluación dinámica de la gestión de residuos ordinarios de la ciudad de Bogotá y su influencia en el índice de calidad ambiental urbana. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 10(2), 143-162. <https://doi.org/10.22490/21456453.2411>
- Sáez, A., & Urdaneta, J. A. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe. *Omnia*, 20(3), 121-135.
- Sufian, M. A., & Bala, B. K. (2007). Modeling of urban solid waste management system: The case of Dhaka city. *Waste management*, 27(7), 858-868. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2006.04.011>.
- Van Eygen, E., Laner, D., & Fellner, J. (2018). Circular economy of plastic packaging: Current practice and perspectives in Austria. *Waste management*.

CITAR ESTE ARTICULO:

Agreda Oña, J. L., Moreno Ávila, A. S., Daza Guerra, O. R., & Martínez Yan-chapaxi, A. de las M. (2025). Optimización del sistema de gestión de residuos del GAD municipal de salcedo a través de un sistema dinámico a través de la vinculación con la sociedad. RECIMUNDO, 9(Especial), 282–297. [https://doi.org/10.26820/recimundo/9.\(esp\).mayo.2025.282-297](https://doi.org/10.26820/recimundo/9.(esp).mayo.2025.282-297)

