



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
**Facultad de Ciencias Químicas**  
**Carrera de Ingeniería Ambiental**

**“Análisis de estrategias para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos en el cantón Cuenca.”**

Tesis previa a la obtención del  
Título de Ingeniero Ambiental.

**Autores:**

Jhonny Mauricio Bustamante Montesdeoca  
C.I. 0350102877  
[mauriciotreyk@gmail.com](mailto:mauriciotreyk@gmail.com)

Christian Vinicio Pérez Rocano  
C.I. 0106826415  
[cristroyan7@gmail.com](mailto:cristroyan7@gmail.com)

**Director:**

Ing. Paúl Fernando Vanegas Peña  
C.I. 0102596186

**Asesora:**

Ing. Gabriela Carolina Sucozhañay Idrovo  
C.I. 0105386601

Cuenca - Ecuador  
22 de marzo de 2022



## Resumen

La creciente generación de residuos sólidos orgánicos (RSO) ha provocado que los gobiernos globales, regionales y locales adopten medidas de mitigación que promuevan la reducción de los impactos asociados a una inadecuada gestión. El cantón Cuenca, a través de la Empresa Municipal de Aseo de Cuenca (EMAC EP) ha implementado como medidas de aprovechamiento el compostaje y vermicompostaje; y como medida de recuperación de energía el uso del biogás producido en el relleno sanitario de Pichacay. Sin embargo, la gestión sigue representando un desafío debido a la escasez de datos y estudios de línea base. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es analizar estrategias de aprovechamiento de RSO a través de un inventario y un análisis de flujo de materiales del sistema de gestión del año 2019, donde se incluye todos los flujos que ingresan a la Planta de compostaje y al Relleno sanitario de Pichacay. Además, se realizó una revisión de literatura sobre tecnologías de aprovechamiento en sistemas de gestión. Los resultados mostraron que durante el año 2019 se generaron 115 467,76 toneladas de RSO proveniente de siete generadores, siendo los domicilios el de mayor generación con un 68%. Además, se identificó que la descomposición inicial es el proceso que requiere atención prioritaria en el sistema de gestión actual ya que pierde alrededor del 50% del material orgánico en forma de energía y masa. Finalmente, el análisis de estrategias identificó que el uso de biodigestores favorece en la recuperación de energía de la Planta de compostaje.

## Palabras clave

Análisis de flujo de materiales. Residuos sólidos orgánicos (RSO). Inventario de RSO. Análisis de estrategias. Compostaje.



## **Abstract**

The growing generation of Organic Solid Waste (OSW) has caused global, regional and local governments to adopt mitigation measures that promote the reduction of the impacts associated with inadequate management. The canton of Cuenca, through Municipal Sanitation Company of Cuenca (EMAC EP), has implemented composting and vermicomposting as measures for waste valorization; and the use of biogas produced in the Pichacay landfill as an energy recovery. However, the management continues to be a challenge due to the lack of data and baseline studies. Therefore, the objective of this study is to analyze OSW treatment strategies through an inventory and Material Flow Analyze of the management system for 2019, which includes all the flow identified in the composting Plant and Pichacay landfill. In addition, a literature review of processing technologies on management systems was carried out. The results showed that during 2019, 115 467,76 tons of OSW was generated from seven generators, being households the highest generation with 68%. In addition, it was identified that initial decomposition is the process that requires priority attention in the current management system because it loses about 50% of the organic material in the form of energy and mass. Finally, the analysis of strategies identified that the use of biodigesters favors the energy recovery of the composting Plant.

## **Keywords**

Material flow analysis. Organic solid waste (OSW). OSW inventory. Strategy analysis. Composting.



Abstract .....	2
1. Introducción .....	14
Objetivos .....	18
Objetivo general.....	18
Objetivos específicos .....	18
2. Marco teórico y Estado del Arte .....	19
2.1 Gestión integral de los residuos sólidos.....	19
2.1.1 Etapas de la gestión integrada de residuos sólidos orgánicos.....	19
2.2 Inventario de residuos .....	28
2.3 Análisis de flujo de materiales .....	29
2.4 Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos.....	32
3. Metodología .....	35
3.1 Elaboración del inventario de residuos sólidos orgánicos .....	35
3.1.1 Elaboración del diagrama de procesos.....	37
3.1.2 Definición del alcance del inventario .....	38
3.1.3 Identificación de generadores de residuos sólidos orgánicos .....	41
3.1.4 Recopilación de datos del sistema .....	45
3.1.5 Verificación de datos .....	54
3.1.6 Validez y representatividad de los datos obtenidos .....	55
3.2 Análisis de flujo de Materiales .....	57
3.2.1 Definición del problema .....	58
3.2.2 Definición del sistema.....	59
3.2.3 Determinación de flujos y procesos .....	61
3.2.4 Balance de materiales .....	65



3.2.5 Ilustración del análisis de flujo de materiales (escenario) 2019 .....65

3.2.6 Elaboración e ilustración del análisis de flujo de materiales alterno 2019 .....66

3.3 Análisis de estrategias para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos .....69

3.3.1 Identificación de puntos críticos ..... 70

3.3.2 Planteamiento y validación de recomendaciones .....72

3.3.3 Análisis de estrategias de aprovechamiento mediante criterios de evaluación....73

4. Resultados .....78

4.1 Inventario del sistema de gestión de residuos orgánicos en el cantón Cuenca .....78

4.2 Análisis de Flujo de Materiales.....82

4.2.1 Análisis de flujo de materiales escenario 2019.....82

4.2.2 Análisis de flujo de materiales alterno al escenario 2019.....87

4.3 Análisis de Estrategias .....89

4.3.1 Evaluación de estrategias de mejoramiento de los procesos críticos del sistema de gestión de los residuos sólidos orgánicos .....96

5. Discusión..... 101

6. Conclusiones ..... 106

7. Recomendaciones ..... 108

8. Referencias..... 109

9. Anexos ..... 120

**Índice de Figuras**

Figura 1: Jerarquía de gestión de residuos sólidos orgánicos. ....32

Figura 2. Mapa de parroquias del cantón Cuenca, incluidos los sitios de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos a cargo de la EMAC EP; planta de compostaje y planta de aprovechamiento de biogás.....40

Figura 3: Balance de masa. ....57

Figura 4: Esquema general para elaborar un Análisis de flujo de materiales.....58



Figura 5. Esquema metodológico del análisis de estrategias de aprovechamiento de residuos orgánicos..... 70

Figura 6. Semaforización de hotspots y aspectos críticos..... 72

Figura 7: Estrategias de Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos..... 77

Figura 8. Porcentaje de generación de residuos orgánicos por generador del año 2019. .... 80

Figura 9. Porcentaje de residuos sólidos orgánicos dispuestos en el relleno sanitario de Pichacay, planta de compostaje y comunidades de la parroquia Santa Ana..... 81

Figura 10. Porcentaje de residuos orgánicos que ingresan a la Planta de compostaje..... 82

Figura 11. Porcentaje de residuos orgánicos que ingresan al relleno sanitario de Pichacay. .. 82

Figura 12: Escenario 2019 del sistema de gestión de residuos sólidos orgánicos del cantón Cuenca - MFA..... 83

Figura 13. Flujo másico determinado por cada proceso.. ..... 84

Figura 14. Pérdidas de masa por cada proceso.. ..... 85

Figura 15. Stocks del sistema de gestión. .... 86

Figura 16. Plásticos extraídos (material inorgánico) de los procesos internos de la Planta de compostaje. .... 86

Figura 17. Escenario alternativo al año 2019 del cantón Cuenca - MFA..... 88

**Índice de Tablas**

Tabla 1: *Tipos de recolección de residuos sólidos orgánicos en el cantón Cuenca*..... 21

Tabla 2: *Principales ventajas y desventajas de la digestión anaeróbica.* ..... 25

Tabla 3: *Principales ventajas y desventajas del compostaje.* ..... 26

Tabla 4. *Metodología para elaborar un Inventario de residuos sólidos orgánicos.* ..... 36

Tabla 6. *Datos generales del área de estudio para el cantón Cuenca.* ..... 39

Tabla 7. *Exclusiones específicas del alcance del inventario de residuos sólidos orgánicos.* . 40

Tabla 8. *Listado de los principales grandes generadores.* ..... 44

Tabla 10. *Expertos que contribuyeron en la validación de datos.*..... 54

Tabla 11. *Matriz de Pedigree de nivel de calidad de datos.*..... 55

Tabla 12. *Procesos internos del sistema de gestión de los residuos orgánicos en el cantón.* . 60

Tabla 13: *Coefficientes de transferencia (escenario 2019).* ..... 61



Tabla 14: *Coefficientes de transferencia (escenario alterno 2019)*.....67

Tabla 15. *Criterios de evaluación para comparar estrategias de aprovechamiento de residuos orgánicos*.....75

Tabla 16. *Inventario de residuos sólidos orgánicos del cantón Cuenca para el año 2019*.....79

Tabla 17. *Matriz de puntos críticos (hotspots) de los procesos unitarios del sistema de gestión de residuos sólidos orgánicos del cantón Cuenca* .....92

Tabla 18: *Criterios de evaluación de las estrategias de mejoramiento de los procesos críticos del sistema de gestión de residuos orgánicos* .....98



**Cláusula de Propiedad Intelectual**

---

Jhonny Mauricio Bustamante Montesdeoca autor del trabajo de titulación “Análisis de estrategias para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos en el cantón Cuenca”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad del autor.

Cuenca, 22 de marzo del 2022

---

Jhonny Mauricio Bustamante Montesdeoca

C.I: 035010287-7





UNIVERSIDAD DE CUENCA

**Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio**

**Institucional**

---

Jhonny Mauricio Bustamante Montesdeoca en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Análisis de estrategias para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos en el cantón Cuenca”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Así mismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 22 de marzo del 2022

---

Jhonny Mauricio Bustamante Montesdeoca

C.I: 035010287-7



**Cláusula de Propiedad Intelectual**

---

Christian Vinicio Pérez Rocano autor del trabajo de titulación “Análisis de estrategias para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos en el cantón Cuenca”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad del autor.

Cuenca, 22 de marzo del 2022

---

Christian Vinicio Pérez Rocano

C.I: 0106826415



**Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio**

**Institucional**

---

Christian Vinicio Pérez Rocano en calidad de autor y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación “Análisis de estrategias para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos en el cantón Cuenca”, de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Así mismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 22 de marzo del 2022

Christian Vinicio Pérez Rocano

C.I: 0106826415



## *Agradecimientos*

UNIVERSIDAD DE CUENCA

*En primer lugar, agradecemos a todo el Equipo del Grupo de Investigación de Economía Circular Inclusiva, por ser grandes personas, por su experiencia, por el trabajo en equipo, por el compartir y el aprender. De manera especial agradecer a Paúl y Gaby, además agradecer a Loli, Ismael, Gustavo y Fanny, que fueron parte fundamental en la realización de este trabajo, destacamos su trabajo en equipo en virtud de generar oportunidades para mejorar la calidad de vida de la sociedad y el medio ambiente.*

*En segundo lugar, agradecemos a Ligia Carrión, por brindarnos espacio y tiempo en las visitas de campo y reuniones mantenidas, por la confianza en compartir sus datos e informes, y por los comentarios y sugerencias que mejoran nuestro trabajo.*

*Finalmente, agradecemos a todas las personas que directa o indirectamente estuvieron presentes y por hacer de esto, una gran etapa de aprendizaje.*



***Dedicatoria***

*Este trabajo está dedicado a mi papá y a mi mamá, José Eloy y María Rosario que, con todo su cariño, esfuerzo y dedicación, supieron guiarme por el camino apropiado, también agradezco a mis hermanos, Ramiro, José, Nelva y José Luis por su amor y su tiempo, a mis sobrinos Daniel, Atik y Tere que en conjunto me han enseñado el valor de la familia. Especialmente, quiero dedicar este trabajo a Diego Andrés, su presencia en mi vida, me ha dado fuerza en los momentos más difíciles, saber que está, que es y será mi vida me hace ser mejor persona. Lo que hoy se cuenta y se comparte mediante una palabra, un gesto o un pensamiento, mañana llegará a los oídos del mundo en forma de viento y así, como una enseñanza contando historias en el tiempo. ¡Chasna Kachun!*



*Dedicatoria*

*A mis padres, Zoila Margarita y José Daniel, mis hermanos Carlos, Silvia, Manuel, Martha, Wilson y Jhon y mis sobrinos Paulina, Violet y Matías, por haberme apoyado en mi carrera universitaria y ser el soporte en mi vida.*



## 1. Introducción

El acelerado crecimiento poblacional, la urbanización y el cambio en el hábito de consumo de bienes y servicios en la sociedad son algunos aspectos que influyen en la generación de residuos sólidos urbanos (RSU) (Bhuiyan, 2010; Kumar et al., 2022), los cuales deben ser gestionados de forma eficiente para evitar la pérdida de recursos y proteger el entorno ecológico (Cheela et al., 2021; Oliveira y Morais, 2021; Wang et al., 2021; Wei et al., 2021). Sin embargo, la gestión de RSU se ha convertido en un gran desafío para los gobiernos a nivel mundial debido a una serie de factores técnicos, legislativos, ambientales y los altos costos que representa para el presupuesto municipal (Abdel-Shafy y Mansour, 2018; Li et al., 2019; Yuan et al., 2019).

La gestión integral de RSU trata de dar soluciones al déficit del manejo responsable mediante la implementación de estrategias que contribuyan con la mitigación de impactos negativos al medio ambiente como educación ambiental, reutilización de materiales, reciclaje, recuperación de energía y correcta disposición de residuos (da Silva et al., 2019). En este contexto, los países desarrollados y en vías de desarrollo han adoptado medidas como procesos de evaluación y planificación para comprender la situación real y desarrollar estrategias para el manejo adecuado de RSU (dos Muchangos et al., 2017; Moya et al., 2017).

Los RSU presentan una composición que varía significativamente de un lugar a otro debido al estilo de vida, la situación económica y las normas de gestión de residuos (Abdel-Shafy y Mansour, 2018). Según Dhir et al. (2018) los RSU se componen principalmente de materia orgánica, papel y cartón, plásticos, vidrio, metales, textiles y otros componentes en menor cantidad que incluyen los residuos peligrosos, artículos eléctricos y electrónicos, cerámica, madera, residuos de construcción y demolición, caucho y lodos residuales.

Anualmente, en el mundo se generan 2010 millones de toneladas de RSU siendo los residuos sólidos orgánicos (RSO) los que se presentan en mayor medida con un 44% (Kaza et al., 2018). Sin embargo, la generación de RSO difiere significativamente entre países desarrollados (32%) y en vías de desarrollo (56%) (Hettiarachchi et al., 2018; Kaza et al., 2018). En el caso de los países de América Latina y el Caribe (ALC) que son considerados en vías de desarrollo, se generan 197,465 millones de toneladas anuales de RSU, de los cuales el porcentaje de RSO en promedio corresponde al 50% (UNEP, 2018).

Los RSO son residuos biodegradables de origen animal o vegetal, susceptibles de descomposición por microorganismos (CEC, 2017). Estos se componen de residuos agrícolas



(e.g., el bagazo de caña de azúcar, paja, cáscara de almendras, maíz, arroz), desecho de animales (e.g., rumen, huesos, sangre y estiércol), desechos alimentarios (e.g., suero de queso, residuos de cocina, residuos de alimento, residuos de panadería), desechos industriales (e.g., lodos residuales de depuradora y textiles) y la fracción orgánica municipal (e.g., residuos orgánicos domiciliarios, restos de podas y ramas de parques, ceniza, carbón, papel y cartón) (Dhanya et al., 2020).

Los RSO al no ser gestionados adecuadamente generan cargas ambientales como resultado de los gases de efecto invernadero, lixiviados y el aumento de vectores (Sanjuan-Delmás et al., 2021; UNEP, 2018), lo que provoca un daño significativo para la salud humana y ecosistemas como por ejemplo la pérdida de hábitat y biodiversidad (Aguilar et al., 2022). De tal manera, se debe promover la reducción y separación en la fuente, la recolección diferenciada de RSO e incentivar su aprovechamiento en productos de valor agregado que permitan recuperar materia y energía (Chavan et al., 2022; UNEP, 2018).

Existe una amplia variedad de tratamientos de RSO que según Silva et al, (2020) se pueden clasificar en bioquímicos y termoquímicos. Entre los métodos bioquímicos se incluyen el compostaje, el vermicompostaje, la digestión anaerobia y los vertederos, los cuales se basan en la descomposición del material orgánico para producir compost, humus, biogás y digestato (Mohee et al., 2015). Estos métodos han sido ampliamente usados para el tratamiento de RSO debido al bajo costo de inversión y el bajo mantenimiento (Abdel-Shafy y Mansour, 2018; Silva et al., 2020).

En cambio, los métodos termoquímicos incluyen la combustión (o incineración), la gasificación, la pirólisis (Yang et al., 2018) y la carbonización hidrotermal (HTC por sus siglas en inglés) (Mayer et al., 2021), los cuales utilizan el calor y las interacciones químicas para descomponer la biomasa en cadenas de hidrocarburos más pequeñas y energía (Chan et al., 2019). Estas tecnologías de recuperación de energía no siempre son factibles al tratar únicamente RSO, debido a que los RSO presentan un alto contenido de humedad (51,2%) (Yang et al., 2018) lo que significa una gran pérdida de energía al momento de evaporar el agua. Además, los elevados costos de implementación de las instalaciones y los problemas de contaminación ambiental causados por la liberación de sustancias tóxicas como las dioxinas y los furanos (Guo et al., 2021; Song et al., 2020) representan obstáculos y oportunidades a la comunidad investigadora e industrial por su uso potencial como métodos alternativos para el tratamiento de RSO (Kim et al., 2020; Salimbeni, 2019).





Dentro de este orden de ideas, los gobiernos y municipios requieren implementar tratamientos que se ajusten a su entorno local basados en estrategias de gestión integral de RSO (Soobhany, 2019). En este sentido, se ha demostrado que el análisis de flujo de materiales (MFA, por sus siglas en inglés) es una herramienta que proporciona una descripción completa y sistemática de un sistema definido para apoyar a los responsables en la toma de decisiones del manejo de residuos (Brunner y Rechberger, 2017). Según Urtnowski (2021), la elaboración de un MFA es un proceso iterativo que comienza con un modelo cualitativo y luego, a través de las estimaciones de flujos y procesos, permite generar un modelo cuantitativo. En la elaboración de un MFA se requiere una base de datos de flujos de entrada y/o salida del sistema en estudio (Allesch y Brunner, 2015), por lo que es necesario la disponibilidad de un inventario de datos de la gestión de RSO que presente información cuantificada de la generación y disposición de RSO, los cuales eventualmente se presentan a rasgos generales en la mayoría de municipios o en ocasiones no se encuentran disponibles (Keller et al., 2022).

En Ecuador, en el Código Orgánico del Ambiente Art. 27, numeral 7 se establece la responsabilidad por parte de los gobiernos autónomos descentralizados municipales (GAD's: 221 en el país) en *“generar normas y procedimientos para la gestión integral de residuos y desechos para prevenirlos, aprovecharlos o eliminarlos, según corresponda”* (CNC, 2019; MAATE, 2018b). Durante el 2019, el 20% de GAD's municipales disponen sus RSU en rellenos sanitarios y el 80% en botaderos, lo que refleja la existencia de una mala disposición final (MAATE, 2019a). Según la Alianza de Basura Cero, Ecuador genera aproximadamente 375 mil toneladas de RSU al año, de estos el 57% corresponde a RSO (Soliz, 2021).

En Cuenca, la gestión de RSU se encuentra a cargo de la Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca - EMAC EP, la cual ofrece servicios como mantenimiento de áreas verdes, limpieza y barrido, recolección de residuos, compostaje, relleno sanitario, gestión de desechos sólidos infecciosos, gestión de reciclaje y desde el año 2016 el aprovechamiento de biogás producido por la descomposición anaeróbica de los RSO dentro del relleno sanitario (EMAC, 2018). En 2019, la EMAC EP dispuso 162561,9 t de RSU en el relleno sanitario generando 160 m<sup>3</sup>/día de lixiviados y un caudal promedio de 400 m<sup>3</sup>-hora de biogás, del cual se aprovecha el metano (CH<sub>4</sub>) para producir 840 Kw-hora de energía eléctrica obteniendo actualmente 2 MW en la planta de aprovechamiento de biogás. Además, la EMAC EP dispuso 8327 t de RSO en la planta de compostaje (EMAC EP, 2019b). En el año 2003, se decretó la ordenanza que regula la gestión integral de los desechos y residuos sólidos en el cantón Cuenca (EMAC EP, 2012),



como se menciona en el *Art 2. Literal e*, “Fomentar todas las acciones encaminadas a la reducción, reutilización y reciclaje de desechos sólidos”. Sin embargo, tan solo el 4,87 (8327 t/año) de RSO fueron aprovechados mediante la producción de compostaje y humus durante el año 2019.

En este contexto, el presente estudio analiza el aprovechamiento de RSO en el cantón Cuenca a través de métodos de tratamiento que recuperan los RSO en forma de materia o energía. Para ello, se realiza como primer paso un inventario del sistema de gestión de RSO con datos del año 2019 debido a que corresponde a los últimos datos actualizados por parte de la EMAC EP al momento de levantar la información. El inventario se caracteriza por los datos cuantificados de la generación de RSO, los productos revalorizados y los residuos del sistema. Como segundo paso se realiza un MFA empleando los datos obtenidos en el inventario del sistema de gestión local para identificar la trayectoria que siguen los RSO desde la generación hasta la disposición final. Adicionalmente, se considera un escenario teórico con aprovechamiento de RSO generados en los domicilios del cantón Cuenca mediante el proceso de compostaje para disminuir la carga que es depositada en el relleno sanitario de Pichacay. Finalmente, se analizan estrategias o acciones encaminadas al mejoramiento de los procesos que intervienen en el aprovechamiento de RSO en el cantón Cuenca y se identifican tratamientos alternos de RSO que sean viables para el sistema de gestión local. El análisis de estrategias sirve de soporte para la toma de decisiones referente al aprovechamiento de RSO del cantón Cuenca. Este trabajo de titulación es parte del proyecto: Enhancing the social value of the circular economy in Latin America, desarrollado por el Departamento Interdisciplinario de Espacio y Población de la Universidad de Cuenca.

A continuación, se describen los objetivos del estudio.



## Objetivos

### Objetivo general

- Analizar estrategias de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos para el cantón Cuenca mediante variables identificadas a través de un análisis de flujo de materiales y revisión bibliográfica.

### Objetivos específicos

- Elaborar un inventario del sistema de gestión formal de residuos sólidos orgánicos en el cantón Cuenca.
- Realizar un análisis de flujo de materiales del sistema de gestión formal de residuos sólidos orgánicos considerando el escenario actual y uno alternativo.
- Identificar estrategias de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos que se ajusten a la realidad local del cantón Cuenca.



## 2. Marco teórico y Estado del Arte

### 2.1 Gestión integral de los residuos sólidos

La gestión integral de residuos sólidos (GIRS) es el conjunto de acciones y disposiciones que tiene como finalidad dar a los residuos sólidos el destino más adecuado desde el punto de vista técnico (e.g., diseño y características de los tratamientos), ambiental (e.g., aprovechamiento o disposición final de residuos) y socio-económico (e.g., costos por tratamientos, comercialización de residuos) (MAATE, 2018b).

Según el Banco Mundial (2018) el 86% de los gobiernos a nivel mundial cuentan con una ley nacional oficial o una directriz que rige la gestión integral de residuos sólidos. En el Ecuador, la GIRS se encuentra a cargo de los gobiernos autónomos descentralizados (GADs) tal como se establece en el Código Orgánico del Ambiente (COA) emitido por el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica como rector ambiental nacional (MAATE, 2018b). En este sentido, el GAD municipal del cantón Cuenca le confiere a la Empresa Municipal de Aseo de Cuenca -EMAC- la competencia sobre la gestión integral de residuos sólidos en el cantón (GAD Cuenca, 2014).

La EMAC está encargada de mantener una gestión adecuada de residuos sólidos en el cantón Cuenca, donde se fomenta alternativas de gestión de acuerdo al principio de jerarquización. Es decir, las acciones de gestión de residuos deben seguir un orden de prioridad, comenzando con acciones como prevención y disminución de residuos, seguido de las acciones de reciclaje, reutilización y recuperación de energía, y en último orden la disposición final (MAATE, 2017). La gestión de residuos basados en el principio de jerarquización permite integrar acciones adecuadas de manejo de residuos desde la fuente (generación) hasta la disposición final (Ravichandran y Venkatesan, 2021).

#### 2.1.1 Etapas de la gestión integrada de residuos sólidos orgánicos

Si bien la gestión integral de residuos de manera formal comienza con la recolección, es necesario impulsar estrategias o acciones que fomenten la prevención, minimización y la separación correcta de residuos producidos en la fuente (Ravichandran y Venkatesan, 2021). De tal manera, la gestión integrada de RSO articula diferentes procesos dependientes entre sí, empezando por la generación que es el proceso donde el material orgánico se convierte en residuo, seguido de la recolección y transporte, donde los RSO son recolectados y transportados



hacia su disposición tanto a plantas de aprovechamiento para su tratamiento como a rellenos sanitarios o vertederos para la disposición final. El tratamiento es el proceso donde se modifican las características de los RSO para reducir sus impactos y recuperar el contenido de nutrientes (e.g., planta de compostaje) o energía (e.g., planta de digestión anaerobia). Finalmente, la disposición final es el proceso de depositar permanentemente los RSO en celdas debido a que no pueden ser recuperados o reciclados (OEFA, 2016).

### **2.1.1.1 Generación de residuos sólidos orgánicos**

La generación de RSO es una consecuencia que se deriva del diario vivir por parte de las diferentes actividades antrópicas como el consumo y preparación de alimentos, poda de árboles, entre otros (OEFA, 2016; Tello et al., 2018). En el cantón Cuenca, los RSO son producidos por fuentes generadoras tales como viviendas unifamiliares, multifamiliares y grandes generadores (EMAC, 2015). Se considera como fuentes generadoras a los diferentes entidades naturales o jurídicas que generan los residuos como resultado de la actividad humana cotidiana, comercial, servicios de limpieza pública, servicios de salud, construcción o por cualquier otra actividad que requieren ser recolectados (MAE, 2003). En términos generales, las fuentes de generación de RSO se dividen en:

- a. Fuentes generadoras de viviendas unifamiliares que incluyen domicilios unifamiliares.
- b. Fuentes generadoras de viviendas multifamiliares que incluyen a edificios o condominios multifamiliares donde habitan 10 o más familias.
- c. Fuentes generadores denominados como Grandes generadores que incluyen industrias, mercados, centros comerciales y centros educativos.
- d. Fuentes generadoras a partir de residuos verdes como ramas y césped de parques.

### **2.1.1.2 Recolección y transporte**

La recolección es el proceso donde los residuos son recolectados para su posterior traslado mediante un medio adecuado en forma sanitaria, segura y ambientalmente apropiada desde el lugar destinado por los generadores para el almacenamiento hasta su disposición final o hasta su aprovechamiento (Sáez, 2014). Los sistemas de recolección de residuos sólidos, tienen como objetivo primordial preservar la salud pública mediante la recolección de los residuos en todos los centros de generación para ser transportados de la mejor manera posible, eficiente y con el mínimo costo (OEFA, 2016). Cabe señalar que la recolección es el componente más costoso



del sistema de gestión de los residuos sólidos, pero un sistema bien diseñado, planeado y operado adecuadamente da como resultado un ahorro significativo. Entre las clases de transporte usados para recolección encontramos (Tello et al., 2018):

- **Convencional:** A través del uso de compactadoras correctamente equipadas.
- **Semiconvencional:** A través del uso de volquetas o camiones recolectores.
- **No convencional:** A través del traslado de residuos mediante carretillas, triciclos, entre otros.

En el cantón Cuenca la recolección bordea el 92.6% de cobertura de recolección tanto para el sector urbano como para el rural (EMAC, 2019). La EMAC cuenta con un sistema de recolección diferenciada. Por un lado, para el caso de la recolección de domicilios la EMAC ha destinado que los días miércoles y jueves se recolecta material reciclable en la funda azul, mientras que el resto de días, la recolección se realiza a través de la funda negra. También, a través de convenios con grandes generadores como mercados, centros comerciales e instituciones públicas y privadas se recolectan RSO donde se incluyen los restos de podas de los parques para su posterior aprovechamiento. Sin embargo, la EMAC no cuenta con una recolección diferenciada para RSO generados en los domicilios, únicamente existe un plan piloto de separación y recolección de residuos orgánicos a través de la funda verde, el cual es ejecutado en la urbanización Lagunas del Sol (EMAC EP, 2010). En la Tabla 1, se presentan los tipos de recolección implementados en el cantón Cuenca.

Tabla 1: *Tipos de recolección de residuos sólidos orgánicos en el cantón Cuenca.*

<b>Tipo de recolección</b>	<b>Categorías</b>	<b>Tipo de Transporte</b>	<b>Características</b>
Diferenciada	Recolección Formal	Convencional (recolectores de carga posterior y frontal) Semiconvencional (camiones y volquetas)	La recolección diferenciada se realiza los días miércoles y jueves a través de la funda negra con los residuos sólidos no reciclables (incluye orgánicos) y la funda celeste con los residuos reciclables. Los RSO de convenios con la EMAC se recolectan de forma diferenciada.
No diferenciada	Recolección Formal	Semiconvencional	La recolección no diferenciada se realiza los días lunes, martes, viernes y sábados a través de la funda negra, recolectando no reciclables y orgánicos.

Fuente: Empresa Municipal de Aseo de Cuenca EMAC EP (2019).



### 2.1.1.3 Tratamiento

Los procesos o técnicas de tratamiento modifican las características físicas, químicas y biológicas de residuos sólidos orgánicos, con la finalidad de reducir o eliminar su peligro potencial (OEFA, 2016). Además, permiten recuperar el contenido de energía de los RSO a través del biogás, gas de síntesis, entre otros. Actualmente, existen diferentes tratamientos disponibles para convertir RSO en recursos útiles (Wainaina et al., 2020). Estos tratamientos de recuperación son eficientes en función de las condiciones de temperatura (ubicación geográfica del tratamiento), la cantidad y características de los RSO (Ghosh et al., 2018; Polprasert y Koottatep, 2017). Para facilitar el análisis, las tecnologías de recuperación de RSO pueden agruparse en dos subcategorías (Bajpai, 2020; Silva et al., 2020):

#### a) Tecnologías de procesos de conversión termoquímica

Los procesos de conversión termoquímica utilizan el calor y las interacciones químicas para descomponer la biomasa en cadenas de hidrocarburos más pequeñas y energía (Chan et al., 2019; Silva et al., 2020). Esta tecnología es versátil en la aplicación de la materia prima ya que la generación de energía puede ser producida tanto por el material biodegradable como el no biodegradable (Korai et al., 2016). Entre las tecnologías termoquímicas más comunes se incluyen la pirólisis, la combustión o incineración, la gasificación, la peletización y el combustible derivado de desechos.

#### *Pirólisis*

La pirólisis es un proceso termoquímico que ocurre a temperaturas de 300 a 500 °C en ausencia de oxígeno (Yang et al., 2018). Los parámetros operativos como la temperatura, tiempo de residencia y la velocidad de calentamiento, determinan tres tipos de pirólisis de desechos, entre los que figuran la pirólisis rápida, lenta y catalítica (Kim et al., 2020). Estos procesos generan diferentes productos como el aceite de pirólisis (fase líquida) que tiene un gran potencial como combustible de aplicación directa, el biogás (fracción volátil) que sirve para accionar motores conectados a generadores para producir electricidad y el bio-char (residuo sólido que es usado para facilitar la fijación de carbono en compostaje y mejorar la fertilidad de suelos, entre otros) (Chan et al., 2019; Kim et al., 2020; Saadi et al., 2019; Sipra et al., 2018). El proceso de pirólisis en el aprovechamiento de residuos sólidos registra tasas de recuperación de energía hasta del 80% (Sipra et al., 2018), en el cual se identifican un alto poder calorífico (~ 38 MJ/kg) y menor emisión de óxidos de nitrógeno y azufre. Así mismo, presenta desventajas como el incómodo



olor durante el funcionamiento, no es un proceso autosuficiente y consume demasiada energía en la eliminación de humedad de los residuos sólidos orgánicos, lo que representa un costo operativo adicional. Sin embargo, este método al ser acoplado con otras tecnologías de recuperación puede eliminar sus puntos negativos (Chan et al., 2019; Sipra et al., 2018; Yang et al., 2018).

### *Gasificación*

La gasificación es un proceso que descompone la biomasa en un gas combustible compuesto principalmente por monóxido de carbono e hidrógeno a través de una combustión incompleta por deficiencia de oxígeno (Ciuta, 2017). La gasificación se establece en dos etapas, comenzando inicialmente en una etapa a baja temperatura con aire u oxígeno a 400-500 °C (pirólisis), donde se produce un gas constituido de alquitranes (fracción volátil) y carbón pulverizado (componente sólido). En la segunda etapa, se eleva la temperatura del gasificador (núcleo del sistema) hasta 800-1000 °C para oxidar el gas aún más y reaccionar de forma endotérmica el carbón pulverizado en “gas de síntesis” (Forde et al., 2014; Lam et al., 2019; Speight, 2015). El gas de síntesis puede ser utilizado directamente como una fuente de energía para producir electricidad o calor (Ciuta, 2017).

La eficiencia del proceso de gasificación depende del tipo de gasificador y de las características de la materia prima que consume. De manera que es necesario implementar prácticas de preprocesamiento (clasificación, separación y reducción de tamaño) para excluir materiales térmicamente no degradables como metales, vidrio y escombros de hormigón (Speight, 2015). Entre la materia prima usada en el proceso de gasificación se encuentra el carbón, residuos de petróleo, biomasa y otros desechos carbonosos. Sin embargo, el uso de biomasa como materia prima es recomendable cuando el contenido de humedad es bajo (<30% en peso) ya que facilita la recuperación de energía con una eficiencia del 70-90% (Bucur y Bucur, 2020; Lam et al., 2019). Entre los distintos tipos de gasificadores se incluyen la oxidación parcial con oxígeno, aire enriquecido con oxígeno y la gasificación a vapor. El gasificador de oxidación parcial con oxígeno genera un gas de síntesis libre de nitrógeno. La gasificación con aire enriquecido de oxígeno (mezcla de nitrógeno y oxígeno al 21% v/v) produce un gas con un reducido contenido de nitrógeno, lo que permite tener un mayor valor de calentamiento mientras que a vapor requiere una fuente de energía externa y únicamente se utiliza al vapor como oxidante (Speight, 2015).



**b) Tecnologías de procesos de conversión bioquímica**

Los procesos de conversión bioquímica se basan en la descomposición de la materia orgánica bajo acción de bacterias, microbios y enzimas para producir combustibles gaseosos o líquidos, como el biogás o el bioetanol. Las tecnologías bioquímicas se aplican cuando la materia prima es relativamente húmeda (Lü et al., 2018). Las principales tecnologías de conversión bioquímica son la digestión anaerobia/biometanización, compostaje y la fermentación (Bajpai, 2020; Dhar et al., 2017; Silva et al., 2020).

*Digestión anaerobia*

La digestión anaerobia (DA) es la principal tecnología bioquímica que recupera energía y nutrientes de los RSO a través de la producción y captura de una mezcla gaseosa conocida como biogás, que consiste de metano en un 50-75% y dióxido de carbono en un 30-50%, y una suspensión acuosa o “lodo” conocida como digestato, compuesto de sustancias húmicas y nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo). Este proceso se lleva a cabo en ausencia de oxígeno mediante la acción de las comunidades microbianas (Bajpai, 2020; Dhanya et al., 2020; Wainaina et al., 2020; Zhang et al., 2019). La DA generalmente consta de cuatro pasos (Ometto et al., 2019), los cuales incluyen:

- **Hidrólisis:** En esta etapa conocida como licuefacción y solubilización, las bacterias fermentativas pertenecientes a la fila Bacteroidetes y Firmicutes producen enzimas extracelulares que descomponen los componentes orgánicos complejos (carbohidratos, proteínas y lípidos) en compuestos orgánicos solubles (azúcares, ácidos grasos y aminoácidos).
- **Acidogénesis:** Las bacterias fermentativas acidogénicas pertenecientes a la fila Bacteroidetes, Firmicutes, Chloroflexi y Proteobacterias convierten los azúcares y aminoácidos producidos en la etapa de hidrólisis en ácidos grasos volátiles (propiónico, butírico) y los precursores directos del metano, ácido acético e hidrógeno.
- **Acetogénesis:** Las bacterias hetero-acetogénicas pertenecientes al género Pelotomaculum, Smithella, y Syntrophobacter digieren los ácidos grasos volátiles en ácido acético, dióxido de carbono e hidrógeno.
- **Metanogénesis:** Finalmente, las bacterias metanogénicas acetoclásticas y las bacterias hidrogenotróficas convierten el acetato y sulfuro de hidrógeno en metano, respectivamente.



La eficiencia de los procesos de la DA está ligada a los parámetros operativos como el pH, la temperatura, la calidad de los desechos, el tiempo de retención hidráulica y la velocidad de la carga orgánica. Estos parámetros pueden considerarse óptimos entre los siguientes rangos (Dhanya et al., 2020): el pH entre 6 – 8, la concentración inicial del sustrato en relación C / N comprendida de 20:1 a 30:1, el tiempo de retención hidráulica de 15 a 30 días y la temperatura en un rango de 37 a 42 °C (Ometto et al., 2019).

Según Lin et al, (2018), la DA en términos ambientales es favorable ya que disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero debido a la producción de biogás como fuente de energía renovable, no requiere un área amplia para su implementación y puede tratar residuos con contenidos de humedad de hasta el 98% en peso (Lin et al., 2018; Mayer et al., 2021). Sin embargo, la DA se enfrenta a una posible inestabilidad del sistema, baja productividad del biogás, requiere inversión costosa, entre otros (Lin et al., 2018). En la tabla 2 se resumen las principales ventajas y desventajas de la DA:

Tabla 2: *Principales ventajas y desventajas de la digestión anaeróbica.*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Reducción de emisiones a la atmósfera	Lenta degradación
Área pequeña	Inestabilidad del sistema
Productor neto de energía	Inversión costosa
Se pueden tratar sustratos con un alto contenido de humedad (98% humedad)	Sensible a los inhibidores (e.g., metales pesados, desinfectantes, antibióticos)

Fuente : (Lin et al., 2018; Mayer et al., 2021)

### *Compostaje*

El compostaje abierto es un proceso bioquímico que descompone aeróbicamente los desechos orgánicos y produce un producto estable y libre de contaminación denominado compost que ayuda a mejorar la calidad del suelo (Cesaro et al., 2019; Ghosh et al., 2018; Soobhany, 2019), acompañado de una liberación de calor y dióxido de carbono durante todo el periodo de elaboración (Lin et al., 2018). El proceso generalmente pasa por las fases mesofílica (25 – 40°C), seguido de una fase termofílica (40 – 70°C), y finalmente de una fase de enfriamiento y maduración (10 – 40 °C). En la primera fase, las bacterias mesofílicas (e.g., *Lactobacillus*) combinan oxígeno para producir dióxido de carbono y energía. En la segunda fase, las bacterias



termofílicas (e.g., actinobacterias) degradan la materia orgánica y la temperatura del medio alcanza los 70 °C. En la fase de enfriamiento, las bacterias mesofílicas toman posesión y digieren nuevamente la materia orgánica. Finalmente, la temperatura disminuye con el tiempo hasta que el material orgánico sea estable (Ahmed et al., 2020; Lin et al., 2018).

La eficiencia del compostaje depende de parámetros meteorológicos que incluyen la temperatura, el contenido de humedad y la disponibilidad de aire de la zona donde se encuentra instalada la planta (Jain et al., 2020). Así mismo, está en función de los parámetros del proceso como la aireación, humedad, inoculación, temperatura y la relación carbono-nitrógeno (C/N). Estos parámetros pueden considerarse óptimos entre los siguientes rangos: la aireación intermitente sin alcanzar los límites excesivos o insuficientes, el contenido de humedad del 20% al 22%, la inoculación con hongos de compost ya que aumentan la degradación de materia orgánica del 18% al 80%, la temperatura con alcance de niveles termofílicos y la relación C/N en el rango 25-35 (Jain et al., 2020; Lin et al., 2018).

El proceso de compostaje presenta como desventajas latentes las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación del aire por los olores que desprende, requiere áreas grandes de terreno y su proceso es lento que requiere entre 2 y 4 meses (Lin et al., 2018). Entre sus ventajas se puede mencionar que favorece la degradación natural ya que es un proceso controlado, además requiere una inversión menor en comparación con otros tipos de tratamientos. En la Tabla 3 se presenta las principales ventajas y desventajas del compostaje:

Tabla 3: *Principales ventajas y desventajas del compostaje.*

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Degradación natural y controlada	Emisiones de gases de efecto invernadero
Inversión relativamente pequeña	Contaminación por olores
Compost como enmienda del suelo	Ocupación de áreas grandes de terreno
Se obtiene biofertilizantes en poco tiempo	Producción de lixiviados

Fuente: (Lin et al., 2018; Vaverková et al., 2020).

En resumen, se evidencian varias tecnologías de tratamiento de RSO, pero en el cantón Cuenca se realiza únicamente el proceso de compostaje para la recuperación de nutrientes de RSO. Durante el año 2019, se recolectó y aprovechó en la Planta de compostaje 8327 t de RSO



provenientes de mercados, áreas verdes y grandes generadores, sin embargo, se obtuvo una revalorización de 698,65 t en compost y 51,58 t en humus de lombrices (EMAC EP, 2019), por lo que se identifica que la eficiencia de la Planta de compostaje es del 9%. Esto refleja una deficiencia productiva en la Planta de Compostaje ya que existe una pérdida de masa y energía potencialmente aprovechable, además mediante visitas de campo se evidenció problemas técnicos por la falta de uso de maquinaria durante los procesos de trituración, separación de material inorgánico (plásticos) y tamizado de materiales, también se evidenció la escasez de datos sobre el control y monitoreo de parámetros como la temperatura, humedad, relación C/N, evaporación y degradación durante los procesos de revalorización del material.

#### **2.1.1.4 Disposición final de residuos sólidos orgánicos**

La disposición final es la última etapa de la gestión integral de residuos por parte de los sectores públicos y privados. En países en vías de desarrollo es común disponerlos en rellenos sanitarios, vertederos a cielo abierto, vertederos controlados o quemarlos. Sin embargo, en los últimos años en América Latina y el Caribe, la eliminación de RSO en vertederos a cielo abierto es muy utilizada, aunque muchos países están buscando métodos alternativos para eliminar los residuos como los rellenos sanitarios (World Bank, 2018).

#### **Relleno sanitario**

Según el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) un relleno sanitario es una técnica de disposición final de RSU en el suelo al ser tratados de forma adecuada. Esta técnica trata de confinar los residuos en un área de suelo lo más pequeña posible, cubriendo y compactando los residuos diariamente. Para describir un relleno sanitario se puede mencionar las siguientes características según la guía para el manejo de residuos sólidos (CEPAL, 2016):

- El almacenamiento de los residuos debe estar bajo control sanitario para evitar daños a la salud y al ambiente.
- Los límites del emplazamiento deben estar bien delimitados y cercados.
- Debe contar con un acceso controlado tanto para el personal como la flota vehicular.
- No produce malos olores debido al sistema controlado de gases y lixiviados que posee.
- Debe contar con un plan de manejo ambiental tanto para su funcionamiento, clausura y postclausura.



En Ecuador, se cuenta con 72 rellenos sanitarios, de los cuales 42 poseen licencia ambiental (CNC, 2019). Como referente a nivel nacional, en el cantón Cuenca, se determinó como una alternativa viable para la gestión de residuos la conformación del relleno sanitario de Pichacay (Barragán et al., 2016; EMAC, 2019b). En el año 2019, se registró el ingreso de 521 t/día de residuos en el relleno sanitario de Pichacay (EMAC, 2019b). Sin embargo, el registro no cuantifica el porcentaje o cantidad de RSO, solamente se asume el material de ingreso como RSU.

En este contexto, los procesos llevados a cabo por la EMAC en relación a la gestión integral de los RSO permiten obtener datos desde la recolección hasta su aprovechamiento y/o disposición final. Si bien, a nivel local se cuenta con datos cuantitativos sobre la cantidad de RSU recolectados y dispuestos en el relleno sanitario, la cantidad de RSO que ingresan en la planta de compostaje, la cantidad de RSO recuperados a través del trueque ambiental y la cantidad de productos revalorizados, éstos datos no presentan una sistematización y depuración a pesar de los estudios realizados y la información disponible por lo cual requieren ser analizados para determinar la cantidad exacta de RSO gestionados durante el año de estudio correspondiente al 2019. Según Mayer et al, (2020), la disponibilidad de datos se ve afectada por la caracterización de residuos, el alcance geográfico y la verificabilidad del estudio debido a la falta de datos recopilados en un inventario que contemple el ciclo de vida de los RSO.

## **2.2 Inventario de residuos**

El inventario es un asiento de bienes pertenecientes a una persona o comunidad que sigue un orden y precisión. Se efectúa recopilando datos sobre las entradas y salidas de un sistema, de manera que su utilidad se da en muchos campos de estudio para mantener datos claros asociados con un producto. En la gestión de residuos, los inventarios permiten cuantificar los flujos de cada generador de residuos, productos generados y trabajos en proceso, los cuales contribuyen como insumo para implementar estudios de impactos ambientales potenciales asociados a la gestión de RSO (Fernando et al., 2010).

El inventario es un elemento primordial en un sistema debido a que ayuda a conocer la realidad de un proceso de manera cuantificable (Nørup, Pihl, Damgaard, y Scheutz, 2019; Suárez y Schamber, 2015). Bruner y Rechberger (2003), mencionan que para realizar un MFA se requiere un inventario de los flujos de materiales que interactúan dentro del sistema de estudio, los cuales son obtenidos a partir de la recopilación de datos y sirven de insumo para el análisis



de flujos. Cada uno de los datos que integran el inventario lleva de manera intrínseca una incertidumbre que indica la calidad del dato (Leão, 2013). Según la ISO 3534, la incertidumbre es el término general que se utiliza para cubrir cualquier distribución de los datos causada por cualquier variación aleatoria o de sesgo lo que indica la confiabilidad de los datos.

La calidad de datos se puede analizar de manera cuantitativa a través del margen de error y de manera cualitativa a través de la matriz de pedigree. El uso de la matriz de pedigree permite evaluar la calidad de los datos de acuerdo a cinco características independientes, tales como: fiabilidad, integridad, correlación temporal, correlación geográfica, y correlación tecnológica, evaluando con una puntuación entre 1 y 5 (de mejor a peor) para cada característica (Leão, 2013).

### **2.3 Análisis de flujo de materiales**

El análisis de flujo de materiales o MFA, es una herramienta útil para describir y analizar la estructura de un sistema definido en tiempo y espacio, a través de la trayectoria del flujo de un material determinado desde la fuente hasta la disposición final (Allesch y Brunner, 2015). Se fundamenta en el principio de conservación de masa y energía donde conecta todas las entradas y salidas existentes del material en un balance de masa. Esta herramienta analítica facilita la comprensión de la estructura y el funcionamiento de los procesos metabólicos, y apoya el análisis del rendimiento de procesos en áreas de la ingeniería, ciencias de los materiales, ingeniería química y ambiental (Allesch y Brunner, 2017). En especial, brinda apoyo a la toma de decisiones en la evaluación del rendimiento de los sistemas de gestión de residuos y de recursos e impactos ambientales (Brunner y Rechberger, 2017).

El MFA se ha empleado en una gran variedad de estudios de gestión de residuos alrededor del mundo. Por el contrario, a nivel de América Latina y de manera especial en Ecuador no se cuenta con estudios de MFA relacionados con RSO de manera que resulta importante identificar este tipo de herramienta en su aplicación para la toma de decisiones a favor de la gestión de residuos. Si bien, no existen artículos científicos de la aplicación del MFA enfocados netamente en la gestión de RSO, existen artículos científicos enfocados en identificar procesos deficientes de una gestión integral de residuos. En este contexto, la revisión de literatura permitió identificar casos de estudio aplicados a nivel global, regional y nacional relacionados con RSU y sus diferentes tratamientos enfocados en el aprovechamiento de los RSO.



Tal es el caso de estudio de Makarichi (2018) realizado en la capital de Zimbabwe, en el cual se elaboró un MFA para evaluar la efectividad de gestión de RSU, examinando registros de datos de seis años y medio (2011-2017). En el estudio, se planteó cuatro escenarios teóricos con el uso de la herramienta MFA con el fin de incluir oportunidades de mejora en la optimización del reciclaje, compostaje de residuos orgánicos en la fuente y la instalación de una planta de digestión anaerobia de alta capacidad con recuperación de energía y materiales. Los resultados mostraron que las acciones del compostaje de RSO en la fuente y el establecimiento de un sistema de digestión anaerobia a mediana escala se presentan como estrategias de mejora del sistema de gestión, lo cual contribuye desde una perspectiva técnica a los tomadores de decisiones (Makarichi et al., 2018).

De manera similar, se realizó un estudio en Austria en el año 2016, a través de la aplicación del MFA que proporcionó una visión general del sistema, determinando la cantidad de 17 millones de toneladas anuales de residuos como entrada total, de los cuales 65% de los residuos se transfieren a procesos de recuperación de material o energía como reciclaje, tratamiento biológico, producción de combustibles derivados de residuos, entre otros; el 12% se deposita en vertederos, el 4% se exporta a otros países y el resto se libera al medio ambiente, principalmente como gas residual (Allesch y Brunner, 2017). Los resultados del MFA permitieron definir tres escenarios para comprender y evaluar mejor el sistema de gestión de residuos. El primer escenario tiene un enfoque en la reducción de costos, donde se excluye la recolección doméstica separada de metales, textiles y plásticos de tal manera que reduce gastos e induce un aumento en las tasas de incineración. El segundo escenario está centrado en el reciclaje mediante el incremento de la tasa de recolección de materiales reciclables para la recuperación de material y energía. El tercer escenario está centrado en la reducción de emisiones a largo plazo, es decir los residuos y desechos voluminosos reciclables de los hogares son incinerados para reducir la disipación de las sustancias peligrosas en forma de emisiones gaseosas y lixiviados en los vertederos. Finalmente, el análisis de escenarios revela un potencial de mejoramiento a través de una mayor recolección de residuos para la recuperación de materiales (Allesch y Brunner, 2017).

En otro estudio realizado en la ciudad de Maputo (Mozambique) en el año 2016, se presenta la aplicación del MFA a un sistema de gestión de RSU. El propósito del estudio fue identificar y cuantificar las principales corrientes de entrada y salida del sistema de gestión de RSU para los años 2007 y 2014, considerando los flujos no aprovechados y mal gestionados. Para el



desarrollo del MFA se utilizó información de registros nacionales e informes de la ciudad de Maputo y sus siete distritos municipales acerca de RSU que incluyen residuos domésticos y comerciales, residuos de mercados húmedos y ferias, industriales no peligrosos, escombros de construcción y demolición, residuos verdes, residuos de barrido y residuos domésticos voluminosos (dos Muchangos et al. 2017). Los resultados mostraron que la tasa de procesamiento de residuos para el compostaje está muy por debajo del potencial existente en ambos años (<1%). Por lo que, el estudio propone centrarse en la separación de desechos en la fuente, la eliminación progresiva de vertidos a cielo abierto, la implementación de estrategias prácticas de reducción de residuos y la recuperación de materiales como posibles medidas para conseguir un sistema de gestión de residuos integrado y sostenible (dos Muchangos, Tokai, y Hanashima, 2017).

Experiencias similares se han llevado a cabo en América Latina, tal es el caso en la ciudad de Tandil (Argentina) en el 2019, donde se combinó un MFA y la caracterización de RSU para obtener un balance de masa que permitiese diseñar, calcular y analizar los indicadores de recuperación y desempeño de las estrategias de recuperación formal e informal implementadas en la zona. El estudio partió con la elaboración de un MFA con información de datos de entradas y salidas de los diferentes procesos y de fuentes para identificar a los actores y los flujos más representativos que intervienen en el sistema de gestión. Los resultados mostraron que el sistema de gestión y las estrategias actuales responden mejor a la legislación local y a las prácticas de eliminación segura y recuperación de recursos asociadas al marco integrado de gestión sostenible de desechos. Sin embargo, para ambos casos se necesita investigación cualitativa para dar soporte a estrategias de gestión (Villalba, 2020).

Por el contrario, en la revisión bibliográfica no se encontraron estudios relacionados de MFA únicamente con RSO en el Ecuador. Sin embargo, esta herramienta se ha implementado en las Islas Galápagos en el año 2017, donde se integró un MFA para cuantificar la red de flujos que presenta la isla, dentro de los flujos analizados se consideró 4 categorías de residuos incluido entre ellos a los RSO con la finalidad de identificar la trayectoria que siguen los flujos dentro del sistema. En este estudio, la aplicación del MFA agregó los flujos en tres categorías principales: insumos, de consumo y balance, y materiales de producción. El primer grupo corresponde a los flujos de importaciones, el segundo grupo de consumo y balance corresponde a los materiales que permanecen en el sistema como parte de las existencias, y el tercer grupo





incluye los materiales que se han usado o producido dentro del sistema como emisiones, desechos y exportaciones (Cecchin, 2017).

Las experiencias a nivel global del MFA en sistemas de gestión de residuos sirven como una guía de aplicación en contextos diferentes tanto en condiciones geográficas, sociodemográficas, tratamientos, tipo y cantidad de residuos varían en cada estudio, la importancia de conocer el uso del MFA en contextos diferentes resulta importante para identificar los pasos y recomendaciones generales que se debe tomar en cuenta al momento de realizar un MFA que permita analizar estrategias de aprovechamiento de RSO ajustados a la realidad del cantón Cuenca.

## 2.4 Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos

En Ecuador, el Código Orgánico del Ambiente (COA) establece que la gestión de RSO debe cumplir un orden jerárquico de prioridad basadas en acciones que busquen disminuir la generación de residuos, seguidos de acciones encaminadas a una correcta clasificación, revalorización en productos, tratamiento adecuado de los residuos, y como última alternativa la disposición final (MAATE, 2020). A continuación, en la Figura 1 se observa la jerarquización de estrategias viables para la gestión adecuada de RSO.

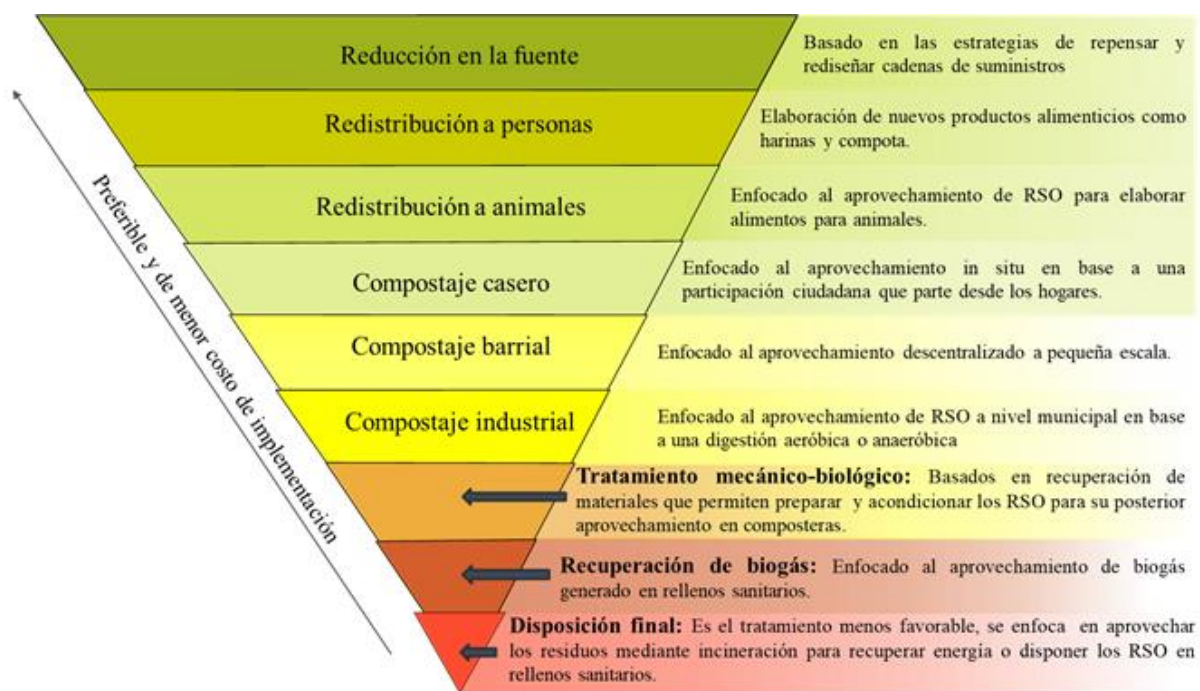


Figura 1: Jerarquía de gestión de residuos sólidos orgánicos.

Fuente: (Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica, 2020).



Las decisiones en torno a estas prácticas deben tener en cuenta el contexto local, la cantidad de generación, la composición, los usos potenciales en diferentes industrias y la participación activa de las partes interesadas en la gestión de RSO (Sampat et al., 2019; O'Connor, 2021). También, de manera técnica el manejo y aprovechamiento depende del peso volumétrico (densidad) y humedad de los residuos. En la región, la fracción orgánica mantiene un rango de generación de 50% - 70% y la densidad de los residuos puede variar entre 170 y 330 kg/m<sup>3</sup> dependiendo del nivel de compactación y la humedad del material (Graziani, 2018).

En varios países de la región de América Latina y el Caribe el uso de vertederos y/o botaderos a cielo abierto es común a pesar de considerarse como última alternativa viable de gestión. En este contexto, las plantas de conversión de residuos a energía pueden emplearse para satisfacer la creciente demanda de energía y reducir la dependencia de los recursos naturales finitos, reduciendo así la disposición final de RSO en rellenos sanitarios. Bajo estas perspectivas las tecnologías termoquímicas se han implementado como parte de sistemas integrados de gestión en varios municipios a nivel mundial (Mohammadi y Harjunkoski, 2020; Palacio et al., 2019).

Tal es el caso de la planta de tratamiento de residuos de Anxin situada en la ciudad de Baoding (India) que utiliza los procesos de gasificación y digestión anaerobia para recuperar energía a partir de la fracción orgánica presente en los RSU. Esta planta de tratamiento funciona de manera constante desde el año 2015 que trata 50 toneladas/día de residuos de cocina (fracción orgánica). La operación del sistema comienza con una etapa clasificación de los RSO para enviar a un extrusor que se acciona hidráulicamente a una presión de 100 MPa, el cual convierte el material orgánico en forma de lodo. En la segunda etapa, el lodo orgánico se añade conjuntamente con los residuos de comida en el reactor de fermentación seca, donde se genera biogás que se utiliza para la producción de gas natural sintético a través del sistema de la oscilación de la presión que elimina el CO<sub>2</sub> contenido en el gas. Finalmente, la planta de Anxin produce entre 6000 y 6200 m<sup>3</sup>/día de gas natural sintético (Chen, 2019).

La gestión de RSO es sostenible a medida que se priorizan las prácticas de aprovechamiento como las prácticas de redistribución de alimentos comestibles a las personas, reutilización de alimentos comestibles y no comestibles para animales, el reciclaje de nutrientes a través del compostaje y la recuperación del biogás de rellenos sanitarios. Estas acciones representan estrategias viables para una adecuada gestión según el orden de prioridad (Ng, Yang, y Yakovleva, 2019; O'Connor, 2021).



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Esto se evidencia en un estudio realizado en las ciudades de Gante (Bélgica), Hamburgo (Alemania) y Pécs (Hungría), donde a través de una evaluación integral de la gestión de RSO se determinó que las mejores soluciones se centran en la prevención de residuos a través de campañas de información, siendo una estrategia clave para reducir cargas ambientales que ingresan al sistema de gestión. Así mismo, la valorización de residuos mediante compostaje doméstico y el mejoramiento de la recolección diferenciada de material orgánico son medidas complementarias para una eficiente gestión de RSO (Sanjuan-Delmás et al., 2021).



### 3. Metodología

#### 3.1 Elaboración del inventario de residuos sólidos orgánicos

La elaboración del inventario de RSO del cantón Cuenca se basó en dos metodologías, la *Guía metodológica para la realización de inventarios de desechos peligrosos y otros desechos en el Marco del Convenio de Basilea* y la metodología del *Análisis del ciclo de vida*, que por motivos de este estudio se combinaron para identificar los pasos metodológicos para elaborar un inventario de RSO.

- La *Guía Metodológica para la realización de inventarios de desechos peligrosos y otros desechos en el Marco del Convenio de Basilea* tiene por objetivo presentar las etapas para la elaboración y mantenimiento de inventarios nacionales de desechos peligrosos y otro tipo de desechos. Esta guía ayuda a las autoridades y gestores ambientales a recopilar información cuantitativa de un sistema y con ello cumplir las obligaciones que se estipulan en el Convenio de Basilea para tratar residuos peligrosos y otros desechos (SCB, 2000).
- La Metodología del *Análisis del ciclo de vida (ACV)*, trata aspectos e impactos ambientales potenciales a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto, consta de 4 fases, tales como: *i.* Definición de objetivos y alcance; *ii.* Análisis de inventario de ciclo de vida; *iii.* Evaluación del impacto del ciclo de vida; y *iv.* Interpretación del ciclo de vida. Para el interés del presente estudio se considera la fase II: Análisis del inventario de ciclo de vida que tiene como alcance recopilar y cuantificar datos de entrada y salida en un sistema definido a través de su ciclo de vida (Hauschild, Olsen, y Rosenbaum, 2018; ISO 14040:2006). En la Tabla 4 se presenta el esquema general de la combinación entre las metodologías empleadas en este estudio.



Tabla 4. Metodología para elaborar un Inventario de residuos sólidos orgánicos.

Etapa	Concepto	Guía Metodológica del Marco del Convenio de Basilea	Metodología del Análisis del Inventario del Ciclo de Vida
<b>1. Elaboración del diagrama de procesos.</b>	Permite identificar el sistema mediante un diagrama de procesos de tal forma que se puedan identificar todos los procesos y subprocesos que intervienen durante un periodo establecido.	X	
<b>2. Definición del alcance del inventario.</b>	El inventario debe estar delimitado en tiempo y espacio tomando en cuenta lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"><li>• Área geográfica.</li><li>• Exclusiones específicas del inventario.</li></ul>	X	X
<b>3. Identificación de los generadores.</b>	Para definir el flujo se debe identificar los generadores de residuos para cada fuente generadora.	X	X
<b>4. Recopilación de datos específicos del sistema.</b>	Cada proceso lleva asociado un vector con toda la información de un residuo durante su ciclo de vida. Se obtiene información mediante entrevistas, visitas, recolección de información primaria.	X	X
<b>5. Verificación de datos.</b>	La verificación de información y análisis de datos se realiza mediante visitas directas para medición de todos los flujos identificados		X
<b>6. Validez y representatividad de los datos obtenidos.</b>	La calidad y la incertidumbre de los datos influyen en la interpretación de los resultados del estudio. Durante este paso se analizan los datos recopilados.	X	X

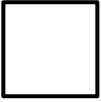
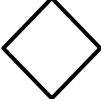
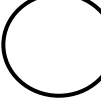


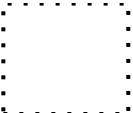
Fuente: Guía Metodológica para la realización de inventarios de desechos peligrosos y otros desechos en el Marco del Convenio de Basilea; Metodología del Análisis del Inventario del Ciclo de Vida (ISO 14044:2006).



### 3.1.1 Elaboración del diagrama de procesos

Se elaboró un diagrama de procesos del sistema de gestión de RSO que abarca los procesos desde la recolección como punto inicial hasta el aprovechamiento como punto final. La información del diagrama de procesos se estableció mediante una revisión de literatura del sistema de gestión de residuos empleando informes de la EMAC EP, tesis de pregrado enfocados al tratamiento de RSO y artículos científicos sobre aprovechamiento en plantas de compostaje y uso de biogás en rellenos sanitarios, para identificar los procesos y subprocesos. Además, se revisaron manuales y guías como: el *Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos municipales* (MAATE, 2020), la *Guía general para aprovechamiento de residuos domiciliarios* (CEPAL, 2016) y el *Manual de biogás* (Varnero, 2011), los cuales permitieron comparar los procesos unitarios. Por otro lado, se utilizó la simbología estándar ANSI para elaborar diagramas de flujos y/o procesos, cuyos símbolos se detallan en la tabla 5. Para la verificación del diagrama se procedió a realizar una visita de campo, guiada por técnicos de la EMAC facilitando así la identificación de procesos durante la fase de aprovechamiento en la planta de compostaje y la planta de aprovechamiento de biogás.

Tabla 5. *Símbolos de la norma ANSI.*

Símbolo	Nombre	Descripción
	Operación	Representa la ejecución de una o más acciones, considerando como proceso (conjunto de actividades que transforma la materia de ingreso en un producto) o actividad (tareas que se agrupan ordenadamente en un proceso).
	Decisión	Indica las opciones que se pueden seguir en caso de que sea necesario tomar caminos alternos hacia otros procesos.
	Conector	Mediante el símbolo se pueden unir dos o más procesos dentro de la misma hoja de trabajo, utilizando una especificación que determine su conexión.
 	Flujo	Indica la procedencia, dirección, conecta procesos, señalando la secuencia en la que se debe realizar una tarea.
	Límite del sistema	Delimita el sistema de estudio, abarca procesos, actividades, flujos, decisiones y conectores.

Fuente: (Ortega y Calderón, 2009).



### **3.1.2 Definición del alcance del inventario**

Se identificó mediante el diagrama de procesos que una parte de los RSO se envía a la Planta de compostaje para su aprovechamiento mediante procesos de compostaje y vermicompostaje, mientras que la otra parte de la fracción orgánica es enviada al relleno sanitario de Pichacay para su disposición final, donde se genera biogás debido a la degradación del material orgánico acumulado, el cual es aprovechado en la planta de aprovechamiento de biogás a cargo de la empresa BGP - EMAC EP. Por lo tanto, el alcance del inventario fue reconocer a los generadores y los flujos respectivos, es decir cuantificar, analizar y sistematizar la carga de cada generador, además a través del inventario se pudo identificar el área geográfica para delimitar el sistema en tiempo y espacio y las exclusiones específicas detalladas a continuación.

#### **3.1.2.1 Delimitación del sistema de gestión de residuos sólidos orgánicos del cantón**

##### **Cuenca**

El área geográfica se delimitó mediante los límites que abarca el sistema de gestión integral de RSO del cantón Cuenca en cuanto a recolección, tratamiento y disposición final. De acuerdo con EMAC EP (2019b) la recolección formal se realiza en el cantón con una cobertura del 92,6% tanto en el área urbana como rural, además del aporte de cantones externos que necesitan tratar sus desechos en el relleno sanitario de Pichacay. Los límites geográficos del cantón Cuenca delimitan una superficie de 3 086 km<sup>2</sup>, al norte con el cantón Azogues, al sur con el cantón Nabón y Santa Isabel, al este con el cantón Chordeleg y al oeste con el Parque Nacional Cajas, cuenta con 15 parroquias urbanas y 22 parroquias rurales, siendo Cuenca la cabecera cantonal.

Para analizar el sistema de aprovechamiento según el alcance de la gestión brindada por EMAC EP se consideró como límites del sistema de GIRS a los procesos que van desde la recolección formal hasta la generación de un producto revalorizado como el compost, humus y biogás, es decir, tomando en cuenta los límites del sistema de gestión del cantón Cuenca a cargo de la Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca o “EMAC-EP”. En la Tabla 6 se presentan aspectos importantes del área de estudio.



Tabla 6. Datos generales del área de estudio para el cantón Cuenca.

<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
<i>Generación Per Cápita de RSU</i>	0,519 kg/hab/día (*)
<i>Población</i>	636.996 habitantes proyección a 2020 del INEC
<i>Generación Per Cápita de RSU</i>	0,519 kg/hab/día (*)
<i>Precipitación Anual</i>	65,75 mm (**).
<i>Temperatura media anual</i>	14,74°C (**)
<i>Cobertura de Recolección</i>	92,6% entre urbano y rural (*)
<i>Tipo de gestión</i>	Gestión municipal

Fuente: \*INEC (2010); EMAC EP (2019); \*\*climate-data.org (2020).

Las instalaciones de los sistemas de aprovechamiento se encuentran ubicados al sureste del cantón Cuenca, a una altitud comprendida entre 2.600 y 2.800 msnm, registran temperaturas que fluctúan entre 13 y 20 °C (Guallpa, 2013; INAMHI, 2008) y un rango de pluviosidad de 660 a 1.100 mm anuales (Celleri, Willems, Buytaert, y Feyen, 2007; UDA, 2004). A continuación, en la Figura 2 se muestra la ubicación geográfica de las instalaciones de la GIRS dentro del cantón Cuenca:



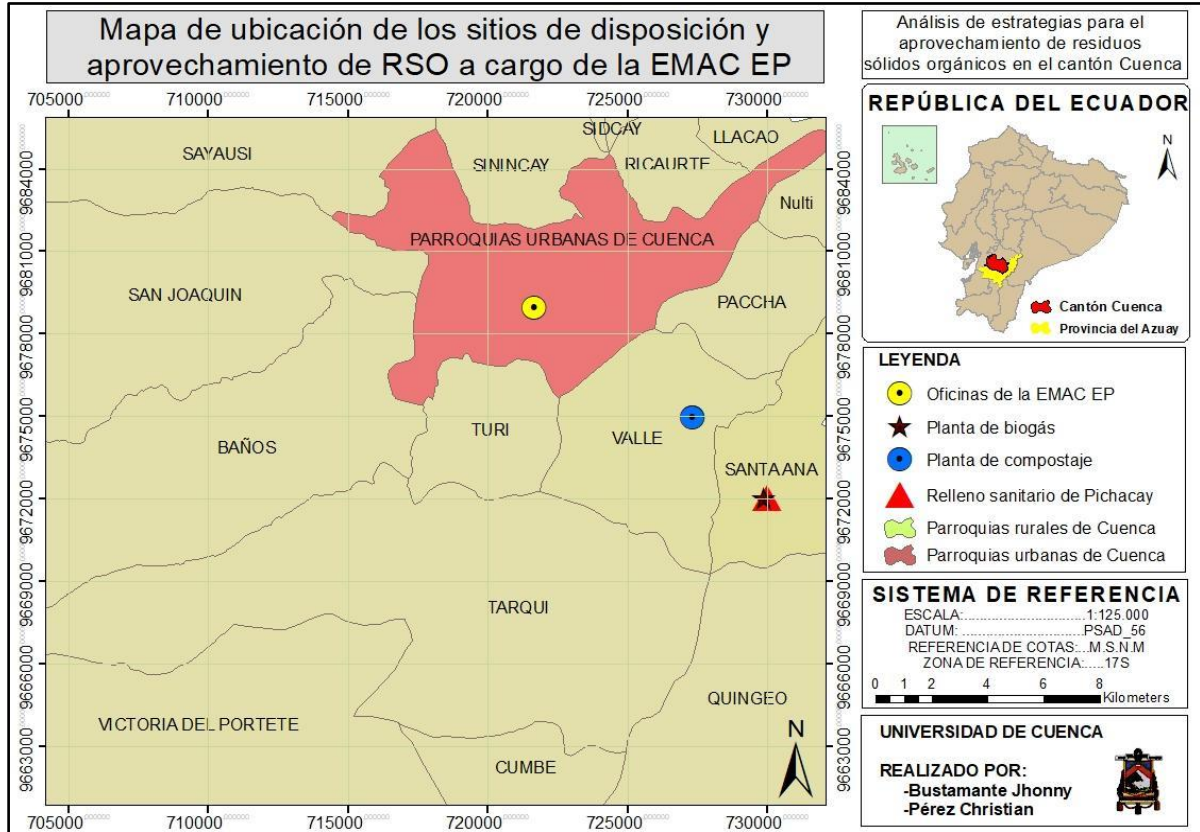


Figura 2. Mapa de parroquias del cantón Cuenca, incluidos los sitios de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos a cargo de la EMAC EP; planta de compostaje y planta de aprovechamiento de biogás.

Fuente: Autores

### 3.1.2.2 Exclusiones específicas del alcance

En el diagrama de procesos del sistema de gestión de RSO del cantón Cuenca, se analizó las características de cada proceso, donde se determinó que ciertas variables no producen cambios significativos en la carga orgánica. En consecuencia, se asimiló como exclusiones ya que al ser variables que no se interrelacionan sobre la generación, aprovechamiento o disposición no influyen en el análisis de datos de RSO. Las exclusiones establecidas para el estudio se detallan en la Tabla 7.

Tabla 7. Exclusiones específicas del alcance del inventario de residuos sólidos orgánicos.

N°	Variable excluida.	Razón para excluir la variable.
1	Tipo de camión recolector.	Los RSO son transportados en diferentes camiones o vehículos.
2	Peso del vehículo.	El peso del camión se desprecia para el análisis de RSO.



3	Hora de ingreso y salida del camión recolector.	La hora de ingreso y salida del camión no modifica las características de los RSO.
4	Sectorización preestablecida.	No se requiere identificar el sector de generación.
5	Personal de trabajo.	No se requiere analizar el trabajo de cada persona.
6	Compradores de productos revalorizados.	Los compradores de los productos revalorizados no fueron identificados, están fuera del sistema de aprovechamiento.
7	RSO utilizados en composteras comunitarias.	No se levantó información sobre el aprovechamiento en las comunidades.

Elaboración: Autores

### 3.1.3 Identificación de generadores de residuos sólidos orgánicos

La identificación de generadores se realizó a través del análisis del “Informe de operación de la báscula del relleno sanitario de Pichacay del año 2019” y el informe de “Reciclaje y recuperación de residuos sólidos 2019”. Por consiguiente, se identificaron generadores clasificados en tres categorías de acuerdo al sitio de destino de sus RSO, generadores que destinan sus residuos hacia la Planta de compostaje, Relleno sanitario de Pichacay y también se identificaron generadores que envían sus residuos hacia ambos destinos e incluido a las comunidades de la parroquia Santa Ana.

#### 3.1.3.1 Generadores que envían sus residuos a la Planta de compostaje

Estos generadores envían sus RSO de manera exclusiva a la Planta de compostaje, se caracterizan por un bajo contenido de residuos inorgánicos (plásticos) en su material y por mantener un convenio formal para el aprovechamiento de RSO con la EMAC EP. Entre estos tenemos:

- **Empresas:** Este generador representa a las empresas o fábricas que destinaron sus RSO hacia la planta de compostaje, motivo por el cual en este estudio se asume de manera separada del generador *Grandes generadores* que son empresas que envían sus RSO al relleno sanitario de Pichacay. Estas empresas que envían sus RSO a la Planta de compostaje mantienen un convenio formal de separar el material orgánico en la fuente a cambio de que la EMAC EP se ocupe del tratamiento. El material orgánico que proporcionan estas empresas son viruta, lechuguines, totoras, arena y residuos del faenamiento de pollos.



Entre las principales empresas identificadas en este generador tenemos:

- Gran Sol (San Joaquín)
  - Yacu Paint (1 de Mayo y Tirso de Molina)
  - MERKAFRUVER (10 de Agosto y Solano)
  - Taller de frituras (Américas y D. Alvas)
  - ETAPA (Lagunas de oxigenación de Ucubamba, vía rápida Cuenca-Azogues).
- **Particulares (Trueque ambiental):** Este generador representa a las personas o entes particulares que llevan sus RSO al Centro de Comercialización BIOEMAC - Punto limpio de la EMAC-EP ubicado en la Av. 24 de Mayo, con el propósito de intercambiar sus residuos por abono orgánico (compost y humus), obteniendo el 10% en peso de los residuos entregados. Estos residuos por lo general son restos de comida, frutas en mal estado y residuos de jardín.
  - **Áreas Verdes:** Esta fuente generadora representa los RSO generados de la limpieza y mantenimiento de parques y áreas verdes públicas del cantón Cuenca. Su generación es mayor en épocas de invierno que en las épocas de verano debido a la variación sobre la precipitación. Los tipos de materia orgánica que se generan son podas de pasto y ramas de árboles o arbustos.

### **3.1.3.2 Generadores que envían sus residuos a la Planta de compostaje, relleno sanitario de Pichacay y Comunidades de la parroquia Santa Ana**

Esta clasificación está centrada en el generador denominado **Mercados** que destina su material orgánico a la Planta de compostaje, Relleno sanitario de Pichacay y comunidades de la parroquia Santa Ana.

Los RSO de *Mercados* que se envían a la Planta de compostaje provienen de mercados y ferias del cantón Cuenca que mantienen un convenio con la EMAC EP para una recolección diferenciada de material orgánico y su posterior tratamiento. Adicionalmente, se considera como parte de este flujo los RSO provenientes de los restaurantes y el patio de comida del Centro Comercial Millenium Plaza, debido a que la recolección se realiza de manera conjunta con *Mercados* a través de un convenio con la EMAC EP para una recolección diferenciada del material orgánico y por ende este centro comercial se excluye de la fuente generadora “*Grandes generadores*”. Los mercados y ferias que registran su actividad con la EMAC EP dentro del cantón Cuenca son:



- Feria de Patamarca (Camal)
- Feria de Totoracocha (Saraurco)
- Feria de Miraflores
- Feria de las Orquídeas
- Feria de Ricaurte
- Mercado el Arenal
- Mercado Itinerante Narancay
- Mercado 27 de Febrero
- Mercado 10 de Agosto
- Mercado 12 de Abril
- Mercado 9 de Octubre
- Mercado 3 de Noviembre

Por otra parte, los mercados y ferias del cantón Cuenca que destinan los RSO al Relleno sanitario de Pichacay son aquellos que carecen de algún convenio con la EMAC EP, esto debido a que la recolección diferenciada de material orgánico es sumamente compleja y costosa e igualmente el sistema de tratamiento de la Planta de compostaje no soporta un aumento de carga orgánica debido a que se encuentra actualmente al límite de su capacidad máxima. Además, se asume como parte de este flujo los RSO de *Mercados* obtenidos por la mala separación en la fuente. En cambio, los RSO que se destinan a comunidades de la parroquia Santa Ana corresponden al material orgánico como fruto de mantener una buena relación con la comunidad e incentivar prácticas de compostaje comunitario, esta entrega del material se realiza dos veces por semana.

Los RSO de *Mercados* corresponden a restos de frutas, cáscaras de frutas, legumbres en mal estado y restos de comida. Estos residuos se generan a diario, a pesar de que el funcionamiento de las ferias de Patamarca, Miraflores, Ricaurte y feria del Camal sea un día por semana.

### **3.1.3.3 Generadores que envían sus residuos al Relleno sanitario de Pichacay**

Estos generadores no realizan una separación en la fuente entre material orgánico e inorgánico de manera que envían una mezcla de residuos (RSU) hacia el relleno sanitario de Pichacay. Entre estos generadores, tenemos:

- **Domicilios:** Los RSO que forman parte del total de residuos generados en este generador corresponde a la materia orgánica o fracción orgánica producida en los hogares ubicados dentro del cantón Cuenca, donde figuran los domicilios unifamiliares,



multifamiliares, multiusuarios y emergentes. Además, se incluyen los residuos del centro histórico, residuos de las parroquias de Tarqui, Chaucha, Cumbe y Molleturo y los residuos que llegan al Relleno sanitario de Pichacay por parte de particulares.

- **Grandes generadores:** Esta fuente generadora hace referencia a todas las industrias, instituciones y centros comerciales que mensualmente generan un mínimo de una tonelada de RSU y los disponen en contenedores de 3,2 m<sup>3</sup> para su respectiva recolección, considerando que contenga materia orgánica en su composición y que se encuentren ubicados dentro del cantón Cuenca. A continuación, en la Tabla 8 se menciona el listado de grandes generadores.

Tabla 8. *Listado de los principales grandes generadores.*

<b>Centros Educativos</b>	<b>Supermercados</b>	<b>Industrias</b>	<b>Varios</b>
Unidad educativa La Salle	Supermaxi El Vergel	Hilan Sur	EMIET
Universidad de Cuenca	Supermaxi Don Bosco	Cartopel	EMUCE
Facultad de agronomía (U Cuenca)	Racar Plaza	Curtiembre Renaciente	IESS
Facultad de Medicina (U Cuenca)	Bodegas Coral Centro	Fabrica Madefor	Cuartel Cayambe
Facultad de Arquitectura (U Cuenca)	Mall del Río	Decomuebles	ARUC
Colegio Herlinda Toral	Supermaxi Miraflores	Vitefama	Tercera zona militar
Colegio Garaicoa	Monay Shopping	Lamitex	Consejo de la judicatura
Colegio Militar	Gran AKI	Telartec	Cuartel Dávalos
Universidad Politécnica Salesiana	El Patio	Embutidos Italiana	ARVC
Colegio Sudamericano	Supermaxi Las Américas	Avícola Cedillo	ISOMENT
Universidad del Azuay	Mega tienda Santa Cecilia	MALIMA	EMURPLAG



---

Colegio Borja	-	Madeclas	Editorial Don Bosco
Colegio Bilingüe	-	Embutidos Piggis	Cuenca Tennis Golf Club

---

Elaboración: Autores.

- **ETAPA - Grandes generadores:** Los lodos residuales son generados por la Planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba y la Planta de tratamiento de agua potable de ETAPA, principalmente. Estos forman parte de los *grandes generadores*, pero se excluyen como otro generador debido a que los lodos residuales son almacenados en un área distinta de la disposición final de RSU en el relleno sanitario de Pichacay.
- **Otros cantones:** Esta fuente generadora representa los RSO provenientes de cantones aledaños al cantón Cuenca y que cuentan con un convenio con la EMAC EP para su disposición final. Los cantones que tienen este convenio son:
  - Chordeleg,
  - Deleg,
  - El Pan,
  - Guachapala,
  - Gualaceo,
  - Saraguro,
  - Sevilla de oro y
  - Sígsig.

### 3.1.4 Recopilación de datos del sistema

La recopilación de datos corresponde a la parte fundamental en la elaboración del inventario de RSO ya que una vez que se identificó a los generadores se obtuvo información específica para cada flujo. Para su desarrollo se obtuvo información general de fuentes primarias como informes oficiales sobre la generación de RSO que contiene datos cuantificados y detallados de forma diaria, semanal, mensual y anual. También, se obtuvo información de fuentes secundarias a través de entrevistas, reuniones con técnicos especializados y una extensa revisión de artículos científicos, guías de manejo de RSO, manuales de compostaje que ayudaron a comparar la información obtenida en las reuniones.

Para la recopilación de datos, se dividió el sistema en *Entradas* (ingreso de material al sistema) y *Salidas* (salidas de material del sistema). La determinación de flujos y procesos se realizó paralelamente con la elaboración del inventario de RSO. Sin embargo, durante esta etapa la información fue sistematizada bajo las necesidades de un MFA. A continuación, se describe el



procedimiento ejecutado para la recopilación de datos de cada flujo y proceso que se incluye en el sistema:

### **3.1.4.1 Entradas de material orgánico al sistema**

Los flujos que suministran material orgánico al sistema de gestión pertenecen a los siguientes generadores: *Áreas verdes, Mercados, Particulares (trueque ambiental), Domicilios, Empresas, Grandes generadores, ETAPA - Grandes generadores y Otros cantones.*

#### **Áreas verdes**

El generador denominado “*Áreas Verdes*” se analizó mediante el informe anual 2019 del “Reciclaje y recuperación de residuos sólidos” de formato .xlsx, generado en la Planta de compostaje Ecoparque El Valle a partir del pesaje diario en la báscula del material proveniente de podas de los diferentes parques lineales y diferentes áreas verdes de espacios públicos de la ciudad de Cuenca.

Para la depuración de datos, se agruparon los registros diarios del documento de excel en pesajes mensuales, considerando por separado las cargas de pasto y ramas (incluye arbustos) para su determinación anual.

#### **Mercados**

El generador denominado “*Mercados*” se analizó mediante dos informes. Por un lado, el “Informe de operación de la báscula del relleno sanitario de Pichacay del año 2019” generado a partir del pesaje diario en la báscula proveniente de mercados y ferias del cantón Cuenca que no mantienen un convenio con la EMAC EP para la recolección diferenciada de sus residuos orgánicos. Por otro lado, el informe anual 2019 del “Reciclaje y recuperación de residuos sólidos” de formato .xlsx, generado en la Planta de compostaje del Ecoparque El Valle, el cual se genera a partir del pesaje diario del material proveniente de mercados y ferias descritos en la sección 3.1.3.2 y el material proveniente del centro comercial Millenium Plaza. Estos generadores mantienen un convenio con la EMAC EP para la recolección diferenciada de sus residuos orgánicos.

Para la depuración de datos del informe de operación de la báscula del Relleno sanitario de Pichacay se aplicó el filtro de texto “*Mercados*” en el documento de excel, columna “*sector*”, donde se agruparon los pesajes diarios de RSU en pesajes mensuales. Posteriormente, se determinó la cantidad de material orgánico correspondiente a través de una regla de tres con el



porcentaje de materia orgánica contenida en los RSU de un mercado que representa el 86% según Abel y Rodríguez (2011).

En cambio, para la depuración de datos del informe de operación de la báscula de la Planta de compostaje del Ecoparque El Valle se agruparon las cargas diarias del material orgánico proveniente de *Mercados* y el Centro comercial *Millenium Plaza* en cargas mensuales, considerando que los días sábado, domingo y lunes del año 2019 se entregó material orgánico a las comunidades de la parroquia Santa Ana para elaboración de compost comunitario.

### **Particulares (Trueque ambiental)**

El generador denominado “*Particulares (Trueque ambiental)*” se analizó mediante el registro de datos “Trueque ambiental BIOEMAC 2019” de formato .xlsx, generado a partir del pesaje diario del material orgánico que recibió la BIOEMAC - Punto limpio, como parte del intercambio por abono y humus producidos en la Planta de compostaje del Ecoparque El Valle. Para la depuración de datos, se agruparon mensualmente los pesajes diarios del material orgánico mediante un filtro de fecha que ordena los pesajes desde enero 2019 hasta diciembre 2019 para posteriormente determinar su carga anual.

### **Domicilios**

El generador denominado “*Domicilios*” se analizó mediante el registro de datos diario del “Informe de operación de la báscula del relleno sanitario de Pichacay del año 2019” de formato .xlsx, generado a partir del pesaje diario del material recolectado a pie de vereda de la ciudad de Cuenca. Por lo general, este material recolectado es una mezcla entre residuos orgánicos e inorgánicos que para su recolección se dispone en fundas de color negro.

Para la depuración de datos, se aplicaron dos filtros de texto en el documento de excel: el primer filtro se aplicó en la columna *Carga* con el texto “*Domicilios*” y el segundo con los textos “*EMAC*” y “*Particular*” en la columna *Descripción*. Posteriormente, se agruparon estos datos del pesaje diario de RSU en pesajes mensuales. Finalmente, se determinó la cantidad de material orgánico de los datos ordenados mediante una regla de tres que considera el porcentaje de RSO para el flujo de domicilios, correspondiente a 68,42%. Este porcentaje se determinó mediante una diferencia entre la cantidad total de RSU que recibe el Relleno sanitario de Pichacay y la cantidad de materia orgánica que se dispone en el Relleno sanitario de Pichacay, el cual según un estudio realizado por la Universidad Católica de Cuenca en el año 2015 el





porcentaje de materia orgánica recibido es el 64.39% (Melendres Palma, 2021; Muñoz y Solano, 2018).

## **Empresas**

El generador denominado “*Empresas*” se analizó mediante el registro de datos del informe anual 2019 del “Reciclaje y recuperación de residuos sólidos” de formato .xlsx, generado en la Planta de compostaje Ecoparque El Valle a partir del pesaje diario en la báscula del material proveniente de empresas, fábricas o particulares que se describen en la sección 3.1.3.1 Para la depuración de datos, se agruparon mensualmente los registros de las cargas diarias de viruta, arena, residuos de pollos y varios (lechuguines, totoras, entre otros) que se encuentran en el documento de excel mencionado anteriormente.

## **Grandes Generadores**

El generador denominado “*Grandes Generadores*” se analizó mediante el registro diario de la base de datos del “Informe de operación de la báscula del relleno sanitario de Pichacay del año 2019” de formato .xlsx, generado a partir del pesaje diario en la báscula del material proveniente de centros educativos, industrias, centros comerciales, entre otros que se describen en la tabla 9, sección 3.1.3.3

Para la depuración de datos, se aplicaron dos filtros de texto en la hoja “*Datos unificados*” del documento de excel: el primer filtro se aplicó en la columna *Carga* con el texto “*Industrias*” y el segundo en la columna *Descripción* con los textos “*Hojarasca*”, “*Restos de animal*”, “*Tela*”, “*Carnaza*”, “*Aserrín*”, “*Huesos*”, “*Pasta de papel*”, “*Madera*”, “*Visceras*” y otros nombres similares de características orgánicas. Estos datos de carga orgánica se agruparon de pesajes diarios en pesajes mensuales para su determinación anual.

## **ETAPA - Grandes generadores**

Este generador se analizó mediante el registro diario de la base de datos del “Informe de operación de la báscula del relleno sanitario de Pichacay del año 2019” de formato .xlsx, generado a partir del pesaje diario en la báscula de los lodos residuales provenientes de la Planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba y la Planta de potabilización de agua que se encuentran a cargo de ETAPA. Para la depuración de este dato, se aplicó un filtro de texto “*lodos*” en la columna “*carga*” del documento de excel, consiguiendo agrupar los pesajes diarios en pesajes mensuales para su determinación anual.



## Otros cantones

El generador denominado “Otros cantones” se analizó mediante el registro diario de la base de datos del “Informe de operación de la báscula del relleno sanitario de Pichacay del año 2019” de formato .xlsx, generado a partir del pesaje diario en la báscula del material proveniente de 8 cantones pertenecientes a la provincia del Azuay, los cuales se describen en la sección 3.1.3.

Para obtener el dato depurado, se aplicó en la columna “sector” un filtro de texto para cada cantón con su respectivo nombre. Posteriormente, para determinar su fracción orgánica se utilizó el porcentaje de RSO en la carga de residuos de otros cantones, los cuales se obtuvieron por llamadas telefónicas (responsable: Ing. Gustavo Pacheco) hacia los técnicos competentes de cada cantón durante el año 2020. A continuación, en la Tabla 9 se muestra el porcentaje de RSO de la carga de cantones aledaños que disponen sus residuos en el Relleno sanitario de Pichacay.

Tabla 9: *Porcentaje de residuos orgánicos de la carga de "Cantones"*

<b>Característica</b>	<b>Porcentaje de RSO (%)</b>
Chordeleg	48,82
Déleg	1,10
El Pan	42,50
Guachapala	42,50
Gualaceo	72,26
Saraguro	56,59
Sevilla de oro	42,50
Sigsig	48,82

Responsable: Ing. Gustavo Pacheco.

Elaboración: Autores.



### 3.1.4.2 Salidas de material orgánico del sistema

Los flujos de salida corresponden a los productos que genera el sistema de gestión de RSO, entre los que se encuentran: *compost*, *humus* y *biogás*. También, se identificó como output a los *lixiviados* generados por el relleno sanitario de Pichacay.

#### **Compost y Humus**

Los flujos de salida denominados “*Compost*” y “*Humus*” se analizaron mediante el registro de datos del “Informe de producción de humus y compost en la planta de compostaje en el año 2019” de formato .xlsx, generado a partir del pesaje tanto de compost como de humus producidos en la Planta de compostaje Ecoparque El Valle.

Para la depuración de datos, se agruparon las cargas mensuales del material orgánico que se convierte en compost y humus de manera separada para su determinación anual.

#### **Lixiviados**

El análisis de datos de la salida del sistema como lixiviados se realizó mediante el registro denominado “Resumen de lixiviados 2007-2020” de formato .xlsx, generado a partir del pesaje diario en la báscula del relleno sanitario de Pichacay de los tanqueros que transportan lixiviados hacia la Planta de tratamiento de lixiviados.

Para la depuración de este dato, se utilizó únicamente la información del año 2019, considerando por un lado que las tablas de excel corresponden a la cantidad de lixiviados que salen del sistema y no refleja el volumen total de las piscinas de lixiviados, además se utilizó la densidad teórica de 1020,1 Kg/m<sup>3</sup> (Mayor Torrez et al., 2018) para obtener el peso en toneladas de lixiviados que se generaron durante el año 2019.

Por otro lado, cabe mencionar que se identificó que parte de la generación de esta cantidad de lixiviados corresponde al ingreso de precipitación en el relleno sanitario mediante infiltración, este dato sobre la precipitación se incorporó al MFA del escenario 2019 para calcular la generación de lixiviados. Por tal motivo, se determinó la cantidad de precipitación que se transforma en lixiviados a partir de la multiplicación entre la precipitación anual (836,68 mm/año m<sup>2</sup>) y el área útil del relleno sanitario (53 033,015 m<sup>2</sup>) de acuerdo a Conto y Tipán (2018). La carga de precipitación formada en lixiviados mediante infiltración resultó 44 371,66 t/año.



Para el análisis de datos del flujo de salida del “Biogás” se realizó una entrevista al Ing. Santiago Vázquez, trabajador y encargado de la planta de aprovechamiento de biogás por parte de la asociación EMAC-BGP ENERGY CEM, quien compartió un registro de datos correspondiente a la extracción mensual de biogás del Relleno Sanitario de Pichacay. Este registro de información para el año 2019 carece de datos depurados de manera mensual para los meses de febrero, marzo y abril. Por tal motivo, se procedió a determinar la cantidad de biogás extraído del año 2019 con base a la cantidad de energía eléctrica producida por la planta de aprovechamiento de biogás que según el “Informe de rendición de cuentas 2019 de la EMAC EP” corresponde a 3 768,77 MWh (EMAC EP, 2019).

La cantidad de energía eléctrica producida se convirtió en unidades de masa de biogás a través de la relación entre la cantidad de energía producida y el producto del Poder calorífico inferior del biogás (35,5 MJ/m<sup>3</sup>) con la eficiencia eléctrica del motor de combustión interna SFGM Guascor 560 (38.6%) (Guascor, 2012) para convertir energía térmica a eléctrica (Blanco, Santalla, Córdoba, y Levy, 2017; EBE, s. f.; Ruiz y Miguel, 2019). Para este cálculo, se consideró la conversión de unidades correspondientes de 1 MJ equivalente a 0,28 kWh y la densidad teórica de biogás de 1,15 Kg/m<sup>3</sup> (Department for Business & Energy, 2020).

### **3.1.4.3 Procesos del sistema de gestión de residuos sólidos orgánicos en el cantón Cuenca**

Para determinar los procesos que intervienen en el tratamiento/aprovechamiento y disposición de RSO se analizó la trayectoria que sigue el flujo de RSO desde su generación hasta la obtención de productos revalorizados con base en la metodología de la sección 3.1.1. A continuación, se describen los procesos prioritarios identificados:

#### **Recolección de residuos sólidos orgánicos**

La recolección de RSO del cantón Cuenca se encuentra a cargo de la EMAC EP y se lo realiza a través de recolectores, camiones medianos y camiones pequeños de la EMAC EP, GADs cantonales y el sector privado. El material recolectado se transporta hacia la Planta de compostaje Ecoparque El Valle y el relleno sanitario de Pichacay.



## **Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos**

Los RSO del cantón Cuenca son dispuestos en la Planta de Compostaje “Ecoparque El Valle” y en el relleno sanitario de Pichacay. En el primer caso, los RSO se aprovechan como compost y humus, mientras que en el segundo caso los RSO al descomponerse generan biogás que se aprovecha en la generación de energía eléctrica por la planta de aprovechamiento de biogás EMAC-BGP-ENERGY. A continuación, se detallan los procesos que intervienen en el aprovechamiento de RSO para cada caso.

### *Planta de compostaje “Ecoparque El Valle”*

Se identificó que los RSO que llegan a la Planta de Compostaje siguen los siguientes procesos:

#### **Recepción de orgánicos**

Este proceso corresponde a las actividades de pesaje y descarga de los RSO. El primero se realiza a través de la báscula situada al ingreso de la Planta, el cual permite llevar un registro diario del material que ingresa. Posteriormente, el material orgánico se descarga en distintos sitios dependiendo del tipo de generador. Para los residuos de *Empresas*, trueque ambiental (*Particulares*), *Mercados*, *ferias* y *Millenium Plaza* los residuos se reciben directamente en la nave de *Descomposición*, donde comienza el proceso de aprovechamiento. En el caso de los RSO provenientes de *Áreas verdes*, el material orgánico grande como ramas pasa a un proceso de *Trituración* para conseguir un material orgánico de menor tamaño, el cual posteriormente es mezclado con pasto (*estocado*) para almacenarlo, especialmente en épocas de mayor acopio y así trasladar controladamente a la nave de descomposición.

#### **Descomposición**

Durante el proceso de *descomposición*, los RSO se acumulan en forma de pilas en una relación C/N comprendida entre 25/1 y 35/1 y la humedad inicial no debe superar un 70%. En este proceso se monitorea principalmente la temperatura de la pila, la cual alcanza los 65 °C para conseguir la eliminación de patógenos y parásitos. En cuanto al pH, el material por lo general se encuentra inicialmente entre 4 y 5 y alcanza un rango de 7 a 9 cuando está maduro. También, la pila de compostaje se remueve (proceso *aireación* y *volteo*) diariamente con el fin de homogeneizar la mezcla y mejorar la ventilación o aireación.



El material orgánico de la pila de compostaje permanece en el proceso de *descomposición* un tiempo comprendido entre 1 a 2 meses. Luego, se envía a un área de maduración para conseguir un material maduro de mayor tiempo de degradación. Este material es aprovechado en la producción de compost o humus. Para el caso del compost, el material orgánico maduro es enviado a la nave de *Secado* donde se retira la humedad y se aplica el proceso de tamizado.

### **Tamizado**

Este proceso separa el material orgánico listo para ser usado como compost del material no aprovechable (plásticos, residuos inorgánicos, etc). Finalmente, el compost es *empaquetado* en tres tipos de presentaciones para la venta y de igual manera es utilizado en el consumo interno de la EMAC EP para el mantenimiento de áreas verdes.

Para la producción de humus, el material orgánico maduro es enviado al área de vermicompostaje, donde se *conforman lechos* y se agrega lombrices para el proceso. Este material orgánico permanece tres meses con *aireación* y *volteo* para obtener humus. Luego, se *separa la cosecha* con un nuevo material orgánico maduro para retener las lombrices y así acelerar el proceso del material nuevo. Finalmente, se envía al área de *secado* de humus, donde se *tamiza* y *empaqueta* el humus en tres tipos de presentaciones para la *venta al público*.

#### *Disposición final: Relleno sanitario de Pichacay*

Los residuos sólidos que ingresan al relleno sanitario de Pichacay provenientes de *Domicilios, Mercados, Grandes generadores y otros cantones* contienen material orgánico e inorgánico. Estos residuos pasan por la báscula de la Planta para registrar su peso y posteriormente se depositan en celdas del *relleno sanitario*. El material orgánico en condiciones anaeróbicas genera *biogás* y *lixiviados* mediante reacciones de descomposición producidas por acción de los microorganismos. Este gas es extraído por un sistema de ductos y tuberías hacia un bioprocesador que purifica el gas. Posteriormente, el gas purificado es aprovechado como combustible para generar movimiento mecánico que finalmente es convertido en energía eléctrica a través de un alternador. El aprovechamiento del biogás está a cargo de la empresa *EMAC-BGP ENERGY COMPAÑIA*. Por otro lado, los lixiviados generados en las celdas del relleno sanitario, son extraídos hacia el espacio denominado como *piscinas de lixiviados* que retienen los efluentes para posteriormente ser transportados por la EMAC hacia la planta de tratamiento de aguas residuales para darle un tratamiento adecuado.



## Disposición de lodos residuales

Los lodos residuales que se generan en plantas de tratamiento de aguas residuales (Grandes *generadores*), luego de pasar por la báscula de la Planta de Pichacay se disponen en el área de lodos. Actualmente los lodos residuales están siendo sometidos a pruebas para determinar la generación de compost a base de tierra, compost en maduración y lodos residuales en una relación 1:1 la que mejores resultados presenta. Los lodos residuales son considerados como una fracción orgánica relevante para una gestión de residuos sólidos apropiada.

### 3.1.5 Verificación de datos

Los datos sobre procesos, flujos, cantidad de RSO recolectados y la información determinada en el estudio se verificaron mediante visitas de campo y reuniones con técnicos responsables del manejo de información específica. Por una parte, se realizó una visita de campo tanto a la Planta de compostaje como al Relleno sanitario de Pichacay (*véase Anexo 1*), ubicados en la parroquia El Valle y la parroquia Santa Ana respectivamente. Por otra parte, se verificó la sistematización de datos mediante reuniones con los técnicos responsables de la EMAC EP y una validación interna realizada por parte del equipo del Proyecto Economía Circular Inclusiva-ECI y. En resumen, se pudo tener un acercamiento con los expertos descritos en la Tabla 10.

Tabla 10. *Expertos que contribuyeron en la validación de datos.*

Experto/Técnico	Cargo	Desempeño
Blga. Ligia Carrión	Técnico Especializado de EMAC EP.	Técnico del área de compostaje
Dra. Melanie Haupt	Investigadora ETH Zurich.	Experta Académica
Econ. Fanny Cabrera	Investigadora de la Universidad de Cuenca.	Asistente de Investigación: Economista
Ing. Cesar Arévalo	Técnico Especializado de EMAC EP.	Técnico del área del Relleno sanitario
Ing. Santiago Vásquez	Técnico Especializado de BGP Energy.	Técnico de la planta de aprovechamiento de biogás



Experto Grupo ECI	Cargo	Desempeño
Ing. Paúl F. Vanegas Peña	Director del proyecto Economía Circular Inclusiva Docente-Investigador de la Universidad de Cuenca.	Docente-Investigador de la Universidad de Cuenca
Ing. Gabriela Sucozhañay	Investigadora de la Universidad de Cuenca.	Asistente de Investigación: Ingeniera Ambiental
Ing. Ismael Izquierdo	Investigador de la Universidad de Cuenca.	Asistente de Investigación: Ingeniero Ambiental
Ing. Gustavo Pacheco	Investigador de la Universidad de Cuenca.	Asistente de Investigación: Ingeniero Ambiental

Elaboración: Autores.

### 3.1.6 Validez y representatividad de los datos obtenidos

Para validar la calidad de datos del inventario se utilizaron dos metodologías basadas en lo cuantitativo y cualitativo. Para el método cuantitativo se realizaron cálculos matemáticos que determinan la incertidumbre de datos, estos cálculos se detallan en la sección 3.2.3.4. Para el método cualitativo se utilizó la Matriz de Pedigree que evalúa la confiabilidad de los datos a través de cinco indicadores independientes y una asignación de valores comprendido entre 1 y 5 (de muy bueno a muy malo). Los cinco indicadores de la Matriz de Pedigree son: *i*) fiabilidad; *ii*) integridad; *iii*) correlación; *iv*) temporal; *v*) correlación geográfica, y *vi*) correlación tecnológica. Estos indicadores analizan la historia y origen de donde provienen los datos, clasificándolos con una puntuación y asociándose con una desviación estándar (Leño, 2013; Weidema et al., 2013). A continuación, se detalla la Matriz de Pedigree en la Tabla 11.

Tabla 11. *Matriz de Pedigree de nivel de calidad de datos.*

Indicador	1	2	3	4	5
<b>Fiabilidad</b>	Datos verificados basados en mediciones directas.	Datos verificados parcialmente basados en hipótesis o datos no verificados basados en mediciones directas.	Datos verificados basados en hipótesis.	Datos no verificados en estimaciones calificadas por expertos.	Estimaciones no calificadas y datos con origen desconocido.



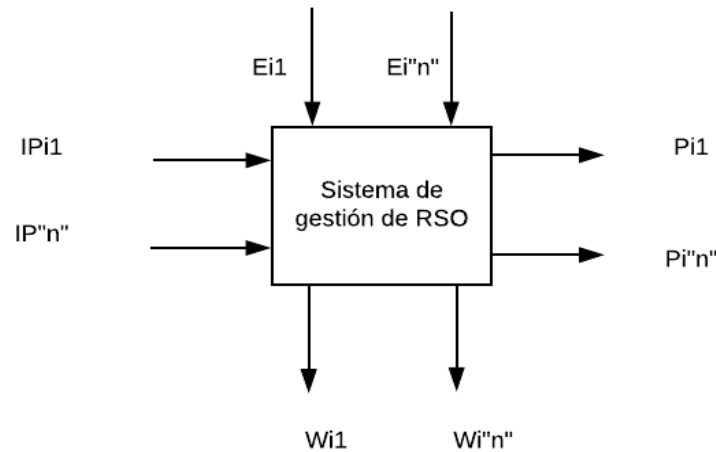


<b>Integridad</b>	Datos representativos de todos los sitios.	Datos provenientes del 50% de los sitios.	Datos representativos de algunos sitios.	Datos representativos de un sitio.	Representatividad desconocida.
<b>Correlación temporal</b>	Menos de 3 años de diferencia con el año de estudio.	Menos de 6 años de diferencia con el año del estudio.	Menos de 10 años de diferencia con el año del estudio.	Menos de 15 años de diferencia con el año del estudio.	Años de los datos desconocidos.
<b>Correlación geográfica</b>	Datos del área bajo estudio.	Datos medios procedentes de un área mayor que abarca el área bajo estudio.	Datos procedentes de un área menor o similar a las condiciones de producción.	n.a	Datos procedentes de un área desconocida o con condiciones de productividad diferentes.
<b>Correlación tecnológica</b>	Datos procedentes de empresas, procesos y materiales bajo estudio.	Datos procedentes de procesos y materiales estudio idéntica tecnología) pero de diferentes empresas.	Datos procedentes de procesos y materiales bajo estudio, pero diferente tecnología.	Datos relacionados con los procesos y materiales.	Datos relacionados con los procesos a escala de laboratorios o procedentes de diferente tecnología.

Fuente: (Leão, 2013; Weidema et al., 2013).

### Análisis de datos

La metodología base del inventario toma en cuenta un balance de masa que involucra entradas de materia y energía y, por otro lado, salidas de productos. El balance de masa incluye aportes energéticos y residuos generados como emisiones atmosféricas, calor y vapor de agua que pueden ser calculados mediante la diferencia entre los *inputs* y *outputs* (ISO 14044, 2006). Los datos previamente obtenidos fueron procesados mediante el software Excel, lo que ayudó a analizar, sintetizar y cuantificar las cargas provenientes de cada flujo considerando 4 variables representadas en la figura 3.



*Figura 3: Balance de masa.*

Fuente: (ISO 14040, 2006)

Donde:

- $IP_n$ : flujos de las entradas másicas
- $E_{in}$ : flujos de las entradas de energía
- $W_i$ : flujos de las salidas de residuos
- $P_{in}$ : flujos de las salidas de productos

### 3.2 Análisis de flujo de Materiales

Para realizar el MFA fue necesaria la obtención previa de información organizada y sintetizada mediante el Inventario de RSO. Esto aseguró un uso correcto de datos del manejo de RSO en el sistema general. Además, se utilizó el software STAN 2.6 que permite elaborar diagramas de flujo al estilo Sankey y se usa principalmente para el procesamiento de datos y la obtención de un modelo que facilite la comprensión del sistema de gestión. En la Figura 4 se muestra el esquema general de la metodología de un MFA. Según menciona Brunner, P. H., & Rechberger, H. (2017), el MFA cuenta con pasos generales tales como definición del problema, definición del sistema, determinación de materiales, flujos y procesos (procesamiento de información) e ilustración e interpretación de resultados. y al ser un proceso iterativo la validación y verificación de datos es un proceso importante para la depuración de información (Brunner y Rechberger, 2017; Cencic, 2017).

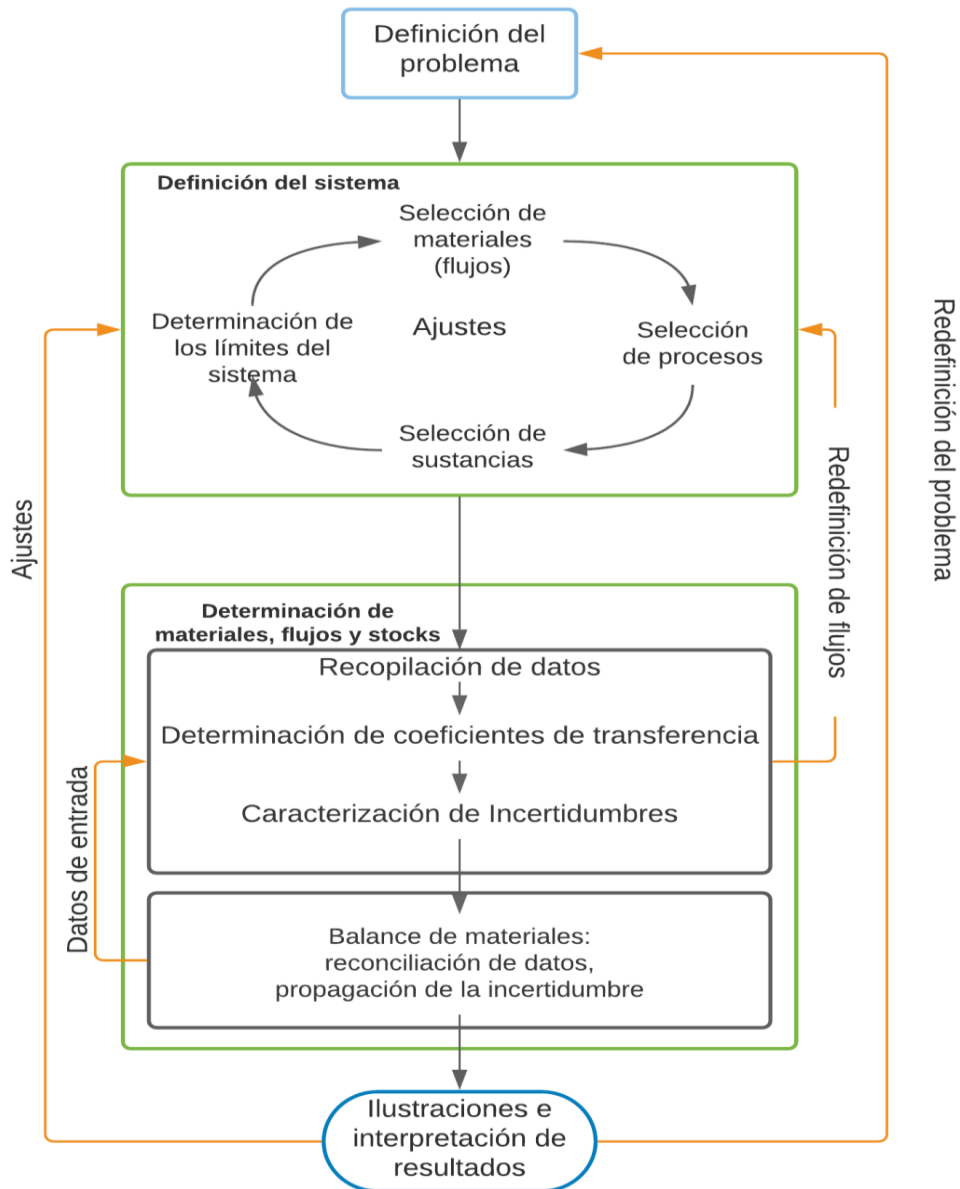


Figura 4: Esquema general para elaborar un Análisis de flujo de materiales.

Fuente: (Brunner y Rechberger; 2017).

### 3.2.1 Definición del problema

La generación de RSU en el cantón Cuenca cuenta con un alto porcentaje de RSO, esto se evidencia en la cantidad de materia orgánica que se dispone en el relleno sanitario de Pichacay, el cual según un estudio realizado en el año 2015 el porcentaje de materia orgánica recibido es del 64.39% (Muñoz y Solano, 2018). Por lo tanto, la EMAC EP ha impulsado programas de concientización para la separación y clasificación en la fuente, ha establecido convenios con grandes generadores para la recolección diferenciada de material orgánico, ha implementado la iniciativa de acopio de material orgánico generado en los hogares a través del trueque



ambiental que se realiza en el Centro de Comercialización BIOEMAC y un programa piloto del uso de la funda verde en la urbanización “Lagunas del Sol”. Este tipo de acciones buscan integrar la participación ciudadana en su modelo de gestión de RSO, generando una oportunidad para recuperar material orgánico a través de productos revalorizados.

Actualmente, los residuos que no son aprovechados se dirigen y se depositan en el relleno sanitario de Pichacay. Durante el año 2019 se dispuso 162 561,9 t de RSU (EMAC EP, 2019), provocando una saturación del relleno sanitario, principalmente por el aporte de la fracción orgánica proveniente de domicilios, mercados, grandes generadores y el aporte de cantones externos a Cuenca descritos en la sección 3.1.3.3. Esto, ocasiona un aumento en la generación de lixiviados, mayor generación de gases de vertedero, disminución de la vida útil del relleno sanitario y una pérdida significativa del potencial de aprovechamiento de RSO. Aunque, es propicio mencionar que el relleno sanitario de Pichacay se articula a la planta de aprovechamiento de biogás a través de un sistema de tuberías que recolectan el biogás producido por la descomposición del material orgánico para generar energía eléctrica, el cual según Melendres (2021) identifica que el biogás capturado corresponde apenas al 40%, mientras que el 60% se pierde en la atmósfera.

Sumado a todo lo mencionado anteriormente, la gestión de RSO en el cantón Cuenca cuenta con una escasez de información, desconocimiento de los flujos específicos del sistema y del estado actual de su gestión, por tanto, evidencia un problema que requiere ser tomado en cuenta para brindar información útil que pueda apoyar a proyectos enfocados en la mejora de la gestión de RSO en el cantón Cuenca.

### **3.2.2 Definición del sistema**

El sistema se define en torno a la selección de materiales de estudio, límites y procesos. Para el análisis del sistema de gestión se consideraron los residuos sólidos orgánicos como objeto de estudio que hace referencia a todo material de origen vegetal y/o animal, susceptible a degradarse biológicamente a corto o largo plazo (CCA, 2017). Entre los materiales que se consideran en el estudio son: los residuos de comida (comida desechada y cualquier parte no comestible de un alimento), papel, cartón, desechos de jardín (hojas, ramas y recortes de hierba), maderas, pieles, excremento de animales y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales. Sobra aclarar que los RSO no incluyen metales, vidrios y plásticos derivados de petróleo.



Para la definición del sistema a partir de los límites geográficos se detalló el apartado 3.1.2.1, que delimita como área de estudio la Planta de compostaje y el relleno sanitario de Pichacay, mientras que los procesos del sistema se establecieron en la fase de aprovechamiento, incluyendo los procesos internos desde la recepción de material tanto en la Planta de compostaje y el relleno sanitario de Pichacay hasta la obtención de los productos revalorizados como compost, humus y biogás.

Adicionalmente, como parte de los procesos internos del sistema de gestión de RSO, se pudo identificar 2 tipos de procesos: generales y específicos. Por una parte, los procesos generales son los que implican cambios significativos en la fracción orgánica como la modificación del tamaño o volumen y cambios químicos y, por otra parte, los procesos específicos que no implican cambios significativos en la fracción orgánica, es decir, no modifican la calidad ni cantidad de RSO, pero constituyen actividades fundamentales del sistema para dar continuidad al proceso. A continuación, en la Tabla 12 se mencionan los procesos identificados dentro de la Planta de Compostaje y relleno sanitario de Pichacay, que de manera articulada se complementa con la planta de aprovechamiento de biogás.

Tabla 12. *Procesos internos del sistema de gestión de los residuos orgánicos en el cantón.*

Sistema	Proceso	Tipo de proceso	
		General	Específico
Planta de compostaje Ecoparque El Valle	Recepción de RSO		X
	Separación de inorgánicos		X
	Selección y clasificación		X
	Trituración	X	
	Estocado	X	
	Descomposición inicial	X	
	Maduración del material	X	
	Secado de material		X
	Empaquetado		X
	Almacenamiento a granel		X
Relleno sanitario	Expendio		X
	Disposición final	X	
	Extracción de lixiviados		X



de Pichacay	Extracción de biogás	X
	Disposición de lodos residuales	X
planta de aprovechamiento de biogás	Procesamiento de biogás	X
	Quema	X
	Generación de electricidad	X

Elaboración: Autores.

### 3.2.3 Determinación de flujos y procesos

La determinación de flujos y procesos es el procedimiento mediante el cual se determina la carga de RSO de cada flujo que ingresa al sistema de gestión de RSO y los procesos internos que lo constituyen. Para ello es necesario realizar una recopilación de datos que presente información relevante al estudio acerca de los flujos y procesos que intervienen en el sistema de gestión de RSO en el cantón Cuenca. Esta información se detalla en la sección 3.1.4.

#### 3.2.3.1 Determinación de los Coeficientes de transferencia

Los coeficientes de transferencia (CT) son valores que se obtuvieron del levantamiento de información a través de reuniones con técnicos de EMAC EP y revisión bibliográfica. Estos valores representan la partición del material dentro de un proceso y su transferencia a un flujo de salida específico de manera que en cada proceso la suma de sus coeficientes de transferencia a todos los flujos de salida debe ser 1 o 100%. Cuando el proceso contiene varios flujos de ingreso y salida los CT se asignan relacionando a cada flujo de ingreso todos los flujos de salida, es decir, la partición del material se asume para cada flujo de ingreso y su posterior distribución de los CT para todos los flujos de salida, los cuales al sumarlos se obtiene 1 o 100%. La fórmula utilizada para determinar los CT de manera simplificada fue la ecuación 1:

$$(1) \text{ Coeficiente de transferencia (CT)} = \frac{n \text{ Cantidad del flujo de salida del proceso}}{\text{Cantidad del flujo de ingreso del proceso}}$$

La fórmula presentada da como resultado un valor entre 0 y 1, sin embargo, para obtener en términos de porcentaje se debe multiplicar por 100. Un valor de 1 o 100% representa que todo el material se dirige al siguiente proceso y un valor de 0 o 0% representa lo contrario. A continuación, en la Tabla 13 se presentan los coeficientes de transferencia usados en el escenario 2019.

Tabla 13: *Coeficientes de transferencia (escenario 2019).*



Proceso de partida	Flujo	Proceso de llegada	Coefficientes de transferencia	Fuente
Recepción	Empresas		0,07882	Fórmula CT
	Particulares (Trueque ambiental)	Separación de inorgánicos	0,00913	
	Mercados		0,37253	
	Áreas verdes	Selección y clasificación	0,53952	
Selección y clasificación	Áreas verdes-ramas	Trituración	0,20418	Informe anual 2019 del "Reciclaje y recuperación de residuos sólidos"
	Áreas verdes-pasto	estocado	0,77313	
	Áreas verdes-troncos	estocado	0,02269	
Trituración	Áreas verdes-ramas trituradas	Descomposición	0,7	Blga. Ligia Carrión
	Áreas verdes-ramas trituradas	estocado	0,3	
Separación de inorgánicos	Empresas		0,16053	Informe de operación de la báscula del relleno sanitario de Pichacay del año 2019
	Particulares (Trueque ambiental)	Descomposición	0,01983	
	Mercados		0,76649	
	Plásticos		0,05315	
Descomposición	Mezcla	Maduración compost	0,45	Blga. Ligia Carrión
		Maduración humus	0,05	
	Evaporación y degradación	0,5		
Maduración de compost	Mezcla	Secado (compost)	0,75	Blga. Ligia Carrión
	Evaporación y degradación	0,25		
Secado (compost)	Mezcla	Tamizado (compost)	0,85	Blga. Ligia Carrión
	Evaporación	0,15		
Tamizado (compost)	Mezcla	Empaquetado compost	0,22750	Informe anual 2019 del



		Almacenamiento a granel	0,71113	“Reciclaje y recuperación de residuos sólidos”
		Descomposición	0,05	
		Plásticos	0,01136	
Empaquetado compost	Mezcla	Expendio compost empaquetado	1	Fórmula CT
Expendio compost empaquetado		Compost	1	Fórmula CT
Expendio compost a granel		Compost a granel	1	Fórmula CT
Secado (humus)	Mezcla	Tamizado (humus)	0,90003	Blga. Ligia Carrión
		Evaporación	0,09997	
Tamizado (humus)	Mezcla	Descomposición	0,04998	Informe de operación de la báscula del relleno sanitario de Pichacay del año 2019
		Empaquetado humus	0,75801	
		Plásticos	0,19200	
Expendio humus		Humus	1	Fórmula CT
Procesamiento de biogás	Mezcla	Quema	0,259	Fórmula CT
		Generación de energía	0,741	
Generación de energía		Energía eléctrica	0,386	Informe EMAC EP 2019
		Pérdidas de MCI	0,614	(Department for Business & Energy, 2020)
Quema		Biogás quemado	1	Fórmula CT
Extracción de lixiviados		Lixiviados	1	Resumen de lixiviados 2007-2020

Elaboración: Autores

### 3.2.3.2 Cálculo de la incertidumbre

La calidad de datos de la generación de RSO recopilados se analizó cuantitativamente mediante la determinación de la incertidumbre para cada flujo identificado, con el propósito de disminuir





el margen de error y así evitar alteraciones dentro del sistema. Se utilizaron fórmulas estadísticas para determinar la incertidumbre, mismas que se describen a continuación:

- **Media de los datos:** Se define como la sumatoria de datos dividida para el número total de datos, expresada en la ecuación 2:

$$(2) X_{media} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i * f_i}{n}$$

Donde:

$X_i$  = datos correspondientes a cada mes

$f_i$  = frecuencia

$n$  = número total de datos (12 meses: 12 datos en total)

- **Error absoluto:** se define como la diferencia entre el valor mensual ( $X_i$ ) y  $X_{promedio}$ , el error absoluto se calcula para cada me, expresada en la ecuación 3:

$$(3) Error\ absoluto = X_i - X_{promedio}$$

Donde:

$X_i$  = dato correspondiente a cada mes

$X_{promedio}$ : promedio de los datos

- **Incertidumbre absoluta:** se define como el error absoluto elevado al cuadrado considerando un factor de cobertura, el dato se calculó para cada mes, expresada en la ecuación 4:

$$(4) Incertidumbre\ absoluta = (X_i - X_{promedio})^2$$

- **Desviación estándar ( $\sigma$ ):** se define como la dispersión de datos con respecto a la media, representada por la letra sigma misma que se utiliza para cuantificar la variación o la dispersión de un conjunto de datos numéricos, expresada en la ecuación 5:

$$(5) Desviación\ estándar = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{med})^2}{n-1}}$$

- **Varianza ( $s^2$ ):** Se define como el cuadrado de la desviación estándar, expresada en la ecuación 6:

$$(6) Varianza = \frac{\sum_{i=1}^n ((X_i - X_{med})^2)}{n-1}$$

- **Error estadístico ( $\epsilon$ ):** Se define el error establecido entre la desviación estándar entre la raíz cuadrada de número de datos, expresado en la ecuación 7:

$$(7) Error\ estadístico = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Donde:

$\epsilon$  = error estadístico



- **Coefficiente de variación ( $Cv$ ):** Es una media estadística que expresa la dispersión relativa de un conjunto de datos, expresa en la ecuación 8:

$$(8) \text{ Coeficiente de variación} = \frac{\sigma}{X_{media}}$$

- **Margen de error:** Indica la cantidad de error de muestreo aleatorio en los resultados de una encuesta. Cuanto mayor sea el margen de error, menos confianza se debe tener en que el resultado, expresado en la ecuación 9:

$$(9) \text{ Margen de error} = X_{media} \pm z_{a/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Donde:

$Z_{a/2}$  = Punto medio de extremo de datos

Los cálculos se realizaron con datos a nivel mensual del año 2019 previamente depurados con el fin de verificar la confiabilidad de datos de manera cuantitativa a través de las incertidumbres de datos.

### 3.2.4 Balance de materiales

El Balance de materiales se calculó mediante la ecuación 10 que proponen *Brunner & Rechberger, (2017)*.

$$(10) \quad \sum_{n=1}^{i=1} k_i * m (\text{entradas}) = \sum_{n=1}^{i=1} k_o * m (\text{salidas}) + m (\text{stock})$$

Donde “ $k_i$ ” y “ $k_o$ ” representan inputs (flujos de entrada) y outputs (flujos de salida) respectivamente y  $m$  representa el flujo o fluctuaciones que se encuentran dentro del sistema.

### 3.2.5 Ilustración del análisis de flujo de materiales (escenario) 2019

Para elaborar la ilustración del MFA 2019, se emplearon los flujos y procesos identificados en el software STAN 2.6. Para ello, se consideró aspectos previamente identificados como el diagrama de procesos, las fuentes generadoras, cantidad de material orgánico que ingresa (*inputs*) y sale (*outputs*) del sistema, tipos de procesos internos (general o específico), incertidumbres y coeficientes de transferencia. Esta información se incorporó al software mediante el siguiente orden de pasos:

1. Delimitación del tipo de proyecto en STAN 2,6 con:
  - Unidad: tonelada.
  - Tipo de flujo: másico.



- Período:2019.
  - Tipo de capa: bienes.
2. Incorporación de fuentes generadoras, procesos y salidas del sistema en la hoja de trabajo.
  3. Conexión de procesos con sus entradas y salidas mediante líneas de flujo.
  4. Incorporación de datos de *inputs* y *outputs* del sistema.
  5. Establecimiento de subsistemas.
  6. Incorporación de coeficientes de transferencia para cada flujo.
  7. Incorporación de incertidumbres a cada flujo (entrada, internos y de salidas).
  8. Validación del modelo.
  9. Obtención de modelo MFA.

### **3.2.6 Elaboración e ilustración del análisis de flujo de materiales alterno 2019**

El MFA alterno se elaboró a partir del escenario 2019 con el fin de analizar la situación de riesgo a la que se encuentra sujeto cada proceso interno del sistema. Es decir, el MFA alterno corresponde a un escenario teórico que permite comparar por proceso los aspectos técnicos del escenario 2019 e identificar las debilidades o puntos críticos del sistema que se pueden mejorar. Para ello, se elaboró un escenario alterno que establece el principal cambio en la cantidad de material orgánico que recibe diariamente la Planta de Compostaje, en el escenario 2019 que corresponde a 23 t aproximadamente por un ingreso de 100 t/día. Esta cantidad se asumió en torno a las entrevistas que se llevaron a cabo con la Blga. Ligia Carrión, responsable de la Planta, quién sostuvo que la EMAC EP plantea una renovación de la Planta de Compostaje a una capacidad de tratamiento de cuatro veces superior al escenario 2019.

En este sentido, el MFA del escenario alterno 2019 se elaboró con los mismos componentes (procesos, fuentes generadoras, inputs y outputs) del escenario 2019, pero con un incremento en la cantidad de material orgánico destinado al proceso de *Recepción* de la Planta de Compostaje, asumiendo las 100 t/día lo que equivale a 36 500 t/año. Para alcanzar dicha cantidad de material orgánico se direccionaron a través de un nuevo flujo proveniente de *Domicilios* que en la actualidad se disponen en el relleno sanitario de Pichacay.

También, para determinar la cantidad de material orgánico convertida en producto como compost y humus se utilizó el rendimiento de la Planta de compostaje Ecoparque El Valle del escenario 2019 correspondiente al 24.35%, mientras que para el biogás y lixiviados se usó la



proporción matemática entre entradas y salidas del proceso de *Disposición final* del escenario 2019 y el escenario alterno 2019, los cuales corresponden una relación del 80,57% para cada flujo. Al establecer estas consideraciones en el MFA del escenario alterno 2019, se obtuvieron incertidumbres y coeficientes de transferencia diferentes. A continuación, en la Tabla 14 se presentan los coeficientes de transferencia para el escenario alterno 2019 y véase Anexo 4, donde se determinan la incertidumbre para cada flujo del sistema.

Tabla 14: *Coefficientes de transferencia (escenario alterno 2019).*

<b>Proceso de partida</b>	<b>Flujo</b>	<b>Proceso de llegada</b>	<b>Coefficientes de transferencia</b>
Recepción	Empresas	Separación de inorgánicos	0,01815
	Particulares (Trueque ambiental)		0,0021
	Mercados		0,08578
	Domicilios		0,76975
Selección y clasificación	Áreas verdes	Selección y clasificación	0,12423
	Áreas verdes-ramas	Trituración	0,20418
	Áreas verdes-pasto	estocado	0,77313
Trituración	Áreas verdes-troncos	estocado	0,02269
	Áreas verdes-ramas trituradas	Descomposición	0,7
Separación de inorgánicos	Áreas verdes-ramas trituradas	estocado	0,3
	Empresas	Descomposición	0,01943
	Particulares (Trueque ambiental)		0,0024
	Mercados		0,0928
Domicilios	0,85742		
Descomposición	Plásticos		0,02795
	Mezcla	Maduración compost	0,45
		Maduración humus	0,05
	Evaporación y degradación		0,5



Maduración de compost	Mezcla	Secado (compost)	0,75
		Evaporación y degradación	0,25
Secado (compost)	Mezcla	Tamizado (compost)	0,85
		Evaporación	0,15
Tamizado (compost)	Mezcla	Empaquetado compost	0,22556
		Almacenamiento a granel	0,71404
		Descomposición	0,05
		Plásticos	0,01040
Empaquetado compost	Mezcla	Expendio compost empaquetado	1
Expendio compost empaquetado		Compost	1
Expendio compost a granel		Compost a granel	1
Secado (humus)	Mezcla	Tamizado (humus)	0,90001
		Evaporación	0,09999
Tamizado (humus)	Mezcla	Descomposición	0,05
		Empaquetado humus	0,77003
		Plásticos	0,17997
Expendio humus		Humus	1
Procesamiento de biogás	Mezcla	Quema	0,259
		Generación de energía	0,741
Generación de energía		Energía eléctrica	0,386
		Pérdidas de MCI	0,614
Quema		Biogás quemado	1
Extracción de lixiviados		Lixiviados	1

Elaboración: Autores



### 3.3 Análisis de estrategias para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos

El análisis de estrategias sobre el aprovechamiento de RSO se basó en la metodología del *Marco metodológico y orientación del análisis de hotspots*, el cual fue propuesto por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP) con el objetivo de filtrar gran cantidad de información para identificar y priorizar los puntos críticos para una mayor investigación o acción por parte de los gobiernos y partes interesadas (UNEP, 2017). El estudio utilizó esta metodología para un análisis enfocado en los puntos críticos (debilidades) de los procesos internos de la fase de aprovechamiento del sistema de gestión de RSO del cantón Cuenca.

Cabe señalar que actualmente no existe un enfoque global común para el análisis de puntos críticos de un sistema, por tal motivo esta metodología es flexible dependiendo el tipo o nivel de estudio (UNEP, 2017). Reconociendo esta situación, el alcance de la evaluación giró en torno a los impactos ambientales y consideraciones técnicas del sistema, donde se incluyen la pérdida de energía, tiempo de retención del material y el control técnico de operaciones como aspectos más relevantes al momento de analizar tecnologías de aprovechamiento de RSO de acuerdo a los estudios realizados por Di Maria et al. (2008), Liu et al. (2018) y el Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (2020).

Para el análisis de estrategias se basó en la información obtenida del inventario de RSO 2019, escenarios MFA del sistema (2019 y alterno 2019) y una revisión de literatura que toma en cuenta la jerarquía de las estrategias de aprovechamiento de RSO (Figura 3). En cambio, para la validación de estrategias se realizaron presentaciones de tipo retroalimentativo “feedback” con los miembros del Grupo de Investigación de Economía Circular y Desarrollo Sostenible.

A continuación, en la Figura 5 se presentan los pasos metodológicos que se abordaron para el análisis de estrategias:



Figura 5. Esquema metodológico del análisis de estrategias de aprovechamiento de residuos orgánicos.

Fuente: (UNEP, 2017). Elaboración: Autores.

### 3.3.1 Identificación de puntos críticos

Según la FAO (2014) la identificación de puntos críticos es la fase donde se aplica un control al correcto desarrollo del proceso, el cual es esencial para prevenir problemas técnicos. Por medio de la identificación de puntos críticos se puede controlar y aplicar medidas que garanticen un control eficiente de la fase productiva. Según la valoración establecida “1” corresponde a eficiencia alta; “2” eficiencia media y “3” eficiencia baja. Para identificar los puntos críticos de cada proceso se consideraron los siguientes aspectos:

**Pérdida de energía:** Las pérdidas de energía se establecen mediante la cantidad de energía que se desprende por la degradación natural de los RSO en forma de vapor de agua y gases como metano o dióxido de carbono, los cuales poseen un potencial de aprovechamiento significativo. Para este estudio se consideró la cantidad de materia que ingresa y la cantidad de materia que sale de un proceso, esta última entendida como el material orgánico que se dirige al siguiente proceso y la cantidad de energía que se pierde en el ambiente en forma de evaporación y degradación. No se consideró el uso de energías externas ya que el estudio analiza flujos másicos de RSO.

Para identificar puntos críticos con base a la pérdida de energía, se estableció la siguiente ponderación basado en los puntos críticos de las emisiones ambientales de la UNEP (2020).

- 1: Cuando el proceso pierde energía inferior al 15% del flujo de salida.
- 2: Cuando el proceso pierde energía entre el 15 y 25% del flujo de salida.
- 3: Cuando el sistema pierde energía superior al 25% del flujo de salida.



**Tiempo de retención:** El tiempo de retención hace referencia al tiempo de residencia del material orgánico dentro de cada proceso. Los procesos que conforman el sistema de gestión de RSO pueden retener el material orgánico desde tiempos cortos hasta tiempos prolongados, en los cuales se hace referencia de manera directa al stock del proceso (existencias o depósitos de material). El stock puede permanecer constante, puede aumentar (acumulación de materiales) o disminuir en cantidad de masa retenida. Los tiempos de retención para cada proceso fueron identificados mediante las visitas técnicas a las instalaciones y entrevistas a técnicos responsables de las plantas de la EMAC EP.

Para identificar puntos críticos con base al tiempo de retención, se estableció la siguiente ponderación basado en la definición de stock de Brunner y Rechberger (2017), considerando que los límites temporales se sujetan al período de un año debido a que el estudio analiza únicamente el sistema de gestión de RSO para el año 2019:

- 1: Sin stock, cuando el proceso no retiene material orgánico.
- 2: Stock momentáneo, cuando el proceso retiene material por un tiempo igual o menor a 6 meses que corresponde al tiempo de medio período de estudio.
- 3: Stock indefinido cuando el tiempo de retención es superior a 4 meses.

**Control operativo de proceso:** El control operativo de proceso hace referencia al grado de tecnificación de las operaciones que se realizan dentro de un proceso. Para el estudio se asumió el control de parámetros (pH, temperatura, contenido de humedad, relación C/N, aireación y conductividad eléctrica) y el orden lógico de un proceso estandarizado (inicio, operaciones intermedias, fin) como consideraciones relevantes para el análisis de este aspecto. El control de parámetros es indispensable en la producción de compost y humus ya que define la eficiencia de cada proceso.

Para identificar puntos críticos con base al control operativo de proceso se estableció la siguiente ponderación sugerida en el estudio de Liu et al, (2018), según la importancia de un control de parámetros en cada proceso, se tiene:

- 1: Proceso definido, cuando es un proceso estandarizado bajo una guía de operaciones y cuenta con un control de parámetros.
- 2: Proceso sin control de parámetros, pero cuenta con una guía de pasos para el desarrollo normal del proceso.





- 3: Proceso no definido, cuando un proceso no cuenta con una estandarización, no sigue una lógica operativa y además no cuenta con un control de parámetros.

Con base en los aspectos descritos anteriormente, se elaboró la matriz de puntos críticos con un análisis técnico de los procesos internos del sistema de gestión de RSO, considerando las puntuaciones propuestas según el nivel de importancia de cada aspecto analizado (UNEP, 2020), véase Figura 6. Finalmente, para la interpretación del análisis, se categorizó cada proceso mediante una asignación de colores de semáforo según el nivel de prioridad (alta, media y baja) que indica el orden de atención de mejoramiento. Esto se realizó mediante la suma de puntuaciones de los aspectos puntos críticos identificados según las consideraciones establecidas previamente.

Aspectos Hotspot	Consideraciones	Semaforización de resultados
<b>Pérdida de energía por evaporación y degradación</b>	1 = Pérdida de energía menor al 15% del flujo de salida. 2 = Pérdida de energía entre el 15% y el 25% del flujo de salida. 3 = Pérdida de energía superior al 25% del flujo de salida.	<b>Prioridad alta</b> [Valores entre 7-9] Requieren ser mejorados de forma urgente.
<b>Tiempo de retención del material</b>	1 = Sin stock. 2 = Stock momentáneo 3 = Stock indefinido, existe acumulación de RSO.	<b>Prioridad media</b> [Valores entre 4-6] Requieren ser mejorados, pero no de forma urgente.
<b>Control operativo de procesos</b>	1 = Proceso definido. 2 = Proceso sin control de parámetros. 3 = Proceso no definido.	<b>Prioridad baja</b> [Valores de 3] Se pueden mejorar, pero no es esencial.

Figura 6. Semaforización de hotspots y aspectos críticos.

Fuente: Autores

### 3.3.2 Planteamiento y validación de recomendaciones

Adicionalmente a la identificación de puntos críticos se procedió a plantear recomendaciones para cada proceso, en base a una revisión de literatura y datos obtenidos por el escenario MFA 2019 se determinó posibles mejoras que prioricen los siguientes aspectos

- Disminuir la pérdida de energía en los procesos.
- Disminuir la contaminación al aire, suelo y agua.
- Reducir el tiempo para la obtención de abonos orgánicos.



- Control de parámetros
- Incrementar la vida útil del relleno sanitario por disminución de la cantidad de residuos hacia disposición final.

La validación de las recomendaciones para cada proceso se realizó mediante reuniones con expertos en el área de la Ingeniería Ambiental (Ing. Gabriela Sucozhañay, Ing. Ismael Izquierdo e Ing. Gustavo Pacheco) que aportaron con ideas y comentarios sobre las prioridades consideradas.

### 3.3.3 Análisis de estrategias de aprovechamiento mediante criterios de evaluación

La identificación de recomendaciones para los puntos críticos - hotspots del sistema de gestión de RSO contribuyó a la identificación de estrategias de aprovechamiento para el mejoramiento de los procesos categorizados de *prioridad alta*. Para ello, se realizó una revisión de literatura que identificó tecnologías de aprovechamiento de RSO sujetas a criterios de evaluación técnicos y de diseño con el fin de comparar sus características e identificar sus puntos positivos y negativos.

#### 3.3.3.1 Identificación de criterios de evaluación

Según Heidarzadeh, Amani, y Javadian (2019) los criterios de evaluación tienen como principal propósito resumir gran cantidad de información en variables o aspectos generales que permiten comparar entre distintos escenarios de características similares. Los criterios de evaluación considerados en este estudio fueron:

- a) **Criterios Técnicos:** Enfocados a recopilar información sobre el tipo de materia prima, presencia o ausencia de O<sub>2</sub> y los parámetros de entrada del material para cada tratamiento.
- b) **Criterios de Diseño:** Enfocados a recopilar información acerca de las consideraciones del tratamiento y sobre los parámetros de diseño y construcción de los tratamientos.
- c) **Criterios de Revalorización:** Enfocados a determinar el tipo de producto revalorizado que se obtiene de los tratamientos.

A partir de los criterios identificados se establecieron subcriterios, variables y subvariables usados para evaluar el desempeño de diferentes tratamientos de aprovechamiento de RSO, basado en análisis de procesos desde la generación de los residuos hasta su disposición final.



A continuación, en la Tabla 15 se presentan los criterios de evaluación utilizados en este estudio.



Tabla 15. *Criterios de evaluación para comparar estrategias de aprovechamiento de residuos orgánicos.*

<b>Criterio</b>	<b>Subcriterio</b>	<b>Variable</b>	<b>Subvariable</b>	
Técnicos	Tipo de proceso	Presencia de O <sub>2</sub>	Aeróbico	
		Ausencia de O <sub>2</sub>	Anaeróbico	
	Entradas de materiales	Residuos domiciliarios	Desperdicios alimenticios	
			Residuos de mercados	Restos de frutas
		Verduras		
		Cáscaras		
		Residuos de depuradoras	Lodos residuales	
			Excretas	Aviar
		Canino		
		Residuos Verdes		Pasto
		Parámetros de entrada del	Características del material	Ramas
				Viruta
	Tripas de pollos			
	Humedad			
	pH			
			Nitrógeno total	
			Relación C/N	



UNIVERSIDAD DE CUENCA  
Conductividad eléctrica

material

Tamaño de material

Presencia de O<sub>2</sub>

Microorganismos

Nivel de emisiones atmosféricas

Porcentaje en masa de contaminantes atmosféricos emitidos (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O)

Tiempo

Tiempo de retención de sólidos

Consideraciones del tratamiento

Tiempo de activación

Diseño

Temperatura

Temperatura máxima del sistema

Eficiencia

Eficiencia del tratamiento

Capacidad máxima

Capacidad máxima

Parámetros de diseño y construcción: (23 t/día)

Volumen óptimo de tratamiento (25 t/día)

Biogás

Compost

Revalorización

Producto revalorizado

Tipo de Producto

Humus

Digestato

Elaboración: Autores

### 3.3.3.2 Revisión de literatura sobre experiencias de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos

A partir de la revisión de literatura, se identificaron tratamientos *de biodigestores, biorreactores y compostaje domiciliario* como tratamientos viables para mejorar los procesos categorizados de prioridad alta en el sistema estudiado ya que requieren atención de manera urgente. Una vez identificados los tipos de tratamientos se investigaron ventajas y desventajas de aspectos sociales, económicos, ambientales y técnicos, que deben ser considerados al momento de su implementación con la finalidad de establecer una comparación entre tratamientos e identificar la alternativa más viable para solventar las necesidades de los procesos críticos.

### 3.3.3.3 Comparación de estrategias de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos

Para el análisis de estrategias de aprovechamiento se realizó una comparación entre el tratamiento de compostaje actual, implementado por la EMAC EP, y los tratamientos identificados en la revisión de literatura descrita en la sección 3.3.3.2 empleando los criterios de evaluación identificados en la sección 3.3.3.1. El análisis se realizó en los puntos críticos de los procesos categorizados como “prioridad alta” con el fin de identificar las posibles mejoras técnicas de los procesos con mayor urgencia. Los tratamientos identificados en la revisión de literatura fueron 8, sin embargo, para fines de comparación se consideraron 3 tratamientos para la formulación de estrategias viables para el cantón Cuenca. A continuación, en la Figura 7 se presentan los tratamientos que se analizaron en el estudio:

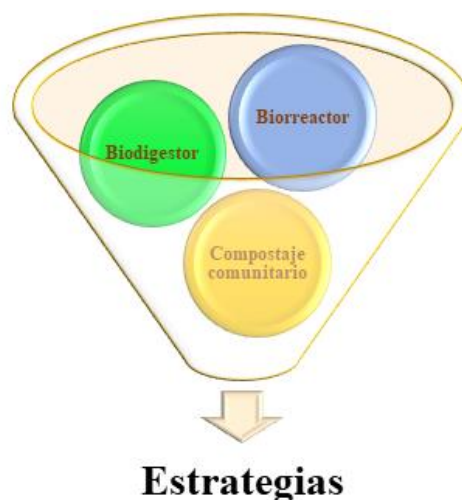


Figura 7: Estrategias de Aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos.

Fuente: Autores



## 4. Resultados

### 4.1 Inventario del sistema de gestión de residuos orgánicos en el cantón Cuenca

El diagrama de procesos de la gestión de RSO (véase Anexo 5), se estructuró de manera general en tres procesos: i) generación, ii) recolección, iii) disposición final o aprovechamiento de RSO. Se observa que la generación de RSO en el cantón Cuenca procede de siete generadores, entre los que figuran *empresas, particulares (Trueque ambiental), mercados, áreas verdes, domicilios, otros cantones* y *grandes generadores*. Aunque para el estudio los lodos residuales provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales y plantas potabilizadoras de agua correspondientes a *grandes generadores* se estudiaron de manera separada como *ETAPA-Grandes generadores*.

Los valores obtenidos en la generación de RSO de cada fuente generadora identificada se presentan en la Tabla 16, donde se observa de manera general que durante el año 2019 se generaron 115 467,74 t de RSO lo que representa el 67,32% de la cantidad total de RSU (171 520,56 t) en el cantón Cuenca. Así mismo, se observa que 2 623,76 t de RSO se revalorizaron en productos como humus, compost y biogás, siendo este último aprovechado en la generación de energía eléctrica. En cambio, se obtuvieron 59 277,53 t de generación de lixiviados durante el año 2019, considerado como residuos del sistema de gestión de RSO.

Por otra parte, se determinó que el 68,57% (79 171,15 t) corresponde a la fuente generadora *domicilios*, lo que significa que es la principal fuente generadora que aporta material orgánico al sistema de gestión. Seguida de la fuente generadora *mercados* con el 15,73% (18 160,78 t), *ETAPA-Grandes generadores* con el 5,46% (6 299,23 t), *otros cantones* con el 5,27% (6 088,52 t), *áreas verdes* con el 3,93% (4 534,23 t), *empresas* con el 0,57% (662,39 t), *grandes generadores* con el 0,41% (474,71 t) y por último *particulares (trueque ambiental)* con el 0,07% (76,74 t). Estos porcentajes de generación de RSO se evidencian en la Figura 8.



Tabla 16. *Inventario de residuos sólidos orgánicos del cantón Cuenca para el año 2019. Unidad: tonelada (t).*

Mes	Generadores								Productos				Residuos
	Empresas	Particulares (Trueque Ambiental)	Mercados	Areas verdes	Domicilios	Otros Cantones	Grandes generadores	ETAPA-G. generadores	Humus	Compost	Compost a granel	Biogás	Lixiviado
Enero	19,37	5,20	1565,94	248,76	7147,50	538,07	85,04	0,00	5,15	48,50	30,63	180,83	6750,61
Febrero	23,83	5,68	1454,51	295,97	6303,23	480,71	60,8	874,46	4,08	43,12	3,64	65,03	4313,91
Marzo	15,06	5,99	1576,20	389,91	6616,59	525,36	42,52	562,51	8,63	76,48	50,58	72,00	4858,00
Abril	60,95	7,50	1647,72	439,76	7007,31	531,83	31,33	637,00	2,49	26,63	7,07	69,68	8439,64
Mayo	157,54	9,54	1670,03	489,19	7063,69	535,05	25,66	429,61	2,87	20,44	0,00	33,67	4778,77
Junio	181,87	8,10	1582,30	448,78	6556,04	492,32	67,72	15,10	5,57	17,82	0,00	242,60	4513,43
Julio	58,41	7,84	1476,55	365,36	6813,70	546,32	26,15	0,00	3,17	29,75	13,30	244,51	4093,51
Agosto	35,33	9,35	1381,51	313,50	6242,10	496,53	31,26	36,61	1,82	108,92	108,92	253,80	2008,74
Septiembre	37,23	11,51	1372,25	276,01	6115,23	491,72	15,87	1047,90	6,35	33,50	0,00	163,53	2485,77
Octubre	23,50	2,37	1391,27	251,20	6223,95	479,90	27,53	1189,65	2,42	33,99	0,00	182,80	2598,85
Noviembre	30,87	1,58	1534,82	498,51	6754,79	506,36	41,06	519,37	5,25	27,23	0,00	219,84	5599,14
Diciembre	18,43	2,08	1507,68	517,28	6327,02	464,34	19,77	987,02	0,00	18,17	0,00	149,05	8837,16
<b>Total</b>	<b>662,39</b>	<b>76,74</b>	<b>18160,78</b>	<b>4534,23</b>	<b>79171,15</b>	<b>6088,52</b>	<b>474,71</b>	<b>6299,23</b>	<b>47,77</b>	<b>484,52</b>	<b>214,13</b>	<b>1877,33</b>	
<b>Suma</b>	<b>115 467,74</b>								<b>2 623,76</b>				<b>59277,53</b>
<b>Incertidumbre</b>	<b>31,51</b>	<b>1,8</b>	<b>56,45</b>	<b>46,98</b>	<b>203,25</b>	<b>15,31</b>	<b>11,98</b>	<b>248,6</b>	<b>1,32</b>	<b>15,29</b>	<b>18,51</b>	<b>1877,33</b>	<b>1236,88</b>

Elaboración: Autores.



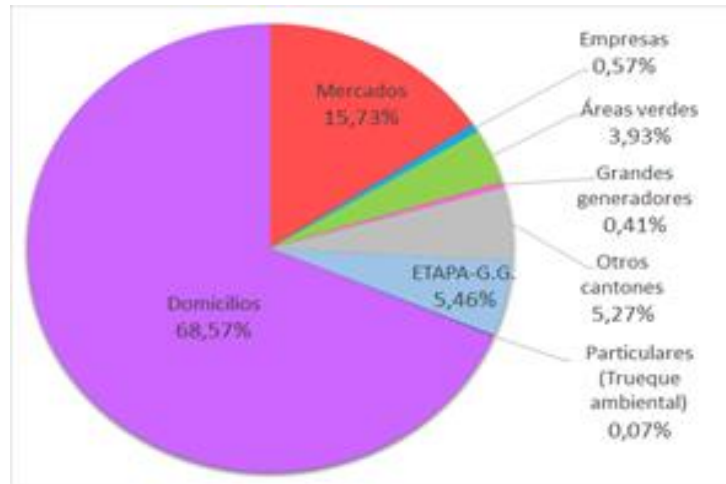


Figura 8. Porcentaje de generación de residuos orgánicos por generador del año 2019.

Elaboración: Autores.

De manera similar, se determinó que de todo el material orgánico aprovechado como productos revalorizados el biogás se genera en mayor proporción con el 71,55% (1 877,33 t), seguido del compost con el 18,47% (484,52 t), compost a granel con el 8,16% (214,13 t) y por último el humus con el 1,82% (47,77 t).

Por otra parte, se determinó que de todo el material orgánico generado en el cantón Cuenca durante el año 2019 el 92,24% (106 509,15 t) fue destinado al relleno sanitario de Pichacay. Este material proviene de fuentes generadoras como *domicilios*, *mercados*, *grandes generadores*, *otros cantones* y *ETAPA-grandes generadores* (lodos residuales dispuestos en sitios diferentes dentro del Relleno sanitario de Pichacay). En cambio, la fracción restante fue destinada a la Planta de compostaje, donde ingresó el 7,28% (8 404,18 t) de material orgánico proveniente de las fuentes generadoras de *áreas verdes*, *mercados*, *particulares (trueque ambiental)* y *empresas*. También, se destina un bajo porcentaje de material orgánico del 0,48% (554,41 t) a las comunidades de Santa Ana para compostaje comunitario a pequeña escala. A continuación, en la Figura 9 se presentan estos porcentajes de disposición de RSO.

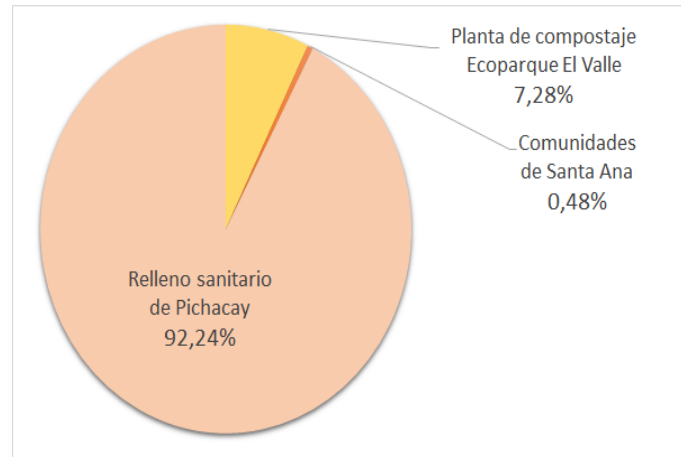


Figura 9. Porcentaje de residuos sólidos orgánicos dispuestos en el relleno sanitario de Pichacay, planta de compostaje y comunidades de la parroquia Santa Ana.

Elaboración: Autores

Adicionalmente, se determinó la proporción de RSO que recibió la Planta de compostaje, siendo la fuente generadora *áreas verdes* la cual aporta mayor cantidad de RSO con el 53,95% (4 534,23 t), seguido de *mercados* con el 37,25% (3 130,83 t), *empresas* con el 7,88% (662,39 t) y por último la fuente generadora *particulares (Trueque Ambiental)* con el 0,92% (76,74 t). De igual manera, el Relleno Sanitario de Pichacay recibe como mayor cantidad de RSO el 74,33% (79 171,15 t) correspondiente a los residuos de *domicilios*, seguidos por los residuos de *mercados* que representan el 13,59% (14 475,55 t), *ETAPA - Grandes generadores* el 5,91% (6 299,23 t), *otros cantones* el 5,72% (6 088,52 t) y por último los residuos de la fuente generadora *grandes generadores* con el 0,45% (474,71 t). Este análisis se representa en la Figura 10 y 11.

En resumen, los datos del inventario 2019 (Tabla 16) se valoraron cualitativamente como datos confiables de rango “*Muy bueno*” según la matriz de Pedigree (véase Anexo 2), y de manera cuantitativa a través del cálculo de la incertidumbre (véase Anexo 3) se obtuvo márgenes de incertidumbre bajas, estos datos complementan el inventario 2019.

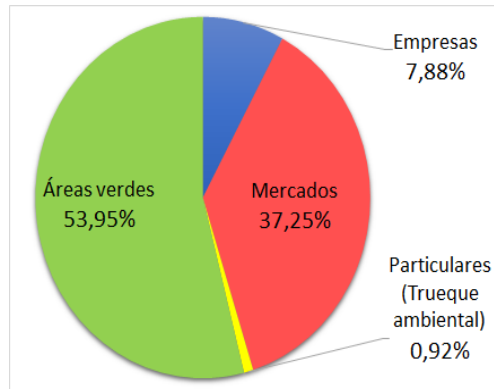


Figura 10. Porcentaje de residuos orgánicos que ingresan a la Planta de compostaje.

Elaboración: Autores.

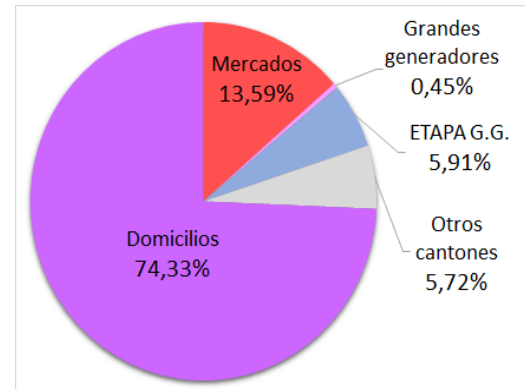


Figura 11. Porcentaje de residuos orgánicos que ingresan al relleno sanitario de Pichacay.

Elaboración: Autores.

## 4.2 Análisis de Flujo de Materiales

El análisis de flujo de materiales determinó dos escenarios: el escenario del año 2019 y el escenario alternativo del año 2019.

### 4.2.1 Análisis de flujo de materiales escenario 2019

Como principal resultado del análisis de flujo de materiales se obtuvo el escenario 2019 del sistema de gestión de RSO (véase Figura 12), donde se destaca por un lado un input total de 159 839,42 t/año, de los cuales 44 371,66 t/año corresponde a precipitación y por otro lado un output total de 71 155,57 t/año que incluye 2 623,76 t/año en productos revalorizados, 59 277,53 t/año como lixiviados y 9 254,28 t/año en pérdidas del sistema. El MFA identificó stocks presentes en ciertos procesos al equilibrar inputs y outputs internos. En general, el sistema contiene un stock de 88 683,85 t/año, de los cuales 495,61 t/año de RSO se retienen en el proceso de *estocado*, 1 300,39 t/año en *almacenamiento a granel*, 6 299,23 t/año en *disposición de lodos* y 80 398,77 t/año en el proceso de *disposición final*. Así mismo, los flujos internos del sistema de gestión se obtuvieron a partir del MFA del escenario 2019, donde los procesos como la *disposición final* y *extracción de lixiviados* reciben un flujo de material orgánico superior a los demás procesos, siendo 144 581,59 t/año y 59 277,53 t/año respectivamente. El flujo de material orgánico correspondiente a los demás procesos se observa en la Figura 13.

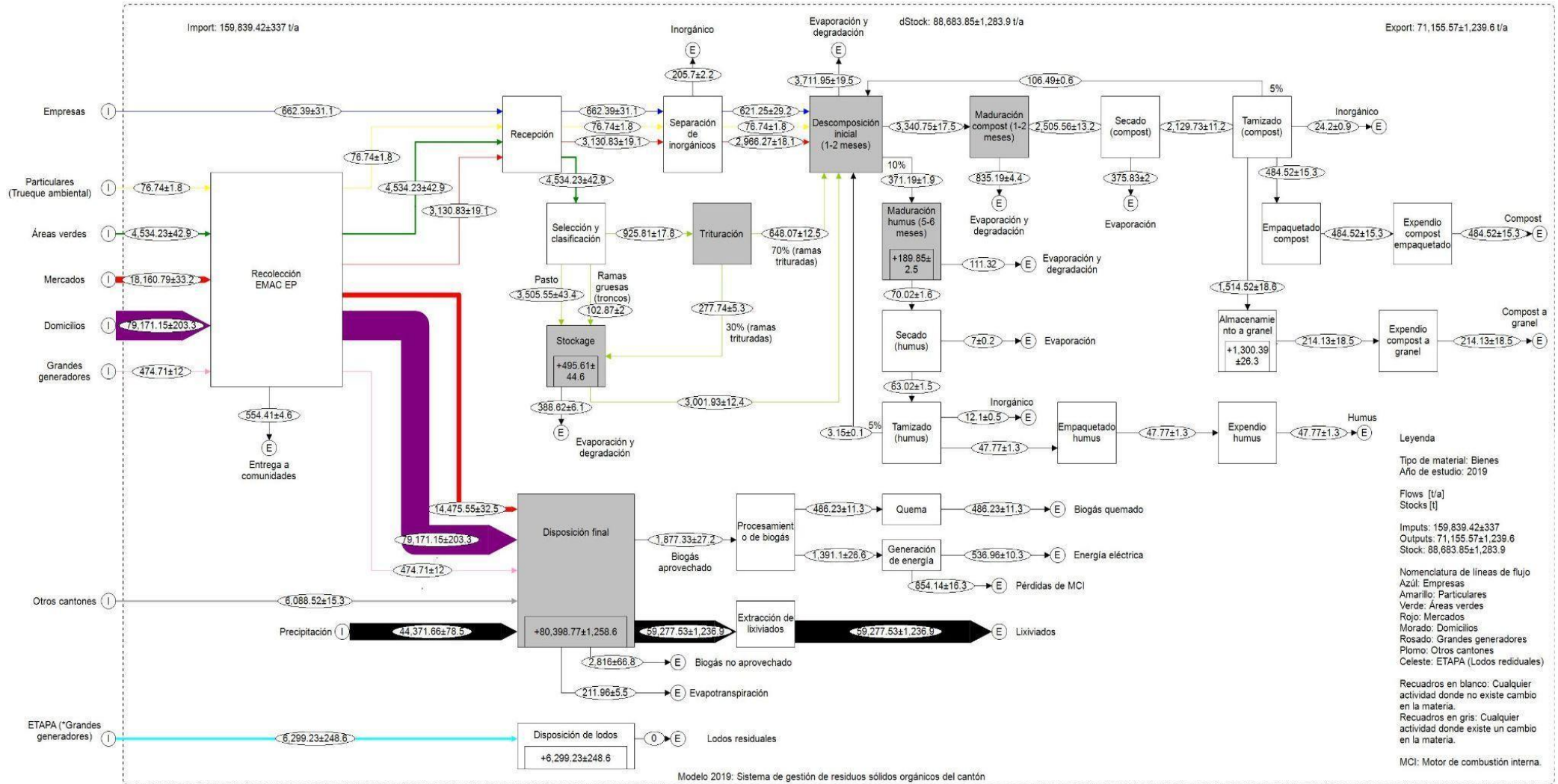


Figura 12: Escenario 2019 del sistema de gestión de residuos sólidos orgánicos del cantón Cuenca - MFA.

Elaboración: Autores.

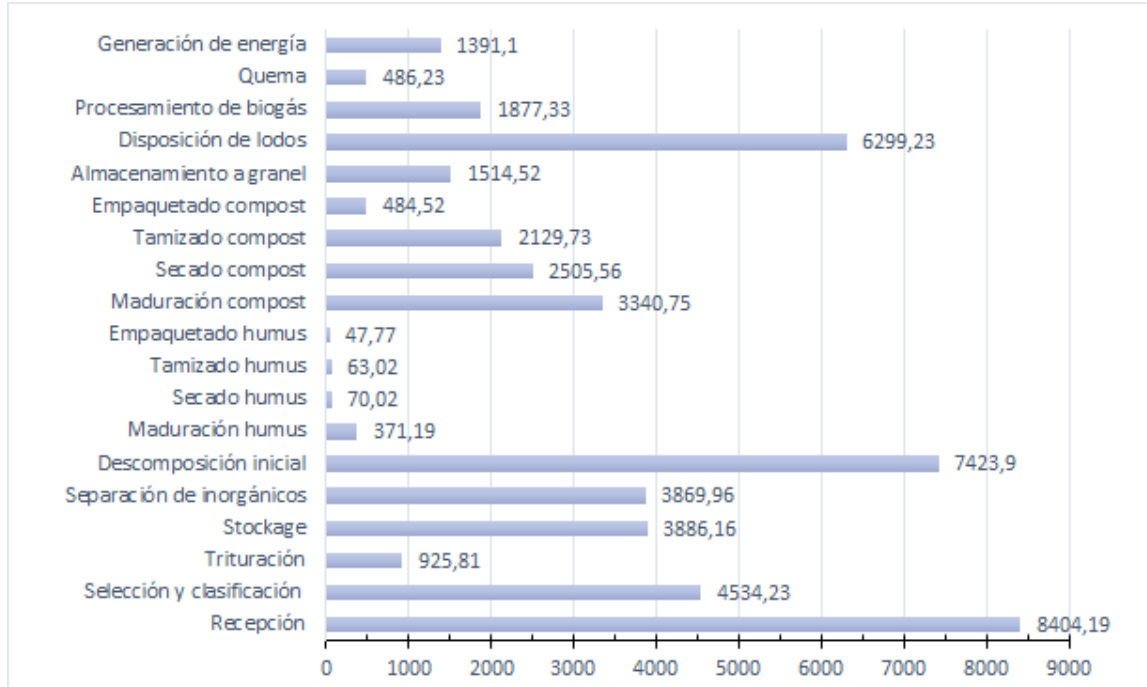


Figura 13. Flujo másico determinado por cada proceso. **Unidad:** t/año.

Elaboración: Autores.

Por otro lado, se determinó las pérdidas por proceso, es importante mencionar que las pérdidas por proceso permitieron identificar los hotspots ya que son pérdidas de energía potencialmente aprovechable. Es así que el MFA identificó que los procesos *descomposición inicial* y *disposición final* representan los procesos con mayor cantidad de pérdidas en peso del material, correspondiente a 3 711,95 t/año y 3 027,96 t/año respectivamente. Estas grandes pérdidas ocurren debido a la evaporación y degradación del material orgánico, en el caso de la *disposición final* se identificó que ocurre a causa del biogás no capturado del relleno sanitario de Pichacay. Si bien existe un sistema de captura del biogás, este consigue capturar apenas el 40%. Así mismo, se tiene una pérdida de material en el proceso de *generación de energía* correspondiente a 854,19 t/año, esto debido a la eficiencia eléctrica del motor de combustión interna (MCI) que se emplea para generar energía eléctrica a partir de biogás, el cual corresponde a 38,6% para el motor SFGM Guascor 560 (Guascor, 2012). A continuación, en la Figura 14 se observan las pérdidas de materia de todos los procesos del sistema de gestión de RSO.

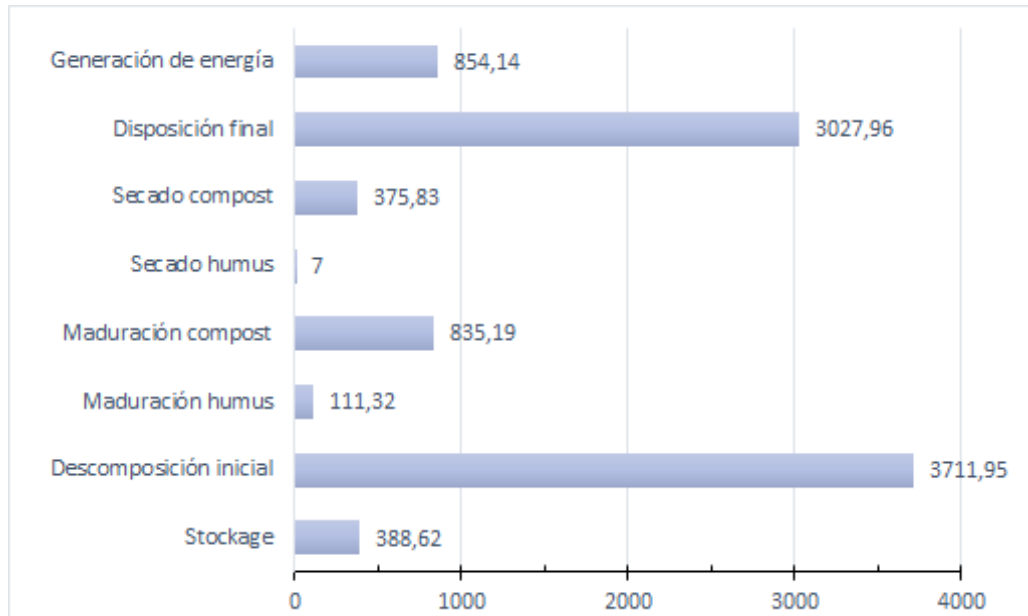


Figura 14. Pérdidas de masa por cada proceso. **Unidad:** t/año.

Elaboración: Autores.

Otro aspecto importante del MFA es que permitió identificar las existencias (stocks) en algunos procesos, esto hace referencia a un almacenamiento momentáneo del material orgánico. Como se observa en la Figura 15, se identificó que el proceso de *descomposición final* presenta un mayor stock correspondiente a 80398,77 t/año, esto debido a que la cantidad de RSO depositados en el relleno sanitario son acumulados a través del tiempo sin ningún tratamiento de revalorización del material orgánico, solamente se aprovecha el biogás que genera a través de un sistema de extracción de biogás. De igual manera, se identificó 6 299,23 t/año como stock en el proceso de *disposición de lodos* ya que los lodos residuales se acumulan sin ningún método de aprovechamiento.

En cambio, en los procesos de *almacenamiento a granel*, *maduración de humus*, y *estocado* mantienen un stock con aprovechamiento a través del material orgánico revalorizado en peso. *Almacenamiento a granel* con 1 300,39 t/año varía de acuerdo a la venta de compost, *maduración de humus* con 189,86 t/año depende de la disponibilidad del espacio designado al proceso ya que el tiempo de retención del material orgánico en este proceso es de 5 a 6 meses, el cual resulta que para el año 2019 se acumula como stock la mitad del material orgánico aprovechado para el próximo año. Finalmente, el *estocado* con 495,61 t/año depende de la cantidad de podas o factores (precipitación, temperatura, etc.) que influyen en el crecimiento de las áreas verdes.

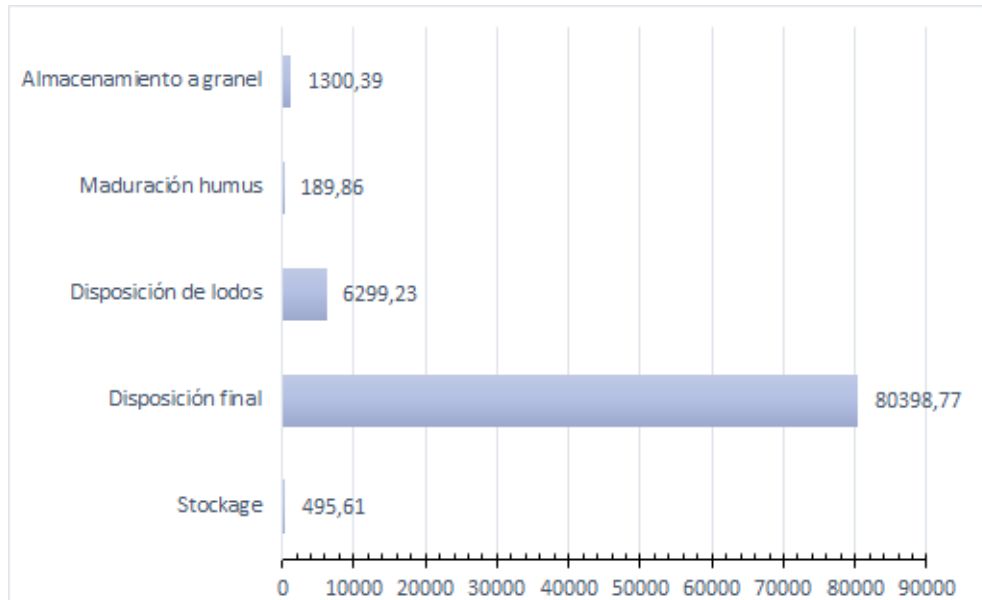


Figura 15. Stocks del sistema de gestión. **Unidad:** t/año.  
Elaboración: Autores.

Adicionalmente, se determinó que durante el año 2019 se retiran plásticos denominados como material inorgánico de los procesos internos de la Planta de compostaje. En la Figura 16 se observa que se retiran 205,7 t/año de plásticos del proceso de separación *de inorgánicos* debido a que en este proceso se retiran las bolsas, saquillos, contenedores, etc. en los que se almacenan los RSO para su transporte a la planta. Así mismo, durante el *tamizado* tanto de humus y compost se retiran 12,1 t/año y 24,2 t/año respectivamente, debido a que la máquina de tamizado facilita su separación.

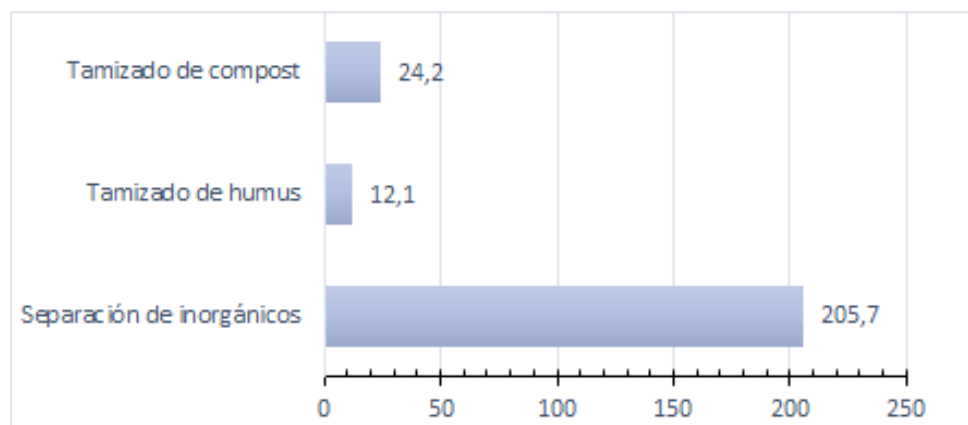


Figura 16. Plásticos extraídos (material inorgánico) de los procesos internos de la Planta de compostaje. **Unidad:** t/año.  
Elaboración: Autores.

El biogás se analiza de manera diferente ya que se transforma en energía eléctrica para su aprovechamiento desde una cantidad en masa de 1 877,33 t/año a 536,96 t/año. Es decir, solamente el 28,6% del biogás capturado del Relleno sanitario de Pichacay se convirtió en



energía eléctrica. También, es propicio mencionar que el biogás generado corresponde a la descomposición del material acumulado de años anteriores (2001-2019), lo que demuestra una baja eficiencia en el aprovechamiento de biogás.

#### 4.2.2 Análisis de flujo de materiales alterno al escenario 2019

Como parte del análisis de los procesos internos del sistema, se generó un MFA alterno que recibe 100 t/día de RSO en la Planta de compostaje manteniendo las mismas consideraciones del escenario 2019, para ello se direccionó 76,97 t/día de RSO provenientes de *domicilios* como se observa en la Figura 17. El escenario alterno 2019, mostró un incremento en la generación de abonos orgánicos en un 78,75% y una disminución de 104 058,56 m<sup>3</sup> en volumen de RSO depositados en el relleno sanitario de Pichacay. Este volumen se determinó a partir de la densidad de 0,27 t/m<sup>3</sup> que corresponde según el MAE (2020) a los RSO durante su recolección. A medida que disminuye el material orgánico en el relleno también disminuye la generación de biogás, por lo que se evidencia en el escenario alterno una disminución del 19,43% de energía eléctrica generada a partir del biogás.

Por otro lado, la Planta de compostaje evidencia un incremento del 78,93% en la pérdida de energía en forma de calor y evaporación, siendo el proceso de *descomposición inicial* el que experimenta una mayor pérdida del material con un 17 621,25 t, lo cual indica que requiere atención prioritaria para mejorar su eficiencia. También, se evidencia en menor medida una pérdida de energía en los procesos de *maduración y secado*. Así mismo, en el proceso de *disposición final* del relleno sanitario de Pichacay se evidencia una reducción en las pérdidas de energía del 19,43% (2 439,55 t), lo que beneficia al sistema.

Finalmente, se identificó que el redireccionamiento de residuos domiciliarios a la Planta de compostaje normalmente contiene una gran cantidad de humedad por lo que requiere material seco para una adecuada descomposición. De tal manera, es pertinente utilizar los residuos de áreas verdes (material seco) almacenados actualmente en el proceso de *estocado* para regular la humedad del material en el proceso de *descomposición inicial*.



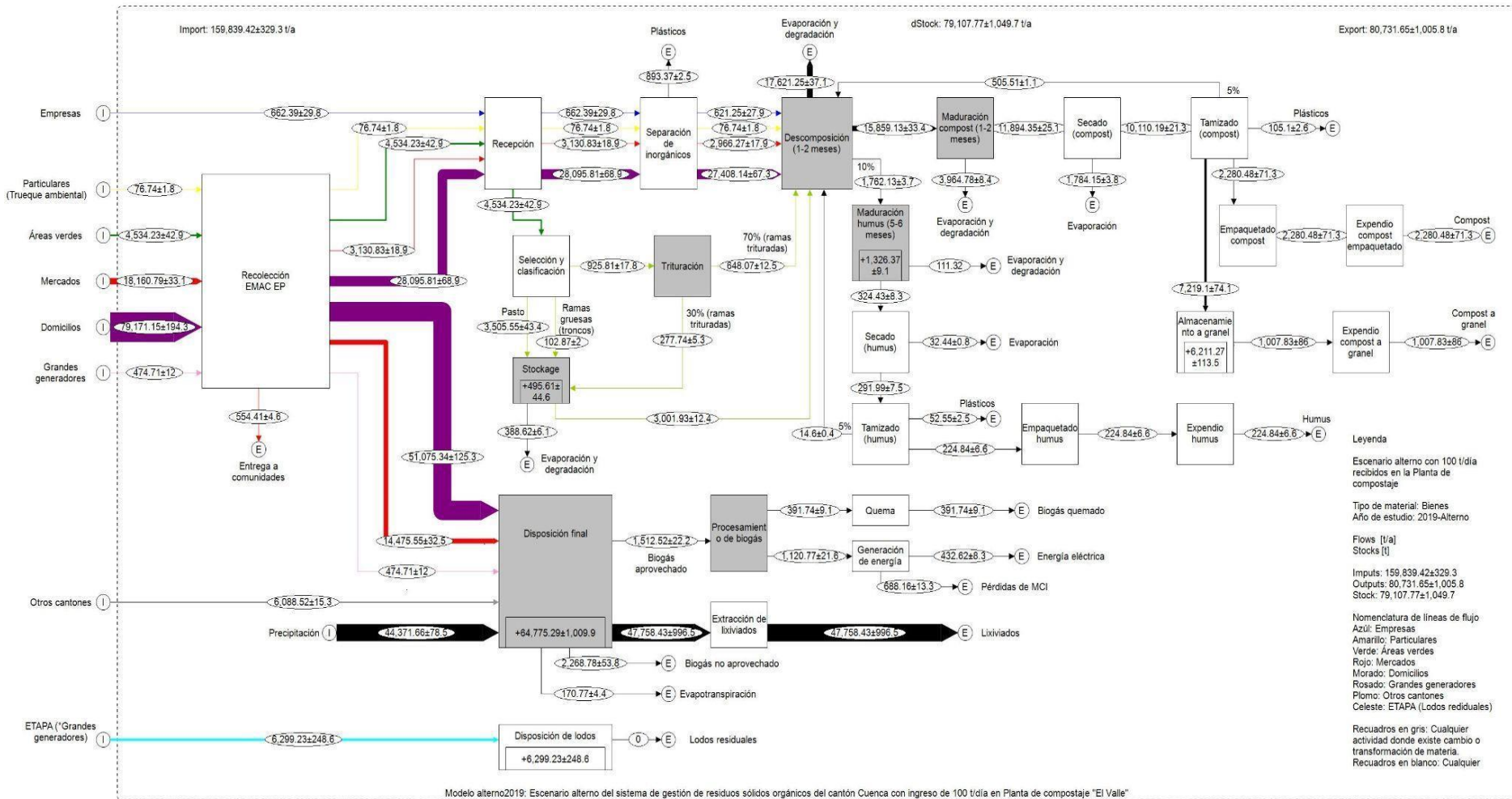


Figura 17. Escenario alternativo al año 2019 del cantón Cuenca - MFA.

Elaboración: Autores



### 4.3 Análisis de Estrategias

El análisis de estrategias permitió elaborar en primera instancia la matriz de puntos críticos – hotspots de la gestión integral de RSO (véase Tabla 17), donde se reconocen las ineficiencias de cada proceso en términos de prioridad (alta, media y baja). La matriz de hotspot identificó que los procesos que requieren atención de prioridad alta (requieren ser mejorados de forma urgente) corresponden a:

- **Descomposición inicial:** Este proceso se categoriza de prioridad alta ya que posee un tiempo de retención prolongado de 1 a 2 meses y se pierde energía en un 50% en forma de evaporación y degradación debido a que no cuenta con un sistema de aprovechamiento de los gases que se generan en la degradación de RSO. Además, este proceso no mantiene un registro periódico del control de parámetros como temperatura, humedad, pH y relación C/N.
- **Disposición final:** Este proceso se categoriza de prioridad alta debido a que el tiempo de retención del material orgánico es indefinido, es decir, el material se acumula con el paso del tiempo sin dirigirse a otro proceso. Esta acumulación de material provoca una disminución de vida útil del relleno sanitario de Pichacay y por ende una mayor generación de gases de vertedero y lixiviados. De igual manera, es evidente que en este proceso existe una pérdida significativa de energía que corresponde al 60%, tan solo el 40% pasa al proceso de aprovechamiento de biogás, por lo que se identifica una baja productividad de energía, considerando la cantidad de biogás que ingresa a la planta de aprovechamiento de biogás con respecto a la energía (en masa) obtenida se puede identificar una eficiencia del 19%.
- **Disposición de lodos:** Este proceso se identificó de prioridad alta debido a que los lodos residuales se acumulan en las instalaciones del relleno sanitario de Pichacay (espacio delimitado para descarga de lodos residuales) sin ningún método de aprovechamiento definido que busque recuperar su energía o material. En este sentido, se pierde energía del material orgánico en su totalidad, disminuye el espacio de almacenamiento y genera una liberación de gases a la atmósfera (vapor de agua) que no son aprovechados.

De acuerdo a la Tabla 17, se observa que el proceso de *disposición de lodos* tiene la puntuación más elevada en los aspectos hotspots. Sin embargo, el estudio prioriza su análisis en la *descomposición inicial* y *disposición final* ya que, si bien los lodos residuales no son



recuperados, ese flujo está apartado de los demás flujos orgánicos, y en la actualidad se trata como un RSU. Además, de acuerdo a las visitas de campo realizadas, se constató que se realizan pruebas iniciales para determinar el tratamiento idóneo de lodos residuales que no se encuentre asociado a la Planta de compostaje. En cambio, la *descomposición inicial* requiere intervención de mejoramiento ya que la EMAC EP plantea aumentar su capacidad de tratamiento y con ello, se incrementa sustancialmente sus pérdidas de energía conforme aumenta el material orgánico en la Planta de compostaje. Esto se evidencia en el escenario alterno 2019, donde la pérdida de energía aumenta de 3 711 t/año a 17 621 t/año. Así mismo, el material orgánico que se dirige a *disposición final* (el último eslabón de la jerarquía de gestión de residuos). El relleno sanitario requiere un tratamiento que aproveche los RSO como productos revalorizados.

De manera similar, se identificó que los procesos que requieren atención de prioridad media (requieren ser mejorados, pero no de forma urgente) son los procesos de *extracción de lixiviados, estocado, maduración de compost, maduración de humus, almacenamiento a granel, aprovechamiento de biogás, expendio, selección y clasificación, separación de inorgánicos y trituración* debido a que no manifiestan pérdidas significativas de materia o energía, pero si tienen stock o retienen el material por períodos de 1 a 6 meses debido a la falta de espacio. Además, a pesar de ser procesos consolidados a través del tiempo debido a la experiencia de los técnicos que operan tanto en la Planta de compostaje como en el relleno sanitario de Pichacay, requieren mejoras en aspectos técnicos como en la recolección de datos de los parámetros físico-químicos del material, volteos al menos dos veces por semana en la *maduración*, mejorar el proceso de *trituración* de ramas gruesas con el fin de tener un control en los factores físicos (temperatura y humedad) que influyen en las condiciones del material. También, es propicio mencionar que la *selección y clasificación* y la *separación de inorgánicos* son procesos poco definidos, es decir, no cuentan con consideraciones técnicas para su óptimo desarrollo.

Del mismo modo, se identificó que los procesos de prioridad baja (se puede mejorar, pero no es esencial) son la *recepción, secado de compost, secado de humus, tamizado de compost, tamizado de humus y empaquetado* debido a que no retienen el material por periodos prolongados de tiempo, no presentan pérdidas significativas de energía y sobretodo cuentan con instrumentos y equipos adecuados para su desarrollo correcto.



Finalmente, la matriz de hotspots se complementa con las recomendaciones identificadas para las debilidades de cada proceso. En este sentido, se evidencia que las recomendaciones para los procesos que requieren atención de prioridad alta están sujetos a tratamientos de aprovechamiento alternas al compostaje. Esto debido a que las pérdidas de energía resultan potencialmente aprovechables mediante sistemas cerrados que favorecen en la captura de biogás, tiempo de retención y el control de parámetros como temperatura y humedad de la descomposición del material, mientras que para los procesos que requieren atención de prioridad media y baja se sujetan a aspectos técnicos del proceso


 Tabla 17. *Matriz de puntos críticos (hotspots) de los procesos unitarios del sistema de gestión de residuos sólidos orgánicos del cantón Cuenca.*

Proceso	Aspectos de Hotspot				Análisis entre escenario 2019 y escenario alterno 2019	Recomendación
	Pérdida de masa y energía	Tiempo de retención	Control operativo de proceso	Puntuación		
Descomposición inicial	3	2	2	7	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pérdida de energía: 3 712 t/año y 17 621,25 t/año (alterno).</li> <li>2. Tiempo de retención: 1 a 2 meses, presenta stock momentáneo.</li> <li>3. Proceso poco definido y sin control de parámetros periódicos.</li> </ol>	Implementación de un biodigestor para evitar las pérdidas de energía, acortar tiempos de descomposición y ahorrar espacio para la descomposición.
Disposición final	3	3	2	8	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pérdida de energía: 3 027,96 t/año y 2 439,5 t/año (alterno).</li> <li>2. Tiempo de retención indefinido: Stock de 80 398,77 t/año y 64 775,29 t/año (alterno).</li> <li>3. Proceso poco definido y sin control de parámetros.</li> </ol>	Impulsar programas de concientización a la ciudadanía en temas de clasificación y separación en la fuente de residuos orgánicos para que puedan ser aprovechados en tratamientos como compostaje comunitario.
Disposición de lodos residuales	3	3	3	9	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El proceso presenta pérdida de energía.</li> <li>2. El tiempo de retención de lodos es indefinido, se almacena 6 229 t/año de lodos sin utilidad.</li> <li>3. Proceso no definido.</li> </ol>	Incorporación controlada de lodos residuales al proceso de compostaje municipal o de manera alterna la implementación de un sistema de digestión anaerobia para su tratamiento como biorreactor o biodigestor.
Extracción de lixiviados	1	2	2	5	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El proceso no presenta pérdida de energía.</li> <li>2. Tiempo de retención inferior a 1 mes, Stock momentáneo en piscinas de lixiviados.</li> <li>3. Proceso poco definido y sin control de parámetros.</li> </ol>	La disminución de RSO provoca a su vez, una disminución progresiva en la generación de lixiviados, metano y dióxido de carbono, también se reduce la cantidad de lixiviados mediante la implementación de una cobertura que impida la infiltración de la precipitación.



estocado	1	2	3	6	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pérdida de energía: 388,62 t/año</li> <li>2. El tiempo de retención varía de 2 a 4 semanas, Stock momentáneo.</li> <li>3. Proceso no definido.</li> </ol>	Mejorar el proceso de estocado en temas de espacio y consideraciones técnicas que ayuden a acondicionar el material de áreas verdes para el compostaje.
Maduración compost	2	2	2	6	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pérdida de energía: 835,19 t/año y en alterno 3 964,78 t/año.</li> <li>2. El tiempo de retención varía de 1 a 2 meses, stock momentáneo.</li> <li>3. Proceso definido y no cuenta con un control de parámetros.</li> </ol>	Controlar la temperatura y la humedad de las pilas cada semana, facilitando así la necesidad de añadir o eliminar humedad al proceso, esto facilita que la estabilización del material se mantenga constante
Maduración Humus	3	2	1	6	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El proceso pierde 111,32 t/año de materia.</li> <li>2. Tiempo de retención entre 5 a 6 meses (depende del tipo de material). Existe un stock momentáneo de 189,85 t/año y en alterno 1 326,37 t/año.</li> <li>3. Proceso definido.</li> </ol>	Mejorar el proceso mediante aireación periódica adecuada y el control del número de lombrices en cada lecho logrando establecer una relación exacta sobre la cantidad de lombrices, la cantidad de biomasa requerida y el material maduro.
Almacenamiento a granel	1	2	1	4	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El proceso no presenta pérdida de energía.</li> <li>2. El proceso puede tener un tiempo de retención de 1 a 4 meses. El proceso mantiene un stock momentáneo de 1 300 t/año y en alterno 6 211 t/año. Se entrega a granel 0.82 t/día al público.</li> <li>3. Proceso definido.</li> </ol>	El proceso de almacenamiento está directamente ligado con el tiempo de salida (venta o entrega para áreas verdes) de compost y humus, siendo favorable mejorar el expendio del compost a través de nuevos convenios.
Aprovechamiento de Biogás	3	1	1	5	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pérdida de energía: 486,23 t/año de biogás y en Esc. alterno 391,74 t/año.</li> <li>2. No existe stock durante el aprovechamiento de biogás.</li> <li>3. Proceso definido, cuenta con un control de parámetros.</li> </ol>	El sistema de aprovechamiento de biogás cuenta con el aporte de celdas emergentes nuevas, es preferible mejorar el sistema de captura de biogás.



Expendio	1	1	2	4	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El proceso no presenta pérdida de energía.</li> <li>2. El tiempo de retención depende de la venta del compost y humus. No se presenta stock.</li> <li>3. Proceso poco definido.</li> </ol>	Expandir el mercado de ventas de compost mediante nuevos convenios como por ejemplo el sector agropecuario productor, estableciendo acuerdos que fortalezcan la matriz productiva en el cantón Cuenca
Selección y Clasificación	1	1	2	4	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. No existe pérdida de energía.</li> <li>2. No existe tiempo de retención, el material es separado y clasificado diariamente. No existe presencia de stock.</li> <li>3. Proceso poco definido.</li> </ol>	Implementar un proceso definido como selección y clasificación del material proveniente de áreas verdes para destinar adecuadamente las ramas, pasto y arbustos hacia trituración y estocado.
Separación de inorgánicos	1	1	3	5	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. No existe pérdida de energía.</li> <li>2. El tiempo de retención es de menos de una semana. No existe presencia de stock.</li> <li>3. Proceso no definido.</li> </ol>	Implementación de maquinaria para una separación de plásticos de forma mecanizada.
Trituración	1	1	2	4	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. No existe pérdida de energía.</li> <li>2. El tiempo de retención es de 1 a 3 días. No existe presencia de stock</li> <li>3. Proceso poco definido, cuenca con control de parámetros.</li> </ol>	Adquirir una maquinaria de trituración industrial para reducir el tamaño del material orgánico (troncos y ramas gruesas) a tamaños adecuados para el proceso de descomposición inicial.
Recepción	1	1	1	3	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. No existe pérdida de energía.</li> <li>2. No existe tiempo de retención, el material se dirige a la zona de descargue y posterior a descomposición inicial. No existe presencia de stock.</li> <li>3. Proceso definido, cuenta con control de parámetros.</li> </ol>	Mejorar el registro de datos durante el pesaje del material orgánico que ingresa a la Planta de compostaje mediante una base de datos rigurosa (plataforma virtual) que ayude a caracterizar el material, eliminando las bitácoras diarias en hojas de papel.
Secado compost	1	1	1	3	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. El proceso pierde 375,83 t/año (15%) por evaporación y en Esc. alterno 1 784,15 t/año.</li> <li>2. El tiempo de retención no sobrepasa los dos meses. No existe presencia de stockt</li> <li>3. Proceso definido.</li> </ol>	La aireación del material en el proceso de secado debe ser controlada mediante una máquina volteadora para que el material pierda la humedad en exceso.



Secado humus	1	1	1	3	<ol style="list-style-type: none"><li>1. El proceso pierde 7 t/año (10%) por evaporación y en Esc. Alternó 32,44 t/año.</li><li>2. El tiempo de retención es menor a un mes. No existe presencia de stock</li><li>3. Proceso definido.</li></ol>	La aireación del material en el proceso de secado debe ser controlada mediante una máquina volteadora para que el material pierda la humedad en exceso.
Tamizado compost	1	1	1	3	<ol style="list-style-type: none"><li>1. No existe pérdida de masa o energía</li><li>2. No existe tiempo de retención. No existe stock, pero la máquina no tamiza diariamente.</li><li>3. Proceso definido.</li></ol>	Mejorar el proceso de separación de inorgánicos al inicio del proceso de compostaje reduciría la cantidad de micro plásticos en el tamizaje.
Tamizado humus	1	1	1	3	<ol style="list-style-type: none"><li>1. No existe pérdida de masa o energía</li><li>2. No existe tiempo de retención. No existe stock, pero la máquina no tamiza diariamente.</li><li>3. Proceso definido.</li></ol>	Mejorar el proceso de separación de inorgánicos al inicio del proceso de compostaje reduciría la cantidad de micro plásticos en el tamizaje.
Empaquetado	1	1	1	3	<ol style="list-style-type: none"><li>1. No existe pérdida de energía</li><li>2. Si bien el proceso no presenta tiempo de retención, parte del material se almacena a granel. El proceso no presenta stock sino en los procesos anteriores como maduración</li><li>3. Proceso definido.</li></ol>	Establecer nuevas presentaciones de empaques de humus y compost.

Elaboración: Autores.





#### 4.3.1 Evaluación de estrategias de mejoramiento de los procesos críticos del sistema de gestión de los residuos sólidos orgánicos

Se identificó que el biodigestor es el tratamiento más adecuado para mejorar el proceso de *descomposición inicial* catalogado como “*crítico*” ya que al ser un sistema cerrado permite la recuperación de energía mediante la captura del biogás generado, el cual puede ser aprovechado para la generación de energía eléctrica, térmica o calórica. También, permite controlar los parámetros que aceleran la degradación del material orgánico, reduciendo el tiempo de retención de 4 - 6 meses a 30 días. Además, se obtiene digestato como subproducto de la descomposición que puede ser usado como abono orgánico en el sector agrícola para la recuperación de suelos. Esta tecnología registra una eficiencia de tratamiento para RSO del 70%. Varias consideraciones adicionales se pueden apreciar en el *Anexo 6*, donde se manifiestan casos de estudio de la aplicación del uso de biodigestores para el tratamiento de RSO.

Por otro lado, se identificó que el uso del biorreactor puede acelerar el compostaje de RSO ya que está provisto de un mecanismo de agitación, dispersión y aireación, así como de sistemas para lograr el control y una mayor manipulación de las variables (pH, C/N, temperatura, humedad, etc.). Sin embargo, a diferencia de los biodigestores esta tecnología se utiliza únicamente para mejorar la *descomposición inicial* ya que el proceso posterior (*maduración*) se realiza al aire libre o en naves abiertas. De tal manera, los productos que genera esta tecnología como el biogás y el compost se obtienen en menor tiempo, de 4 - 6 meses a 45 días. Esta tecnología puede llegar a tener una eficiencia del 70 - 80%. Así también, se puede apreciar en el *Anexo 7* casos de estudio que evidencian la aplicación del uso de biorreactores para el tratamiento de RSO.

El uso de biodigestores y biorreactores son adecuados para tratar flujos constantes de RSO ya que por sus características el tratamiento se realiza en menor tiempo que los sistemas abiertos, por tal motivo son los más utilizados a nivel industrial. De igual manera, estas tecnologías permiten optimizar el espacio para el tratamiento de residuos y reducen la carga de emisiones al medio ambiente tanto al aire, agua y suelo. Además, tienen la capacidad de tratar residuos orgánicos provenientes de mercados, domicilios, áreas verdes y en especial lodos residuales provenientes de depuradoras, lo cual permiten dar solución al proceso de *disposición de lodos* que actualmente no mantiene ningún método de tratamiento.



En lo referente al proceso de *Disposición final* en el relleno sanitario de Pichacay catalogado como “crítico”, se identificó que el compostaje comunitario reduce la cantidad de residuos orgánicos que ingresan al relleno y por ende favorece el aumento de su vida útil. También, de manera indirecta evita costos por recolección, tratamiento y disposición final. Este tratamiento no sólo sirve para prevenir y gestionar los RSO a nivel local, sino que se muestra como una buena herramienta pedagógica en materia de educación ambiental sobre temas transversales como el consumo responsable o la separación selectiva de los residuos en los hogares y con ello, fomentar la conciencia ecológica de los participantes en la relación RSO, abono, cultivo de plantas y naturaleza. De tal manera, los participantes evidencian in situ la transformación de la materia orgánica en abono y cómo actúa ésta sobre los cultivos, esto se corrobora en las experiencias identificadas en *Anexo 8*.

Con base en los beneficios que brinda este tratamiento la EMAC EP, en el cantón Cuenca, desde octubre de 2012 a través del Plan Piloto de Recolección de la “Funda Verde” en domicilios, implementó el compostaje comunitario en la parroquia Santa Ana con una participación inicial de 12 familias. Durante el año 2016, la comunidad de Santa Ana recibió 60 toneladas al mes, mientras que para el año 2020 se implementa el uso de la funda verde en la ciudadela Lagunas del Sol con el objetivo de socializar el piloto, el cual dió como resultado la participación del 46% de familias con una generación de 1,85 kg/día (en promedio) de material orgánico durante 27 días de muestreo, lo que demuestra que se puede aplicar para la población cuencana este tipo de medidas de manera comunitaria como una alternativa favorable para aprovechar los RSO en la fuente, siempre y cuando la normativa y las organizaciones gubernamentales apoyen estas iniciativas. A continuación, se presenta la Tabla 18 con información detallada sobre los criterios de evaluación de estrategias en base al tipo de tratamiento aplicado para aprovechar RSO.



Tabla 18: *Criterios de evaluación de las estrategias de mejoramiento de los procesos críticos del sistema de gestión de residuos orgánicos.*

Criterio	Sub criterio	Variable	Subvariable	Compostaje abierto Municipal	Biodigestor continuo (Húmedo - semihúmedo)	Biorreactor vertical continuo	Compostaje comunitario	Análisis	
Técnico	Tipo de proceso	Presencia de O <sub>2</sub>	Aeróbico	x		x	x	La presencia de O <sub>2</sub> favorece en 3 procesos de tratamiento, mientras que el biodigestor no requiere presencia de O <sub>2</sub>	
		Ausencia de O <sub>2</sub>	Anaeróbico		x				
	Residuos domiciliarios	Residuos de mercados	Desperdicios alimenticios	Frutas	x	x	x	x	Los desperdicios alimenticios pueden ser aprovechados por los 4 tratamientos. Los materiales vegetales como legumbres, frutas y desperdicios de comida, liberan muchos ácidos orgánicos y tienden a acidificar el medio.
				Verduras	x	x	x	x	
				Cáscaras	x	x	x	x	
	Tipo de material	Residuos de depuradoras	Lodos residuales			x	x		El aprovechamiento de lodos residuales puede darse mediante biodigestores y biorreactores y depende principalmente de la temperatura máxima del sistema que pueda alcanzar.
		Excretas		Aviar		x	x		Las excretas de animales son ampliamente utilizadas para generar biogás en biodigestores, especialmente excretas avícolas.
				Canino		x	x		
		Residuos Verdes		Pasto	x	x	x	x	Cuando hay un exceso de nitrógeno en el material de origen, se produce amoníaco alcalinizando el medio. Las ramas no son tan utilizadas en biodigestores ya que contienen lignina, por un lado, no genera biogás
				Ramas	x		x	x	
Viruta	x			x	x	x			



	Residuos de empresas	Tripas de pollos	x	x	x		considerable y por otro, su degradación puede superar el tiempo de retención del material.	
Parámetros de entrada del tipo de material	Características del material	Humedad	40% - 60%	Saturado	~40%	~40% - 60%	El porcentaje de humedad para digestión aeróbica se encuentra dentro del rango de 40% a 60%, mientras que en la digestión anaeróbica se recomienda mezclar el material fresco con agua de depuradoras.	
		pH	6,5 - 8,0	6,8 - 7,4	4 - 9	< 8,8	El biorreactor puede admitir residuos con pH ácido. Sin embargo, todos los tratamientos requieren un pH neutro para obtener buenos resultados.	
		Nitrógeno total	2,5-3%	0 - 1%	0,26 - 0,5%	-	El nitrógeno se obtiene principalmente de residuos verdes (pasto). En biodigestores es necesario que exista una mayor concentración de nitrógeno en comparación con composteras abiertas o biorreactores.	
		Relación C/N	25:1 - 35:1	60C: 15N: 5P : 1S	25:1 - 35:1	25:1 - 35:1		
		Tamaño de material	3 a 5 cm	10 a 25 mm	3,5 a 20 cm	<25 cm	Las partículas demasiado finas crean poros pequeños que se llenan de agua, facilitando la compactación del material y un flujo restringido del aire, produciéndose anaerobiosis.	
Diseño	Consideraciones del tratamiento	Nivel de emisiones atmosféricas	Porcentaje en masa de contaminante atmosférico reducido (CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O)	50%	70%	70%	50%	La reducción de CO <sub>2</sub> puede llegar a ser del 70% en biodigestores o biorreactores, por otro lado, en el compostaje abierto la reducción de CO <sub>2</sub> puede ser del 50%, esto se da por el limitado control de parámetros, las emisiones de biogás son emitidas directamente al ambiente lo que provoca una pérdida de energía que puede ser aprovechable.
		Tiempo	Tiempo de retención de sólidos	4 a 6 meses	30 días	25 días	4 meses	El tiempo de retención puede variar significativamente si se utilizan sistemas abiertos versus sistemas cerrados, los sistemas



	Tiempo de activación	18,2 días	1 día	1,5 días	18,2 días	cerrados pueden acortar el tiempo de retención hasta aproximadamente un mes.	
Temperatura	Temperatura máxima del sistema	60° C	40 - 45° C	70° C	50° C	La temperatura máxima depende de las necesidades, es decir, si se requiere tratar lodos residuales lo más recomendable es tratarlos en sistemas cerrados por la facilidad de controlar la temperatura.	
Eficiencia	Eficiencia del tratamiento	30%	70 %	70 - 80%	30 %	Eficiencia= (producción real/producción esperada) *100%	
Parámetros de diseño y construcción: (25 t/día)	Capacidad máxima	Capacidad máxima	No limitada por la cantidad de RSO	Limitada por cantidad de RSO	Limitada por cantidad de RSO	Limitada por espacio disponible	La capacidad máxima de tratamiento de materiales en compostaje abierto industrializado no está sujeta a límites, mientras que en los biorreactores, biodigestores y compostaje comunitario está limitada por la cantidad disponible de RSO.
		Volumen óptimo de tratamiento (25 t/día)	No limitada por la cantidad de RSO	1.188 m3	57,44 m3	-	
Producto	Tipo de Producto	Biogás		x	x		Se puede obtener biogás alrededor del 70% en biodigestores, mientras que un 30% en biorreactores.
		Compost	x			x	El compost puede ser obtenido en tres tratamientos, compostaje abierto, biorreactores y compostaje comunitario.
		Humus	x				Requiere el uso de lombrices, el proceso tarda aproximadamente 5- 6 meses
		Digestato		x			Únicamente se obtiene digestato de biodigestores que pueden ser utilizados como fertilizantes y mejoradores de suelos.

Elaboración: Autores.



## 5. Discusión

La gestión de residuos sólidos orgánicos se ha convertido en un tema de interés mundial, su mala gestión puede ocasionar impactos sociales como problemas en la salud de los seres humanos, impactos ambientales como la generación de lixiviados y emisión de gases de efecto invernadero (O'Connor, 2021; ONU, 2018) e impactos económicos como costos por el servicio de recolección y transporte de RSO. Por lo que los gobiernos, la sociedad y la academia promueven estrategias de aprovechamiento con el fin de disminuir impactos negativos asociados a problemas en la gestión (Rondón et al, 2016). Sin embargo, a pesar del creciente interés en disminuir los impactos negativos de la generación de RSO, se destaca que aspectos como el social, no cuentan con la línea base necesaria por lo que deben ser considerados en la formulación de estrategias de aprovechamiento y estudios futuros.

La Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS) es un concepto que integra diferentes prácticas como la prevención y recolección, la separación en la fuente, los tratamientos biológicos, físicos, químicos, térmicos y la disposición final (Brunner y Rechberger, 2016; Ugwu, Ozoegwu, Ozor, Agwu, y Mbohwa, 2021). Según Rondón et al, (2016) los planes de acción en términos prácticos se encuentran más enfocados en aspectos logísticos como el aumento de la cobertura de recolección de residuos y el cierre de vertederos a cielo abierto y en menor medida a conseguir la minimización de residuos en la fuente.

En Cuenca, algunos casos prácticos como los pilotos de recolección de la funda verde, trueque ambiental, programas de educación ambiental y tratamientos mecánicos de revalorización como el compostaje que impulsa la EMAC EP, tienen la finalidad de organizar e incrementar la recolección de RSO tanto en la zona urbana como rural, concientizar a la sociedad sobre un adecuado manejo de residuos en la fuente y aprovechar los RSO, por lo que permiten mejorar el sistema de gestión en temas prácticos. Además, permiten generar y levantar datos específicos para cada proceso y direccionar esfuerzos entre las partes interesadas que contribuyan a reducir los impactos ambientales (Fernando Orozco Sánchez., 2008).

El aprovechamiento de RSO favorece en la producción de abonos, mejoradores de suelos y recuperación de energía (Ugwu, Ozoegwu, Ozor, Agwu, y Mbohwa, 2021), extracción de aceites esenciales (Escalante, Santos, Rojas, y Velásquez, 2012) y producción de harinas (UAM, 2021), provocando que se generen impactos positivos tanto económicos, sociales y



ambientales. Además, se asocian a los objetivos de la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible para reducir la generación de desechos a través de la prevención, reducción, reciclado y reutilización de residuos (Manfredi, Tonini, & Christensen, 2010). Su aporte se relaciona con los alcances de ciertos objetivos de manera directa, entre ellos están el ODS 7: Energía Asequible y no Contaminante; ODS 8: Trabajo Decente y Crecimiento Económico; ODS 11 Ciudades y Comunidades Sostenibles; ODS 12: Producción y Consumo Responsable; ODS 17: Alianzas para Alcanzar los Objetivos.

Para establecer estrategias viables a nivel local, es indispensable contar con una base de datos sólida que permita analizar, sistematizar y evaluar datos cuantitativos y cualitativos para establecer un balance sobre los diferentes procesos que integran el sistema de gestión (Makarichi, Techato, y Jutidamrongphan, 2018; UNEP, 2017). En este sentido, el inventario de RSO del cantón Cuenca para el año 2019 permite conocer, ordenar y sistematizar datos de la generación de RSO, datos de los productos revalorizados como el compost, humus, biogás y datos de subproductos contaminantes. Análogamente, la información cualitativa recabada a partir de la revisión de literatura permite tener una base de datos secundarios sobre la emisión de contaminantes, factores que intervienen en el aprovechamiento de residuos y datos sobre la caracterización de RSO de las fuentes generadoras.

La calidad de la base de datos según Scarlat, Motola, Dallemand, Monforti-Ferrario, & Mofor (2015) mejora al ser depurada a través de la comparación de estudios o evaluada por los diferentes grupos sociales agrupados entre: *Generadores de residuos* como las empresas o mercados; *Gestores Ambientales* como la EMAC EP, *Estado* como el Municipio de Cuenca; *Organizaciones de la sociedad civil* como agroproductores, *Academia* como la Universidad de Cuenca y *Consumidores de productos de valor agregado* como la sociedad civil. Para el uso de datos de este estudio, la depuración de datos tuvo lugar con la participación de los técnicos de investigación del Grupo de Investigación de Economía Circular y Sostenible y técnicos de las Plantas Compostaje, Biogás y del Relleno Sanitario por parte de EMAC EP, sin embargo, la falta de relacionamiento con actores como generadores, usuarios y consumidores de productos orgánicos impidió establecer una recopilación de información asociado a las actividades de estos actores. Para Jensen et al. (2017) la disponibilidad y calidad de datos es crucial y se requiere gran cantidad de información en forma de inventarios de ciclos de vida para realizar, por ejemplo, una Evaluación de Ciclo de Vida (LCA), así como también para



elaborar un Análisis de flujo de materiales, un Análisis de flujo de sustancias (SFM) y un Análisis multicriterio.

El Análisis de flujo de materiales ayuda a identificar flujos internos de un sistema mediante el principio fundamental de la conservación de la materia y energía (Allesch y Brunner, 2015). Por tal motivo, el MFA es una herramienta útil para analizar la eficiencia de un sistema de gestión de residuos (Makarichi et al. (2018b); Möller, Page, y Schreiber, 2008). Además, permite la detección de pérdidas de flujos o stocks, facilitando que los tomadores de decisiones identifiquen puntos críticos ya que brindan información a nivel estratégico como la cantidad de flujos de entrada, internos y de salida, procesos identificados en cuanto a las pérdidas y stock de materiales y sustancias en cada proceso y también son útiles para declaraciones de impacto ambiental.

De este modo, el escenario *MFA 2019* para el cantón Cuenca cuentan con bajos rangos de incertidumbre debido al uso de fuentes de datos confiables verificadas mediante la evaluación cualitativa por la matriz de Pedigree y la evaluación cuantitativa por el margen de error, es importante mencionar que la falta de datos primarios en Cuenca y a nivel nacional impide generar estudios sobre el aprovechamiento de RSO, por lo que el uso de datos secundarios resulta imprescindible para establecer el balance de masa en un MFA. De los 171 520,55 t de RSU generados en el año 2019, el 67.32% corresponde a RSO de los cuales tan solo el 4,89% (8 404,18 t/año) fueron aprovechados, mientras que el 92, 24% (106 509,16 t/año) de RSO fueron dispuestos en el relleno sanitario de Pichacay, generando gases de relleno que paulatinamente se aprovechan para la generación de biogás, pero por otro lado, disminuye la vida útil y genera la necesidad de ampliar el relleno sanitario a una tercera fase en el 2022 (EMAC, 2020). Sin embargo, se requiere que a futuro se considere la gestión informal de RSO ya que aún existe un déficit de recolección de RSO en un 7.4% en la recolección (EMAC, 2019).

En este contexto, el escenario *MFA Alternativo 2019* resulta un insumo relevante para analizar acciones viables de aprovechamiento de RSO. Este escenario se basó en las visiones futuras de EMAC EP, que plantea redireccionar el flujo de RSO generados en los domicilios de Cuenca para incrementar el tratamiento a 100 t/día en la Planta de Compostaje y con ello incrementar la generación de abonos orgánicos a un 78,75%, evitando que 104 058,56 m<sup>3</sup> de residuos domiciliarios se dispongan en el relleno sanitario. Sin embargo, es importante mencionar que el sistema actual de la Planta de compostaje no puede soportar el incremento de material ya





que se plantea mantener el tratamiento de aprovechamiento actual. Con la finalidad de identificar mejoras en los procesos, las recomendaciones que presentamos en este documento, se enfocan en la recuperación de materiales y energía, acortar tiempos de retención y tecnificar los procesos.

El análisis de hotspots a través de la matriz de hotspot destaca que los procesos de descomposición inicial, disposición final y disposición de lodos residuales requieren atención de prioridad alta ya que pierden energía por evaporación y degradación, presentan un tiempo de retención prolongado (mantienen un stock) y no cuentan con un control de parámetros como pH, temperatura, contenido de humedad y aireación de manera periódica. Otro aspecto que se debe tener en cuenta en el sistema de gestión de RSO es la inadecuada condición de almacenamiento en la fuente o la práctica inapropiada relacionada con la mezcla de materiales frescos ya que provocan una baja eficiencia del aprovechamiento del material orgánico (Estrella-González et al., 2020).

Dentro de este orden de ideas, se analizaron posibles estrategias enfocadas a los procesos categorizados como “prioridad alta” para mejorar los procesos críticos se encuentran los biodigestores, biorreactores y el compostaje comunitario como los tratamientos más utilizados a nivel general, por sus bajos costos de implementación. La implementación de biodigestores o biorreactores requieren personal capacitado para el manejo de equipos, mientras que para el compostaje comunitario no requiere mayor capacitación. En este sentido, el tratamiento aeróbico como el compostaje y la digestión anaeróbica tienen distintos mecanismos de degradación y por lo tanto diferentes ventajas que deben ser consideradas dependiendo el contexto del lugar de implementación. Entre las ventajas de un biodigestor se identificó que el proceso de descomposición se acelera y se recupera energía, además permite tratar un mayor número de materiales. Por lo que es una alternativa viable para implementar en la ciudad de Cuenca ya que permitiría incrementar el aprovechamiento de más tipos de materiales que actualmente no son aprovechados basados en la codigestión de RSO.

A través de la revisión de literatura se identificó que la digestión anaeróbica es el tratamiento más eficiente para aprovechar RSO ya que según Lin et al, (2018) tiene el potencial de disminuir emisiones atmosféricas entre 200 y 1 200 kg de CO<sub>2</sub> eq/TM, acelera el proceso de degradación del material orgánico, permite controlar los parámetros técnicos y puede generar energía a partir del aprovechamiento del biogás generado. Mientras que tratamientos como el compostaje, vermicompostaje por ser tratamientos económicos no cuentan con la tecnificación



necesaria que facilite el análisis de información sobre el control de parámetros, procesos definidos o reducir tiempos en la producción.

Así mismo, se debe tener en cuenta que la producción de productos revalorizados representa grandes desafíos independientemente al tipo de tratamiento de RSO (Edjabou et al., 2016), tales como: la disponibilidad constante de suministro de material orgánico, la falta de apoyo burocrático y administrativo, la falta de disponibilidad de datos, la falta de participación social y el escaso número de compradores de productos revalorizados (Paes et al., 2019). En Cuenca, los RSO que son aprovechados de manera formal en la Planta de compostaje y la planta de aprovechamiento de biogás genera beneficios en varios aspectos: en lo económico, impulsa nuevos modelos de negocios para recuperar la fracción orgánica; en lo social, la participación de diferentes actores y lleva a cabo las acciones de participación y cooperación; en lo ambiental, reduce las emisiones de metano y aprovecha el biogás como biocombustible. Sin embargo, los productos revalorizados no cuentan con un mercado apropiado por la falta de consumo.

Por un lado, la producción de humus tan solo alcanza una producción anual de 47,77 t/año, siendo abonos menos utilizados en la agricultura por no cumplir con las necesidades de los productores orgánicos. lo que demuestra la necesidad de incrementar la participación e integración de actores claves para incrementar la venta de abonos orgánicos. Por otro lado, se identificó que existen factores limitantes en el compostaje tales como: la inadecuada definición de mercados, los costos de operación y transporte, poca aceptación para lograr la separación en origen, su recolección selectiva, la falta de mantenimiento de equipos y tecnologías inadecuadas, la falta de vinculación con proyectos estratégicos de recuperación de suelos y la poca participación de los sectores formales.

Finalmente, se identificó que el uso de biodigestores puede ser viable para dar solución a la pérdida de energía, disminuir el tiempo de retención y controlar parámetros en el proceso productivo de compostaje. Sin embargo, lo importante es seguir escalando en la jerarquización de la gestión de RSO y generar una reducción en la fuente, el uso de RSO como alimentos para animales y de esta manera alcanzar la minimización de la generación de residuos. En este contexto, conceptos como el de Economía Circular (EC) permiten establecer estrategias que sean sostenibles en el tiempo, cubriendo las necesidades sobre los aspectos sociales, económicos y ambientales (Almeida-Guzmán & Díaz-Guevara, 2020). En este contexto, mencionamos que investigaciones de Ellen MacArthur Foundation mencionan que los sistemas



circulares favorecen que los nutrientes biológicos sean reintroducidos en la biosfera de manera segura facilitando la descomposición de materiales orgánicos.

La EC propone un conjunto de acciones en torno a una eficiente gestión de residuos, que permitan la transición hacia un modelo de economía circular a través del desarrollo de estrategias para reducir el consumo de recursos, maximizar el uso de recursos, garantizar un ambiente saludable y contribuye de forma integral al logro de los compromisos establecidos en la Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (UNEP, 2018). Cuando un producto retorna a la cadena de producción al fin de su vida útil y sus materiales son usados para fabricar nuevos y valiosos productos, está nutriendo al sistema de una forma efectiva (McDonough & Braungart, 2002). Según la Fundación Ellen MacArthur, la productividad de la tierra y el suelo llegan a costar 40 mil millones de dólares anuales, esto sin considerar costos por fertilizantes químicos u orgánicos, pérdida de biodiversidad por la expansión agroindustrial y con esto la pérdida de paisaje natural. Siendo la EC un motor valioso para impulsar el aprovechamiento de RSO a través de la digestión anaeróbica o procesos de compostaje para reducir la necesidad del uso de nutrientes adicionales ya que el uso sistémico (aprovechamiento) de RSO disponibles podría ayudar a regenerar sistemas vulnerables (Ellen MacArthur Foundation, 2015).

## 6. Conclusiones

- El análisis de datos de los residuos sólidos generados en el cantón Cuenca durante el año 2019 destaca que los RSO se generan en mayor medida con un 67,32% frente a otros tipos de residuos (plásticos, metales, biopeligrosos, entre otros). Además, permitió elaborar un inventario de RSO que incluye a todos los generadores identificados en el cantón, los cuales para el estudio se agruparon en siete: *empresas, particulares (Trueque ambiental), mercados, grandes generadores, domicilios, áreas verdes y otros cantones*. Siendo *domicilios* el mayor generador de RSO con un porcentaje del 68,57%.
- Si bien en Cuenca, la EMAC cuenta con datos de recolección formal de residuos, éste no se encuentra disponible de manera depurada y ordenada. En este sentido, disponer de un inventario de RSO es relevante en el contexto local ya que permite presentar datos de manera organizada, lo cual contribuye como una base de datos para una gran variedad de estudios.



- La información primaria usada al ser evaluada a través de la matriz de pedigree y el margen de error fue catalogada de buena calidad ya que los datos depurados provienen de la fuente principal EMAC EP. Además, la información secundaria se obtuvo con base en la revisión bibliográfica de artículos científicos, guías y tesis de fuentes confiables.
- La aplicación de un MFA en la gestión de RSO se constituye como una herramienta viable para la toma de decisiones ya que permite identificar flujos internos, pérdidas y stocks generados en los procesos que integran el sistema del cantón Cuenca. El MFA permitió identificar que el sistema cuenta con un stock de 88 684,8 t/año, siendo el 55% de todo el material de ingreso.
- Actualmente la gestión integral de RSO cuenta con puntos críticos que provocan un bajo aprovechamiento, especialmente se identificó que los procesos de *descomposición inicial*, *disposición final* y *disposición de lodos* requieren atención prioritaria para disminuir la pérdida de energía de los residuos y la contaminación ambiental, así también, para mejorar la eficiencia del aprovechamiento de RSO en los productos revalorizados como el compost y humus, los cuales alcanzan tan solo el 10%.
- El análisis de estrategias enfocadas al aprovechamiento de RSO destaca el uso de biodigestores, biorreactores y el compostaje comunitario como alternativas de mejoramiento para los procesos identificados de prioridad alta en beneficio del sistema de gestión actual. El compostaje comunitario como medida alterna permite una disminución de los RSO hacia la *disposición final*. La aplicación de biodigestores en los procesos de *descomposición inicial* de la Planta de compostaje y de *disposición final* del relleno sanitario de Pichacay aumentaría la eficiencia del aprovechamiento de RSO ya que permite disminuir la pérdida de energía recuperando el biogás, reducir los tiempos de retención del material que se mantiene en stock y controlar los procesos en base a una tecnificación que permite generar datos útiles para estudios futuros. Así mismo, el uso de un biorreactor en el proceso de descomposición inicial permite acelerar y controlar el proceso de recuperación de RSO.
- El análisis de estrategias para el Cantón Cuenca presentado permite tener un acercamiento a la aplicabilidad de los tratamientos más utilizados por los gestores ambientales con la finalidad de desarrollar información útil para futuros proyectos enmarcados en la gestión integral de residuos sólidos orgánicos. La visión por parte de los tomadores de decisiones (EMAC EP), sobre la implementación de estrategias y



proyectos que desarrollan los diferentes actores es muy relevante, de esta manera el objetivo y alcance de las acciones permiten escalar hacia la circularidad en la gestión de residuos sólidos.

## 7. Recomendaciones

- Es importante determinar las incertidumbres de cada flujo ya que esto permite reducir el margen de error en el análisis.
- El levantamiento de información en base a entrevistas y conversaciones debería contar con una metodología propia en estudios futuros.
- Para elaborar un inventario de RSO se recomienda que se levante información sobre las sustancias contaminantes como el Dióxido de Carbono, Metano, Agua lo que en este documento se consideró como pérdidas.
- En cuanto a la elaboración de un MFA se recomienda depurar la información de datos de manera constante para que no existan inconsistencias en el análisis.
- La generación de un análisis de flujo de materiales debe estar acompañada por un análisis de sustancias que permita cuantificar en su totalidad los flujos (inputs y outputs) para reducir el stock y las pérdidas por la falta de datos y evitar datos erróneos.
- Para analizar estrategias se recomienda el uso de información cualitativa y cuantitativa.
- Se recomienda identificar a las partes interesadas que tienen participación en el sistema de gestión con la finalidad de disponer información primaria de actores que en este estudio no se identificó, como los compradores de los productos valorizados (productos circulares).
- Para futuros estudios se recomienda realizar el diseño de biodigestores con una capacidad de tratar 100 toneladas al día.
- Considerando que los abonos orgánicos no tienen una acogida en el mercado, se recomienda evaluar cómo incrementar las ventas de los productos revalorizados.
- Se recomienda realizar un pilotaje para la recuperación de energía con un biodigestor con la finalidad de obtener datos en una base de datos integrada y de acceso libre.



## 8. Referencias

- Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. M. (2018). Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(4), 1275-1290. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.07.003>
- Aguilar, M. G., Jaramillo, J. F., Ddiba, D., Páez, D. C., Rueda, H., Andersson, K., y Dickin, S. (2022). Governance challenges and opportunities for implementing resource recovery from organic waste streams in urban areas of Latin America: insights from Chía, Colombia. *Sustainable Production and Consumption*, 30, 53-63. doi:10.1016/j.spc.2021.11.025
- Ahmed, M., Ahmad, S., Tariq, M., Fatima, Z., Aslam, Z., Raza, M. A., Iqbal, N., Akmal, M., Hassan, F., Abbasi, N. A., & Hayat, R. (2020). Wastes to be the source of nutrients and energy to mitigate climate change and ensure future sustainability: Options and strategies. *Journal of Plant Nutrition*, 43(6), 896-920. <https://doi.org/10.1080/01904167.2020.1711944>
- Almeida-Guzmán, M., & Díaz-Guevara, C. (2020). Economía circular, una estrategia para el desarrollo sostenible. Avances en Ecuador. *Estudios de la Gestión: revista internacional de administración*, 8, 34-56. <https://doi.org/10.32719/25506641.2020.8.10>
- Allesch, A., y Brunner, P. H. (2015). Material Flow Analysis as a Decision Support Tool for Waste Management: A Literature Review: MFA for Waste Management: A Literature Review. *Journal of Industrial Ecology*, 19(5), 753-764. doi:10.1111/jiec.12354
- Arena, U., & Di Gregorio, F. (2014). A waste management planning based on substance flow analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, 85, 54-66. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2013.05.008>
- Bajpai, P. (2020). Biomass conversion processes. En P. Bajpai (Ed.), *Biomass to Energy Conversion Technologies* (pp 41-151). Elsevier. doi:10.1016/B978-0-12-818400-4.00005-0
- Barragán, A., Arias, P., & Terrados, J. (2016). FOMENTO DEL METABOLISMO ENERGÉTICO CIRCULAR MEDIANTE GENERACIÓN ELÉCTRICA PROVENIENTE DE RELLENOS SANITARIOS. *Ingenius*, 36. <https://doi.org/10.17163/ings.n16.2016.05>
- BID. (2015). Situación de la gestión de residuos sólidos en América Latina y el Caribe | Publicaciones. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Blanco, G., Santalla, E., Córdoba, V., y Levy, A. (2017). *Generación de electricidad a partir de biogás capturado de residuos sólidos urbanos: Un análisis teórico-práctico*. Inter-American Development Bank. doi:10.18235/0000644
- Brunner, P. H., & Rechberger, H. (2017). *Handbook of material flow analysis: For environmental, resource, and waste engineers* (Second Edition). CRC Press, Taylor & Francis Group.



- Bucur, A.-D., y Bucur, B. (2020). Practical Aspects Regarding Obtaining a Green Energy Source Using the Pyrolysis Method of Biodegradable Waste. *Procedia Manufacturing*, 46, 838-843. doi:10.1016/j.promfg.2020.04.013
- CEC. (2017). *Characterization and Management of Organic Waste in North America: White Paper*. Commission for Environmental Cooperation. Canadá. Recuperado a partir de <https://www.deslibris.ca/ID/10095809>
- Cecchin, A. (2017). Material flow analysis for a sustainable resource management in island ecosystems: A case study in Santa Cruz Island (Galapagos). *Journal of Environmental Planning and Management*, 60(9), 1640-1659. doi:10.1080/09640568.2016.1246997
- Cesaro, A., Conte, A., Belgiorno, V., Siciliano, A., y Guida, M. (2019). The evolution of compost stability and maturity during the full-scale treatment of the organic fraction of municipal solid waste. *Journal of Environmental Management*, 232, 264-270. doi:10.1016/j.jenvman.2018.10.121
- Celleri, R., Willems, P., Buytaert, W., y Feyen, J. (2007). Space-time rainfall variability in the Paute basin, Ecuadorian Andes. *Hydrological Processes*, 21(24), 3316-3327. doi:10.1002/hyp.6575
- CEPAL, C. E. para A. L. y el. (2016). Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios (Segunda). CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/40407-guia-general-la-gestion-residuos-solidos-domiciliarios>
- Chan, Y. H., Cheah, K. W., How, B. S., Loy, A. C. M., Shahbaz, M., Singh, H. K. G., Yusuf, N. R., et al. (2019). An overview of biomass thermochemical conversion technologies in Malaysia. *Science of The Total Environment*, 680, 105-123. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.04.211
- Chavan, S., Yadav, B., Atmakuri, A., Tyagi, R. D., Wong, J. W. C., y Drogui, P. (2022). Bioconversion of organic wastes into value-added products: A review. *Bioresource Technology*, 344, 126398. doi:10.1016/j.biortech.2021.126398
- Chávez Porras, Á., y Rodríguez González, A. (2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Academia y Virtualidad*, 9(2), 90-107. doi:10.18359/ravi.2004
- Cheela, V. R. S., Ranjan, V. P., Goel, S., John, M., y Dubey, B. (2021). Pathways to sustainable waste management in Indian Smart Cities. *Journal of Urban Management*, S2226585621000364. doi:10.1016/j.jum.2021.05.002
- Chen, S., Huang, J., Xiao, T., Gao, J., Bai, J., Luo, W., y Dong, B. (2020). Carbon emissions under different domestic waste treatment modes induced by garbage classification: Case study in pilot communities in Shanghai, China. *Science of The Total Environment*, 717, 137193. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.137193
- Ciuta, S., Tsiamis, D., y Castaldi, M. J. (2018). Chapter Four - Field Scale Developments. En S. Ciuta, D. Tsiamis, y M. J. Castaldi (Eds.), *Gasification of Waste Materials* (pp 65-91). Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-812716-2.00004-2
- Colvero, D. A., Ramalho, J., Gomes, A. P. D., Matos, M. A. A. de, y Tarelho, L. A. da C. (2020). Economic analysis of a shared municipal solid waste management facility in a



- CNC. (2019). Informe sobre mapeo de actores generadores de información a nivel territorial e identificación de fuentes de información de la competencia de desechos sólidos. (Pág. 64). Quito, Ecuador.
- Cuenca, C. (s. f.). Aprovechamiento de residuos orgánicos para la elaboración de compost y humus en el cantón Cuenca. 2.
- da Silva, L., Marques Prietto, P. D., & Pavan Korf, E. (2019). Sustainability indicators for urban solid waste management in large and medium-sized worldwide cities. *Journal of Cleaner Production*, 237, 117802. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117802>
- Dehkordi, S. M. M. N., Jahromi, A. R. T., Ferdowsi, A., Shumal, M., y Dehnavi, A. (2020). Investigation of biogas production potential from mechanical separated municipal solid waste as an approach for developing countries (case study: Isfahan-Iran). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 119, 109586. doi:10.1016/j.rser.2019.109586
- Department for Business, Energy & Industrial Strategy. (2020). *Greenhouse Gas Reporting: Conversion Factors 2019*.
- Dhanya, B. S., Mishra, A., Chandel, A. K., y Verma, M. L. (2020). Development of sustainable approaches for converting the organic waste to bioenergy. *Science of The Total Environment*, 723, 138109. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.138109
- Dhar, H., Kumar, S., y Kumar, R. (2017). A review on organic waste to energy systems in India. *Bioresource Technology*, 245, 1229-1237. doi:10.1016/j.biortech.2017.08.159
- Dhir, R. K., Brito, J. de, Lynn, C. J., & Silva, R. V. (2018). Municipal Solid Waste Composition, Incineration, Processing and Management of Bottom Ashes. En *Sustainable Construction Materials* (pp. 31-90). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100997-0.00003-8>
- dos Muchangos, L. S., Tokai, A., y Hanashima, A. (2017). Application of material flow analysis to municipal solid waste in Maputo City, Mozambique. *Waste Management & Research*, 35(3), 253-266. doi:10.1177/0734242X16678067
- Duque-Sarango, P., Cajamarca-Rivadeneira, R., Wemple, B. C., Delgado-Fernández, M. E., Duque-Sarango, P., Cajamarca-Rivadeneira, R., Wemple, B. C., et al. (2019). Estimación del balance hídrico de una cuenca andina tropical. *La Granja. Revista de Ciencias de la Vida*, 29(1), 56-69. Universidad Politécnica Salesiana. doi:10.17163/lgr.n29.2019.05
- EBE. (s.f.). *Información técnica proyecto Pichacay* (Técnico). Cuenca: EMAC-BGP ENERGY.
- Edjabou, M. E., Petersen, C., Scheutz, C., y Astrup, T. F. (2016). Food waste from Danish households: Generation and composition. *Waste Management*, 52, 256-268. doi:10.1016/j.wasman.2016.03.032





- Edwards, J., Othman, M., Crossin, E., y Burn, S. (2017). Life cycle inventory and mass-balance of municipal food waste management systems: Decision support methods beyond the waste hierarchy. *Waste Management*, 69, 577-591. doi:10.1016/j.wasman.2017.08.011
- Eljaiek-Urzola, M., Bovea, M., Cruz Sotelo, S., Mercante, I., Coutinho-Nóbrega, C., & Ibáñez Forés, V. (2016). Aplicación de la metodología de análisis de ciclo de vida para evaluar el desempeño ambiental de sistemas de gestión de residuos en iberoamérica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.05.03>
- Ellen MacArthur Foundation. (2015). *Towards a circular economy: Business rationale for an accelerated transition*. <https://ellenmacarthurfoundation.org/towards-a-circular-economy-business-rationale-for-an-accelerated-transition>
- EMAC EP. (2012). Ordenanza que regula la gestión integral de los desechos y residuos en el cantón Cuenca.
- EMAC EP. (2014). Recolección.
- EMAC EP. (2015). Servicios.
- EMAC-EP. (2018). Informe Rendición de Cuentas, Cuenca.
- EMAC-EP. (2019a). Compostaje.
- EMAC EP. (2019b). *Rendición de cuentas 2019* (p 88). Cuenca.
- EMAC EP. (2020). *Rendición de cuentas 2020* (p 58). Cuenca-Ecuador: EMAC.
- Estrella-González, M. J., López-González, J. A., Suárez-Estrella, F., López, M. J., Jurado, M. M., Siles-Castellano, A. B., y Moreno, J. (2020). Evaluating the influence of raw materials on the behavior of nitrogen fractions in composting processes on an industrial scale. *Bioresource Technology*, 303, 122945. doi:10.1016/j.biortech.2020.122945
- Fernando, S. N., Daniel, G. G., & Adeline, R. (2010). *Energía de la biomasa II (Energías renovables)*. Prensas de la Universidad de Zaragoza.
- Ferronato, N., & Torretta, V. (2019). Waste Mismanagement in Developing Countries: A Review of Global Issues. *International journal of environmental research and public health*, 16(6), 1060. <https://doi.org/10.3390/ijerph16061060>
- Forde, C. J., Meaney, M., Carrigan, J. B., Mills, C., Boland, S., y Hernon, A. (2014). Biobased Fats (Lipids) and Oils from Biomass as a Source of Bioenergy. *Bioenergy Research: Advances and Applications* (pp 185-201). Elsevier. doi:10.1016/B978-0-444-59561-4.00012-7
- GAD Cuenca. (2014). Plan ambiental de Cuenca 2014-2030: La gestión ambiental de Cuenca hacia la sostenibilidad basada en la estrategia.
- García, D., y You, F. (2017). Systems engineering opportunities for agricultural and organic waste management in the food–water–energy nexus. *Current Opinion in Chemical Engineering, Biotechnology and bioprocess engineering / Process systems engineering*, 18, 23-31. doi:10.1016/j.coche.2017.08.004



- Ghosh, A., Debnath, B., Ghosh, S. K., Das, B., y Sarkar, J. P. (2018). Sustainability analysis of organic fraction of municipal solid waste conversion techniques for efficient resource recovery in India through case studies. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 20(4), 1969-1985. doi:10.1007/s10163-018-0721-x
- Gualpa, M. (2013). *Efecto de la incertidumbre de las observaciones hidrometeorológicas en estudios hidrológicos: Zhuruca, Soldados y Mazar*. Universidad de Cuenca, Cuenca-Ecuador.
- Guascor. (2012). Potencias y especificaciones de motores Guascor a gas. *Guascor de México*. Recuperado mayo 31, 2021, a partir de <http://www.guasmex.com/Consulta.html>
- Guo, H., Wu, S., Tian, Y., Zhang, J., & Liu, H. (2021). Application of machine learning methods for the prediction of organic solid waste treatment and recycling processes: A review. *Bioresource Technology*, 319, 124114. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124114>
- Graziani, P. (2018). Economía circular e innovación tecnológica en residuos sólidos: Oportunidades en América Latina. *CAF*. Recuperado a partir de <https://scioteca.caf.com/handle/123456789/1247>
- Heidarzadeh, M. H., Amani, H., y Javadian, B. (2019). Improving municipal solid waste compost process by cycle time reduction through inoculation of *Aspergillus niger*. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 17(1), 295-303. doi:10.1007/s40201-019-00348-z
- Hettiarachchi, H., Ryu, S., Caucci, S., & Silva, R. (2018). Municipal Solid Waste Management in Latin America and the Caribbean: Issues and Potential Solutions from the Governance Perspective. *Recycling*, 3(2), 19. <https://doi.org/10.3390/recycling3020019>
- INAMHI. (2008). Archivos de Información Geográfica - Sistema Nacional de Información. Recuperado noviembre 25, 2020, a partir de <https://sni.gob.ec/coberturas>
- INAMHI. (2014). Evapotranspiración potencial. Recuperado a partir de [http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/MapasBiblioteca/2%20Evapotranspiracion\\_A0.pdf](http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/MapasBiblioteca/2%20Evapotranspiracion_A0.pdf)
- ISO 14040:2006(es), Gestión ambiental — Análisis del ciclo de vida — Principios y marco de referencia. (s.f.).
- Jain, M. S., Paul, S., y Kalamdhad, A. S. (2020). Kinetics and physics during composting of various organic wastes: Statistical approach to interpret compost application feasibility. *Journal of Cleaner Production*, 255, 120324. doi:10.1016/j.jclepro.2020.120324
- Jensen, M. B., Møller, J., y Scheutz, C. (2017). Assessment of a combined dry anaerobic digestion and post-composting treatment facility for source-separated organic household waste, using material and substance flow analysis and life cycle inventory. *Waste Management*, 66, 23-35. doi:10.1016/j.wasman.2017.03.029



- Kaza, S., Yao, L. C., Bhada-Tata, P., y Van Woerden, F. (2018). *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*. Washington, DC: World Bank. doi:10.1596/978-1-4648-1329-0
- Keller, F., Mamani Soliz, P., Seidl, L. G., Lee, R. P., y Meyer, B. (2022). Life cycle inventory data generation by process simulation for conventional, feedstock recycling and power-to-X technologies for base chemical production. *Data in Brief*, 41, 107848. doi:10.1016/j.dib.2022.107848
- Kim, S., Lee, Y., Andrew Lin, K.-Y., Hong, E., Kwon, E. E., y Lee, J. (2020). The valorization of food waste via pyrolysis. *Journal of Cleaner Production*, 259, 120816. doi:10.1016/j.jclepro.2020.120816
- Korai, M. S., Mahar, R. B., y Uqaili, M. A. (2016). Optimization of waste to energy routes through biochemical and thermochemical treatment options of municipal solid waste in Hyderabad, Pakistan. *Energy Conversion and Management*, 124, 333-343. doi:10.1016/j.enconman.2016.07.032
- Kumar, Abhishek, Yuan, Z., Kumar, M., Li, M., Mishra, S., y Kumar, Akhilesh. (2022). Bioprocess potential of Eco-friendly fungal isolates converting organic waste to bioresource. *Bioresource Technology*, 346, 126586. doi:10.1016/j.biortech.2021.126586
- Lam, M. K., Loy, A. C. M., Yusup, S., y Lee, K. T. (2019). Biohydrogen Production From Algae. *Biohydrogen* (pp 219-245). Elsevier. doi:10.1016/B978-0-444-64203-5.00009-5
- Leiton Rodriguez, N. V., & Revelo Maya, W. G. (2017). INTEGRAL MANAGEMENT OF SOLID WASTE IN THE COMPANY CYRGO SAS. *Tendencias*, 18(2), 103-121. <https://doi.org/10.22267/rtend.171802.79>
- Lett, L. A. (2014). Las amenazas globales, el reciclaje de residuos y el concepto de economía circular. *Revista Argentina de Microbiología*, 46(1), 1-2. Asociación Argentina de Microbiología.
- Le Pera, A., Sellaro, M., Bencivenni, E., & D'Amico, F. (2022). Environmental sustainability of an integrate anaerobic digestion-composting treatment of food waste: Analysis of an Italian plant in the circular bioeconomy strategy. *Waste Management*, 139, 341-351. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.042>
- Li, Y. P., Huang, G. H., Cui, L., y Liu, J. (2019). Mathematical Modeling for Identifying Cost-Effective Policy of Municipal Solid Waste Management under Uncertainty. *Journal of environmental informatics*, 34(1), 55-67-67. doi:10.3808/Jjei.201900417
- Lin, L., Xu, F., Ge, X., & Li, Y. (2018). Improving the sustainability of organic waste management practices in the food-energy-water nexus: A comparative review of anaerobic digestion and composting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 89, 151-167. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.03.025>
- Lü, F., Hua, Z., Shao, L., y He, P. (2018). Loop bioenergy production and carbon sequestration of polymeric waste by integrating biochemical and thermochemical conversion



processes: A conceptual framework and recent advances. *Renewable Energy*, 124, 202-211. doi:10.1016/j.renene.2017.10.084

- MAATE. (2018a). Actualización del plan de manejo del Parque Nacional Cajas. INSIGMA.
- MAATE. (2018b). El Código Orgánico del Ambiente (COA) – Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica.
- MAATE. (2019a). Programa Nacional para la Gestión Integral de Desechos Sólidos. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (p 71). Quito, Ecuador
- MAATE. (2020). *Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos municipales*. Ministerio del Ambiente, Agua y Transición Ecológica (Primera edición.). Quito, Ecuador.
- Manfredi, S., Tonini, D., y Christensen, T. H. (2010). Contribution of individual waste fractions to the environmental impacts from landfilling of municipal solid waste. *Waste Management*, 30(3), 433-440. doi:10.1016/j.wasman.2009.09.017
- Margallo, M., Ziegler-Rodriguez, K., Vázquez-Rowe, I., Aldaco, R., Irabien, Á., y Kahhat, R. (2019). Enhancing waste management strategies in Latin America under a holistic environmental assessment perspective: A review for policy support. *Science of The Total Environment*, 689, 1255-1275. doi:10.1016/j.scitotenv.2019.06.393
- Makarichi, L., Techato, K., & Jutidamrongphan, W. (2018). Material flow analysis as a support tool for multi-criteria analysis in solid waste management decision-making. *Resources, Conservation and Recycling*, 139, 351-365. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.07.024>
- Mayer, F., Bhandari, R., & Gäth, S. A. (2021). Life cycle assessment on the treatment of organic waste streams by anaerobic digestion, hydrothermal carbonization and incineration. *Waste Management*, 130, 93-106. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.05.019>
- McDonough, W., & Braungart, M. (2002). Design for the Triple Top Line: New Tools for Sustainable Commerce. *Corporate Environmental Strategy*, 9(3), 251-258. [https://doi.org/10.1016/S1066-7938\(02\)00069-6](https://doi.org/10.1016/S1066-7938(02)00069-6)
- Melendres Palma, A. M. (2021). Análisis del ciclo de vida de un relleno sanitario ubicado en una ciudad de la sierra ecuatoriana: ¿Representa un beneficio ambiental la recuperación del biogás para generación de electricidad? (Maestría en Ecoeficiencia Industrial). Guayaquil: Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Mohee, R., Mauthoor, S., Bundhoo, Z. M. A., Somaroo, G., Soobhany, N., y Gunasee, S. (2015). Current status of solid waste management in small island developing states: A review. *Waste Management*, 43, 539-549. doi:10.1016/j.wasman.2015.06.012
- Möller, A., Page, B., y Schreiber, M. (2008). EnviroInfo 2008: environmental informatics and industrial ecology: 22nd International Conference on Informatics for Environmental Protection: proceedings of the 22nd International Conference Environmental Informatics-- informatics for environmental protection, sustainable development, and risk management: September 10-12, 2008, *Leuphana University, Lueneburg, Germany*.



- Moya, D., Aldás, C., Jaramillo, D., Játiva, E., & Kaparaju, P. (2017). Waste-To-Energy Technologies: An opportunity of energy recovery from Municipal Solid Waste, using Quito - Ecuador as case study. *Energy Procedia*, 134, 327-336. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.537>
- Muñoz, E., y Solano, L. (2018). *Caracterización de los residuos sólidos domiciliarios generados en el cantón Cuenca, año 2015* (Informe preparado por la Empresa Pública Municipal de Aseo de Cuenca).
- O'Connor, G. (2021). Shifting the value of food and organic waste management in the food services sector in Brisbane, Australia. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 12, 200052. doi:10.1016/j.rcradv.2021.200052
- OEFA. (2016). Fiscalización ambiental en residuos sólidos de gestión municipal provincial: informe 2014-2015. Índice de cumplimiento de los municipios provinciales a nivel nacional. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – Oefa. Recuperado a partir de <http://repositorio.oefa.gob.pe/handle/20.500.12788/57>
- Oliveira, W. D., y Morais, D. C. (2021). Transitioning to a circular economy in developing countries: A collaborative approach for sharing responsibilities in solid waste management of a Brazilian craft brewery. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128703. doi:10.1016/j.jclepro.2021.128703
- Ometto, F., Karlsson, A., Ejlertsson, J., Björn, A. V., y Shakeri, S. Y. (2019). 5 - Anaerobic digestion: an engineered biological process. En M. Materazzi y P. U. Foscolo (Eds.), *Substitute Natural Gas from Waste* (pp 63-74). Academic Press. doi:10.1016/B978-0-12-815554-7.00005-2
- Ortega, J., y Calderón, S. (2009). *Guía para la elaboración de diagramas de flujo*.
- Paes, L. A. B., Bezerra, B. S., Deus, R. M., Jugend, D., y Battistelle, R. A. G. (2019). Organic solid waste management in a circular economy perspective – A systematic review and SWOT analysis. *Journal of Cleaner Production*, 239, 118086. doi:10.1016/j.jclepro.2019.118086
- Peláez-Samaniego, M. R., Garcia-Perez, M., Barriga, Martí-Herrero, J., Montero-Izquierdo, A., Dias Mayer, F., y García-Nuñez. (2015). Estado de uso de la biomasa para la producción de bioenergía, biocombustibles y bioproductos en Ecuador (pp 29-107).
- Polprasert, C., y Koottatep, T. (2017). *Organic waste recycling: technology, management and sustainability* (Fourth edition.). London: IWA Publishing.
- Porras, Á. C., & González, A. R. (2016). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Academia y Virtualidad*, 9(2), 90-107. <https://doi.org/10.18359/ravi.2004>
- RAE. (2014). Diccionario de la lengua española | Edición del Tricentenario. «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. <https://dle.rae.es/>
- Ravichandran, C., y Venkatesan, G. (2021). Toward sustainable solid waste management – challenges and opportunities. *Handbook of Advanced Approaches Towards Pollution*



*Prevention and Control* (pp 67-103). Elsevier. doi:10.1016/B978-0-12-822134-1.00003-8

- Rodríguez, J., Ospina, R., Gutiérrez, J. D., y Ovalle, H. (2007). Density and biomass of drifting aquatic macroinvertebrates in a tropical mountain creek at Bogotá, Colombia. *Caldasia*, 29(2), 397-412.
- Rondón Toro, E., Szantó Narea, M., Pacheco, J. F., Contreras, E., y Gálvez, A. (2016). *Guía general para la gestión de residuos sólidos domiciliarios* (Vol. 2). Recuperado a partir de <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/40407>
- Ruiz, O., y Miguel, J. (2019). *Valoración de la producción de energía eléctrica a partir del biogás que se genera en el relleno sanitario Ceibales de la ciudad de Machala*.
- Saadi, W., Rodríguez-Sánchez, S., Ruiz, B., Souissi-Najar, S., Ouederni, A., y Fuente, E. (2019). Pyrolysis technologies for pomegranate (*Punica granatum* L.) peel wastes. Prospects in the bioenergy sector. *Renewable Energy*, 136, 373-382. doi:10.1016/j.renene.2019.01.017
- Salimbeni, A. (2019). Organic waste streams upgrading for gasification process optimization. *Substitute Natural Gas from Waste* (pp 75-103). Elsevier. doi:10.1016/B978-0-12-815554-7.00006-4
- Sáez, A. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe, 3, 16.
- Sampat, A. M., Hu, Y., Sharara, M., Aguirre-Villegas, H., Ruiz-Mercado, G., Larson, R. A., y Zavala, V. M. (2019). Coordinated management of organic waste and derived products. *Computers & Chemical Engineering*, 128, 352-363. doi:10.1016/j.compchemeng.2019.06.008
- Sánchez, M., Cruz, J., y Maldonado, P. (2019). Urban solid waste management in Latin America: An analysis from the perspective of waste generation, 11(2), 321-336. doi:<http://doi.org/10.14718/revfinanzpolitecon>.
- Sanjuan-Delmás, D., Taelman, S. E., Arlati, A., Obersteg, A., Vér, C., Óvári, Á., Tonini, D., & Dewulf, J. (2021). Sustainability assessment of organic waste management in three EU Cities: Analysing stakeholder-based solutions. *Waste Management*, 132, 44-55. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.07.013>
- SEDESOL. (2016). Manual técnico sobre generación, recolección y transferencia de residuos municipales. Secretaría de Desarrollo Social.
- Silva, R. D., Sanches, A., Ortiz, W., Gómez, M. F., y Coelho, S. T. (2020). The state of the art of organic waste to energy in Latin America and the Caribbean: Challenges and opportunities. *Renewable Energy*, 156, 509-525. doi:10.1016/j.renene.2020.04.056
- Sipra, A. T., Gao, N., y Sarwar, H. (2018). Municipal solid waste (MSW) pyrolysis for bio-fuel production: A review of effects of MSW components and catalysts. *Fuel Processing Technology*, 175, 131-147. doi:10.1016/j.fuproc.2018.02.012
- Soliz, M. (2021). *La partida 3915: importación de desechos plásticos en Ecuador* (Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador / Alianza Global para Alternativas a la



- Soobhany, N. (2019). Insight into the recovery of nutrients from organic solid waste through biochemical conversion processes for fertilizer production: A review. *Journal of Cleaner Production*, 241, 118413. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118413>
- Speight, J. G. (2015). 12 - Waste gasification for synthetic liquid fuel production. En R. Luque y James G. Speight (Eds.), *Gasification for Synthetic Fuel Production*, Woodhead Publishing Series in Energy (pp 277-301). Woodhead Publishing. doi:10.1016/B978-0-85709-802-3.00012-6
- Tello, P., Campani, D., & Sarafián, D. (2018). Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos.
- Trabold, T. A., y Nair, V. (2018). Conventional Food Waste Management Methods. *Sustainable Food Waste-To-energy Systems* (pp 29-45). Elsevier. doi:10.1016/B978-0-12-811157-4.00003-6
- Tsai, F. M., Bui, T.-D., Tseng, M.-L., & Wu, K.-J. (2020). A causal municipal solid waste management model for sustainable cities in Vietnam under uncertainty: A comparison. *Resources, Conservation and Recycling*, 154, 104599. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104599>
- UDA, U. del A. (2004). Información temática digital de la cuenca del río Paute. *IERSE-Instituto de Estudios de Régimen Seccional del Ecuador*. Shape de información.
- UNEP. (2017). *Hotspots Analysis - An overarching methodological framework and guidance for product and sector level application*. United Nations Environment Programme (p 86).
- UNEP. (2018). *Perspectiva de la Gestión de residuos en América Latina y el Caribe*. United Nations Environment Programme, Latin America and the Caribbean Office (p 133). Panamá
- Urtnowski-Morin, C., Tanguay-Rioux, F., Legros, R., & Spreutels, L. (2021). Upgrading waste material flow analysis with process models: The case of anaerobic digestion. *Journal of Cleaner Production*, 298, 126695. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126695>
- Vaverková, M. D., Adamcová, D., Winkler, J., Koda, E., Petrželová, L., y Maxianová, A. (2020). Alternative method of composting on a reclaimed municipal waste landfill in accordance with the circular economy: Benefits and risks. *Science of The Total Environment*, 723, 137971. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.137971
- Villalba, L. (2020). Material Flow Analysis (MFA) and waste characterizations for formal and informal performance indicators in Tandil, Argentina: Decision-making implications. *Journal of Environmental Management*, 264, 110453. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110453>
- Wainaina, S., Awasthi, M. K., Sarsaiya, S., Chen, H., Singh, E., Kumar, A., Ravindran, B., et al. (2020). Resource recovery and circular economy from organic solid waste using



- aerobic and anaerobic digestion technologies. *Bioresource Technology*, 301, 122778. doi:10.1016/j.biortech.2020.122778
- Wang, C., Qin, J., Qu, C., Ran, X., Liu, C., y Chen, B. (2021). A smart municipal waste management system based on deep-learning and Internet of Things. *Waste Management*, 135, 20-29. doi:10.1016/j.wasman.2021.08.028
- Wei, Y., Wang, N., Lin, Y., Zhan, Y., Ding, X., Liu, Y., Zhang, A., et al. (2021). Recycling of nutrients from organic waste by advanced compost technology- A case study. *Bioresource Technology*, 337, 125411. doi:10.1016/j.biortech.2021.125411
- World Bank. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. World Bank. <https://www.worldbank.org/en/news/infographic/2018/09/20/what-a-waste-20-a-global-snapshot-of-solid-waste-management-to-2050>
- Yang, Y., Zhang, Y., Omairey, E., Cai, J., Gu, F., y Bridgwater, A. V. (2018). Intermediate pyrolysis of organic fraction of municipal solid waste and rheological study of the pyrolysis oil for potential use as bio-bitumen. *Journal of Cleaner Production*, 187, 390-399. doi:10.1016/j.jclepro.2018.03.205
- Yuan, X., Fan, X., Liang, J., Liu, M., Teng, Y., Ma, Q., Wang, Q., et al. (2019). Public Perception towards Waste-to-Energy as a Waste Management Strategy: A Case from Shandong, China. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(16), 2997. doi:10.3390/ijerph16162997
- Zhang, L., Loh, K.-C., y Zhang, J. (2019). Enhanced biogas production from anaerobic digestion of solid organic wastes: Current status and prospects. *Bioresource Technology Reports*, 5, 280-296. doi:10.1016/j.biteb.2018.07.005



## 9. Anexos

Anexo 1: Imágenes de la visita de campo.

### Planta de compostaje del Ecoparque “El Valle”.

Recepción: pesaje y descarga



Triturado y chipeado



Separación de plásticos



Nave de descomposición



Formación de pilas de compost y lechos de humus (Maduración)



Secado y tamizado



Empaquetado



Visita al relleno sanitario

Disposición final y disposición de lodos residuales



Jhonny Bustamante Montesueoca  
Christian Pérez Rocano



**Instalaciones EMAC-EP**





Anexo 2. Matriz de Pedigree correspondiente a la validación cualitativa de datos

Proceso	Proceso o flujo precedente	Valor	Fuente	Matriz de Pedigree					PROMEDIO	CALIFICACION N (Considerando 1=Muy bueno y 5=Muy malo)	
				Fiabilidad	Integridad	Correlación temporal	Correlación geográfica	Correlación tecnológica			
Planta de compostaje de lEcoparque "El Valle"	Recepción	Empresas	662.39	Primaria- EMAC	2	1	1	1	1	1,2	MUY BUENO
		Particulares (trueque ambiental)	76.74	Primaria- EMAC	2	1	1	1	1	1,2	MUY BUENO
		Áreas verdes	4534.23	Primaria- EMAC	2	1	1	1	1	1,2	MUY BUENO
		Mercados y ferias	3130.83	Primaria- EMAC	2	1	1	1	1	1,2	MUY BUENO
	Selección y clasificación	Recepción	4534.23	Primaria- EMAC	2	1	1	1	1	1,2	MUY BUENO
	Trituración	Selección y clasificación	925.81	Primaria- EMAC	2	1	1	1	1	1,2	MUY BUENO
	estocado	Trituración	277.74	Secundaria-Blg. Ligia Carrión	4	1	1	1	1	1,6	BUENO
		Selección y clasificación	3608.42	Primaria- EMAC	2	1	1	1	1	1,2	MUY BUENO
		Stock	+495.61	Terciaria- STAN	3	1	1	1	1	1,4	MUY BUENO
	Descomposición inicial	Empresas	621.25	Primaria-EMAC	2	1	1	1	1	1,2	MUY BUENO
		Particulares (trueque ambiental)	76.74	Primaria-EMAC	2	1	1	1	1	1,2	MUY BUENO
		Trituración	648.07 (70%)	Secundaria-Experto de la EMAC, Blg. Ligia Carrión	4	1	1	1	1	1,6	BUENO
Estocado		3001.93 (3650-T70%)	Secundaria-Blg. Ligia Carrión	4	1	1	1	1	1,6	BUENO	
Mercados y ferias		2966.27	Primaria- EMAC	2	1	1	1	1	1,2	MUY BUENO	



		Tamizado humus	3.15 (5%)	Secundaria-(Cesaro, 2020).	3	1	1	1	2	1,6	BUENO
		Tamizado compost	106.49 (5%)	Secundaria-(Cesar, 2020).	3	1	1	1	2	1,6	BUENO
	Maduración humus	Descomposición inicial	371.19 (10%)	Secundaria-Blg. Ligia Carrión	4	1	1	1	1	1,6	BUENO
	Secado humus	Maduración humus	70.02	Terciaria- STAN	3	1	1	1	1	1,4	MUY BUENO
		Stock	+189.85	Terciaria- STAN	3	1	1	1	1	1,4	MUY BUENO
	Tamizado humus	Secado humus	63.02	Terciaria- STAN	3	1	1	1	1	1,4	MUY BUENO
	Empaquetado humus	Tamizado humus	47.77	Primaria-EMAC	2	1	1	1	1	1,2	MUY BUENO
	Maduración compost	Descomposición inicial	3340.75 (90%)	Secundaria-Blg. Ligia Carrión	4	1	1	1	1	1,6	BUENO
	Secado compost	Maduración compost	2505.56	Terciaria- STAN	3	1	1	1	1	1,4	MUY BUENO
	Tamizado compost	Secado compost	2129.73	Terciaria- STAN	3	1	1	1	1	1,4	MUY BUENO
	Empaquetado compost	Tamizado compost	484.52	Primaria-EMAC	2	1	1	1	1	1,2	MUY BUENO
	Almacenamiento a granel	Tamizado compost	1514.52	Primaria-EMAC	2	1	1	1	1	1,2	MUY BUENO
	P ér di da s	Evaporación y degradación	Descomposición inicial	3711.95 (50%)	Secundaria-Experto de la EMAC, (Cesaro, 2020).	3	1	1	1	2	1,6
Maduración humus			111.32 (30%)	Secundaria-Experto de la EMAC, (Cesaro, 2020).	3	1	1	1	2	1,6	BUENO
Maduración compost			835.19(15%)	Secundaria-Experto de la EMAC, (Cesaro, 2020).	3	1	1	1	2	1,6	BUENO
Evaporación		Secado de humus	7 (10%)	Secundaria-Experto de la EMAC, (Cesaro, 2020).	3	1	1	1	2	1,6	BUENO



		Secado de compost	375.83 (25%)	Secundaria-Experto de la EMAC, (Cesaro, 2020).	3	1	1	1	2	1,6	BUENO
	Plásticos	Separación de inorgánicos	205.7	Primaria-EMAC	2	1	1	1	1	1,2	MUY BUENO
		Tamizado humus	12.1	Primaria-EMAC. Revisión bibliográfica	2	1	1	1	1	1,2	MUY BUENO
		Tamizado compost	24.2	Primaria-EMAC. Revisión bibliográfica	2	1	1	1	1	1,2	MUY BUENO
Relación de Pichacay	Disposición final	Domicilios	79171.15	Primaria-EMAC.	2	1	1	4	1	1,8	BUENO
		Grandes generadores	474.71	Primaria-EMAC.	2	1	1	4	1	1,8	BUENO
		Mercados	14475.55	Primaria-EMAC.	2	1	1	1	1	1,2	MUY BUENO
		Otros cantones	6088.52	Primaria-EMAC.	2	1	1	4	1	1,8	BUENO
Procesamiento de biogás	Disposición final	1877.33	Secundario-Ing. Santiago Vásquez	4	1	1	1	1	1,6	BUENO	
	Extracción de lixiviados	Disposición final	59277.53	Primaria-EMAC.	2	1	1	1	1	1,2	MUY BUENO
	Disposición de lodos	ETAPA (G. generadores)	6299.23	Primaria-EMAC.	2	1	1	1	1	1,2	MUY BUENO
Produc	Compost a granel	Almacenamiento a granel	214.13	Primaria-EMAC.	2	1	1	1	1	1,2	MUY BUENO
	Compost	Empaquetado compost	484.52	Primaria-EMAC.	2	1	1	1	1	1,2	MUY BUENO
	Humus	Empaquetado humus	47.77	Primaria-EMAC.	2	1	1	1	1	1,2	MUY BUENO
	Biogás	Aprovechamiento de biogás	536.96	Primaria-EMAC.	2	1	1	1	1	1,2	MUY BUENO



tos	Lixiviados	Extracción de lixiviados	59277.53	Primaria-EMAC.	2	1	1	1	1	1,2	MUY BUENO
-----	------------	--------------------------	----------	----------------	---	---	---	---	---	-----	-----------

MUY BUENO: 65,22 % BUENO: 34,78 % REGULAR: 0 % MALO: 0% MUY MALO: 0%

Fuente: Autores





Anexo 3. Tablas de la determinación de incertidumbre para los datos del escenario 2019.

Empresas									
Mes	Datos (Xi)	Media Xprom.	Error absoluto (Xi - Xprom.)	Incertidumbre absoluta (Xi - Xprom.) <sup>2</sup>	Desviación Estándar	Varianza	Error estadístico	Coficiente de variación	Margen de error (Z=1,96 para 95% confianza)
Enero	19,37	55,20	-35,83	1283,70	$s = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}}$	$s^2 = \frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}$	$e^2(x) = \frac{s^2(x)}{n}$ $e = \frac{s}{\sqrt{n}}$	$C_V = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$	$\bar{x} \pm z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
Febrero	23,83		-31,37	984,12					
Marzo	15,06		-40,14	1611,12					
Abril	60,95		5,75	33,08					
Mayo	157,54		102,34	10473,73					
Junio	181,87		126,67	16044,85					
Julio	58,41		3,21	10,31					
Agosto	35,33		-19,87	394,77					
Septiembre	37,23		-17,97	322,88					
Octubre	23,50		-31,70	1004,81					
Noviembre	30,87		-24,33	591,89					
Diciembre	18,43		-36,77	1351,94					
Suma	662,385			34107,19					
Grandes generadores									
Mes	Datos (Xi)	Media Xprom.	Error absoluto (Xi - Xprom.)	Incertidumbre absoluta (Xi - Xprom.) <sup>2</sup>	Desviación Estándar	Varianza	Error estadístico	Coficiente de variación	Margen de error (Z=1,96 para 95% confianza)
Enero	85,04	39,56	45,48	2068,51	$s = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}}$	$s^2 = \frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}$	$e^2(x) = \frac{s^2(x)}{n}$ $e = \frac{s}{\sqrt{n}}$	$C_V = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$	$\bar{x} \pm z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
Febrero	60,80		21,24	451,17					
Marzo	42,52		2,96	8,77					
Abril	31,33		-8,23	67,72					
Mayo	25,66		-13,90	193,19					
Junio	67,72		28,16	793,08					
Julio	26,15		-13,41	179,81					
Agosto	31,26		-8,30	68,88					
Septiembre	15,87		-23,69	561,18					
Octubre	27,53		-12,03	144,70					
Noviembre	41,06		1,50	2,25					
Diciembre	19,77		-19,79	391,61					
Suma	474,71			4930,81					
Mercados total									
Mes	Datos (Xi)	Media Xprom.	Error absoluto (Xi - Xprom.)	Incertidumbre absoluta (Xi - Xprom.) <sup>2</sup>	Desviación Estándar	Varianza	Error estadístico	Coficiente de variación	Margen de error (Z=1,96 para 95% confianza)
Enero	1565,94	1513,40	52,54	2760,29	$s = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}}$	$s^2 = \frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}$	$e^2(x) = \frac{s^2(x)}{n}$ $e = \frac{s}{\sqrt{n}}$	$C_V = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$	$\bar{x} \pm z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
Febrero	1454,51		-58,89	3468,17					
Marzo	1576,20		62,81	3944,62					
Abril	1647,72		134,33	18043,32					
Mayo	1670,03		156,63	24532,53					
Junio	1582,30		68,91	4747,93					
Julio	1476,55		-36,85	1358,11					
Agosto	1381,51		-131,88	17393,33					
Septiembre	1372,25		-141,15	19922,30					
Octubre	1391,27		-122,13	14915,53					
Noviembre	1534,82		21,42	458,89					
Diciembre	1507,68		-5,72	32,75					
Suma	18160,78			111577,77					



Áreas verdes : total									
Mes	Datos (Xi)	Media Xprom.	Error absoluto (Xi- Xprom.)	Incertidumbre absoluta (Xi- Xprom.) <sup>2</sup>	Desviación Estándar	Varianza	Error estadístico	Coefficiente de variación	Margen de error (Z=1,96 para 95% confianza)
Enero	248,76	377,85	-129,09	16664,83	$s = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}}$ 99,77	$s^2 = s^2$ $s^2(x) = \frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}$ 9953,12	$e^2(x) = \frac{s^2(x)}{n}$ $e = \frac{s}{\sqrt{n}}$ 28,80	$Cv = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$ 28,40	$\bar{x} \pm z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ 56,45
Febrero	295,97		-81,88	6704,72					
Marzo	389,91		12,06	145,39					
Abril	439,76		61,91	3832,56					
Mayo	489,19		111,34	12396,08					
Junio	448,78		70,93	5031,16					
Julio	365,36		-12,49	156,06					
Agosto	313,50		-64,35	4141,22					
Septiembre	276,01		-101,84	10371,86					
Octubre	251,20		-126,66	16042,08					
Noviembre	498,51		120,66	14558,27					
Diciembre	517,28		139,43	19440,07					
Suma	4534,23			109484,30					

Particulares ( Trueque Ambiental)									
Mes	Datos (Xi)	Media Xprom.	Error absoluto (Xi- Xprom.)	Incertidumbre absoluta (Xi- Xprom.) <sup>2</sup>	Desviación Estándar	Varianza	Error estadístico	Coefficiente de variación	Margen de error (Z=1,96 para 95% confianza)
Enero	5,20	6,40	-1,20	1,43	$s = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}}$ 3,18	$s^2 = s^2$ $s^2(x) = \frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}$ 10,10	$e^2(x) = \frac{s^2(x)}{n}$ $e = \frac{s}{\sqrt{n}}$ 0,92	$Cv = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$ 49,70	$\bar{x} \pm z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ 1,80
Febrero	5,68		-0,72	0,51					
Marzo	5,99		-0,40	0,16					
Abril	7,50		1,11	1,22					
Mayo	9,54		3,15	9,89					
Junio	8,10		1,71	2,91					
Julio	7,84		1,45	2,09					
Agosto	9,35		2,96	8,73					
Septiembre	11,51		5,12	26,16					
Octubre	2,37		-4,03	16,20					
Noviembre	1,58		-4,82	23,18					
Diciembre	2,08		-4,32	18,62					
Suma	76,74			111,11					

Domilios									
Mes	Datos (Xi)	Media Xprom.	Error absoluto (Xi- Xprom.)	Incertidumbre absoluta (Xi- Xprom.) <sup>2</sup>	Desviación Estándar	Varianza	Error estadístico	Coefficiente de variación	Margen de error (Z=1,96 para 95% confianza)
Enero	7147,50	6597,60	549,90	302389,13	$s = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}}$ 359,23	$s^2 = s^2$ $s^2(x) = \frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}$ 129046,90	$e^2(x) = \frac{s^2(x)}{n}$ $e = \frac{s}{\sqrt{n}}$ 103,70	$Cv = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100$ 5,44	$\bar{x} \pm z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ 203,25
Febrero	6303,23		-294,36	86649,45					
Marzo	6616,59		18,99	360,70					
Abril	7007,31		409,72	167866,99					
Mayo	7063,69		466,09	217241,35					
Junio	6556,04		-41,56	1727,04					
Julio	6813,70		216,11	46701,64					
Agosto	6242,10		-355,49	126376,12					
Septiembre	6115,23		-482,36	232673,13					
Octubre	6223,95		-373,65	139612,45					
Noviembre	6754,79		157,19	24709,07					
Diciembre	6327,02		-270,57	73208,79					
Suma	79171,15			1419515,86					



Otros cantones									
Mes	Datos (Xi)	Media Xprom.	Error absoluto (Xi - Xprom.)	Incertidumbre absoluta (Xi - Xprom.) <sup>2</sup>	Desviación Estándar	Varianza	Error estadístico	Coficiente de variación	Margen de error (Z=1,96 para 95% confianza)
Enero	538,07	507,38	30,69	941,91	$s = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}}$	$s^2 = \sigma^2$ $s^2(x) = \frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}$	$e^2(x) = \frac{s^2(x)}{n}$ $e = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100$	$\bar{x} \pm z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
Febrero	480,71		-26,66	711,02					
Marzo	525,36		17,99	323,52					
Abril	531,83		24,45	597,90					
Mayo	535,05		27,68	765,95					
Junio	492,32		-15,05	226,57					
Julio	546,32		38,94	1516,63					
Agosto	496,53		-10,84	117,59					
Septiembre	491,72		-15,66	245,23					
Octubre	479,90		-27,48	754,91					
Noviembre	506,36		-1,01	1,02					
Diciembre	464,34		-43,04	1852,48					
Suma	6088,52			8054,73					

ETAPA (Generadores)									
Mes	Datos (Xi)	Media Xprom.	Error absoluto (Xi - Xprom.)	Incertidumbre absoluta (Xi - Xprom.) <sup>2</sup>	Desviación Estándar	Varianza	Error estadístico	Coficiente de variación	Margen de error (Z=1,96 para 95% confianza)
Enero	0,00	524,94	-524,94	275557,63	$s = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}}$	$s^2 = \sigma^2$ $s^2(x) = \frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}$	$e^2(x) = \frac{s^2(x)}{n}$ $e = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100$	$\bar{x} \pm z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
Febrero	874,46		349,52	122167,14					
Marzo	562,51		37,57	1411,82					
Abril	637,00		112,06	12558,38					
Mayo	429,61		-95,33	9087,01					
Junio	15,10		-509,84	259932,58					
Julio	0,00		-524,94	275557,63					
Agosto	36,61		-488,33	238462,12					
Septiembre	1047,90		522,96	273491,52					
Octubre	1189,65		664,71	441844,92					
Noviembre	519,37		-5,57	30,98					
Diciembre	987,02		462,08	213521,78					
Suma	6299,23			2123623,51					

Lixiviados									
Mes	Datos (Xi)	Media Xprom.	(Xi - Xprom.)	(Xi - Xprom.) <sup>2</sup>	Desviación Estándar	Varianza	Error estadístico	Coficiente de variación	Margen de error
Enero	6750,61	4939,79	1810,82	3279067,13	$s = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}}$	$s^2 = \sigma^2$ $s^2(x) = \frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}$	$e^2(x) = \frac{s^2(x)}{n}$ $e = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	$C_v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100$	$\bar{x} \pm z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
Febrero	4313,91		-625,88	391729,79					
Marzo	4858,00		-81,79	6690,01					
Abril	8439,64		3499,85	12248950,29					
Mayo	4778,77		-161,02	25928,61					
Junio	4513,43		-426,36	181784,42					
Julio	4093,51		-846,29	716200,01					
Agosto	2008,74		-2931,05	8591078,61					
Septiembre	2485,77		-2454,02	6022237,80					
Octubre	2598,85		-2340,95	5480031,60					
Noviembre	5599,14		659,34	434730,27					
Diciembre	8837,16		3897,36	15189435,29					
Suma	59277,53			52567863,84					



Biogás									
Mes	Datos (Xi)	Media Xprom.	(Xi- Xprom.)	(Xi- Xprom.)^2	Desviación Estándar	Varianza	Error estadístico	Coefficiente de variación	Margen de error
Enero	180,83	156,44	24,38	594,47	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$	$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$	$e^2(x) = \frac{s^2(x)}{n}$ $e = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	$C_V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100$	$\bar{x} \pm z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
Febrero	65,03		-91,41	8356,01					
Marzo	72,00		-84,44	7130,68					
Abril	69,68		-86,77	7528,33					
Mayo	33,67		-122,77	15072,83					
Junio	242,60		86,15	7422,09					
Julio	244,51		88,06	7754,91					
Agosto	253,80		97,36	9478,80					
Septiembre	163,53		7,09	50,23					
Octubre	182,80		26,35	694,51					
Noviembre	219,84		63,39	4018,54					
Diciembre	149,05		-7,40	54,69					
Suma	1877,33			68156,10	78,71	6196,01	22,72	50,31	44,54

Humus									
Mes	Datos (Xi)	Media Xprom.	(Xi- Xprom.)	(Xi- Xprom.)^2	Desviación Estándar	Varianza	Error estadístico	Coefficiente de variación	Margen de error
Enero	5,15	3,98	1,16	1,36	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$	$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$	$e^2(x) = \frac{s^2(x)}{n}$ $e = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	$C_V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100$	$\bar{x} \pm z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
Febrero	4,08		0,10	0,01					
Marzo	8,63		4,64	21,57					
Abril	2,49		-1,50	2,24					
Mayo	2,87		-1,11	1,23					
Junio	5,57		1,58	2,51					
Julio	3,17		-0,81	0,66					
Agosto	1,82		-2,16	4,67					
Septiembre	6,35		2,37	5,59					
Octubre	2,42		-1,57	2,45					
Noviembre	5,25		1,27	1,61					
Diciembre	0,00		-3,98	15,85					
Suma	47,77			59,74	2,33	5,43	0,67	58,54	1,32

Compost									
Mes	Datos (Xi)	Media Xprom.	(Xi- Xprom.)	(Xi- Xprom.)^2	Desviación Estándar	Varianza	Error estadístico	Coefficiente de variación	Margen de error
Enero	48,50	40,38	8,12	65,92	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$	$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$	$e^2(x) = \frac{s^2(x)}{n}$ $e = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	$C_V = \frac{\sigma}{\bar{x}} \cdot 100$	$\bar{x} \pm z_{\alpha/2} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$
Febrero	43,12		2,74	7,52					
Marzo	76,48		36,10	1303,07					
Abril	26,63		-13,75	188,98					
Mayo	20,44		-19,94	397,48					
Junio	17,82		-22,56	509,04					
Julio	29,75		-10,62	112,89					
Agosto	108,92		68,54	4698,15					
Septiembre	33,50		-6,88	47,36					
Octubre	33,99		-6,39	40,86					
Noviembre	27,23		-13,15	172,84					
Diciembre	18,17		-22,21	493,37					
Suma	484,52			8037,49	27,03	730,68	7,80	66,95	15,29



Compost a granel									
Mes	Datos (Xi)	Media Xprom.	(Xi- Xprom.)	(Xi- Xprom.)^2	Desviación Estándar	Varianza	Error estadístico	Coefficiente de variación	Margen de error
Enero	30,625	17,84	12,78	163,35	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$	$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$	$e^2(x) = \frac{s^2(x)}{n}$ $e = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	183,38	18,51
Febrero	3,64		-14,20	201,76					
Marzo	50,575		32,73	1071,31					
Abril	7,07		-10,77	116,08					
Mayo	0		-17,84	318,41					
Junio	0		-17,84	318,41					
Julio	13,3		-4,54	20,65					
Agosto	108,92		91,08	8294,81					
Septiembre	0		-17,84	318,41					
Octubre	0		-17,84	318,41					
Noviembre	0		-17,84	318,41					
Diciembre	0		-17,84	318,41					
Suma	214,13			11778,44	32,72	1070,77	9,45		

Anexo 4. Tablas de la determinación de incertidumbre para los datos del escenario Alterno 2019.

Incertidumbre: Compost									
Mes	Datos (Xi)	Media Xprom.	(Xi- Xprom.)	(Xi- Xprom.)^2	Desviación Estándar	Varianza	Error estadístico	Coefficiente de variación	Margen de error
Enero	228,25	190,04	38,21	1460,28	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$	$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$	$e^2(x) = \frac{s^2(x)}{n}$ $e = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	66,26	71,25
Febrero	202,95		12,91	166,69					
Marzo	359,94		169,90	28866,35					
Abril	125,34		-64,70	4186,34					
Mayo	96,20		-93,84	8805,21					
Junio	83,85		-106,19	11276,53					
Julio	140,03		-50,01	2500,78					
Agosto	512,65		322,61	104076,06					
Septiembre	157,65		-32,39	1049,16					
Octubre	159,96		-30,08	905,08					
Noviembre	128,16		-61,88	219,84					
Diciembre	85,50		-104,54	10929,38					
Suma	2280,48			174441,70	125,93	15858,34	36,35		

Incertidumbre: Compost a granel									
Mes	Datos (Xi)	Media Xprom.	(Xi- Xprom.)	(Xi- Xprom.)^2	Desviación Estándar	Varianza	Error estadístico	Coefficiente de variación	Margen de error
Enero	144,14	83,99	60,15	3618,61	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$	$s^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$	$e^2(x) = \frac{s^2(x)}{n}$ $e = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$	180,96	85,99
Febrero	17,13		-66,85	4469,46					
Marzo	238,04		154,05	23732,18					
Abril	33,28		-50,71	2571,53					
Mayo	0,00		-83,99	7053,69					
Junio	0,00		-83,99	7053,69					
Julio	62,60		-21,39	457,44					
Agosto	512,65		428,66	183751,08					
Septiembre	0,00		-83,99	7053,69					
Octubre	0,00		-83,99	7053,69					
Noviembre	0,00		-83,99	219,84					
Diciembre	0,00		-83,99	7053,69					
Suma	1007,83			254088,56	151,98	23098,96	43,87		



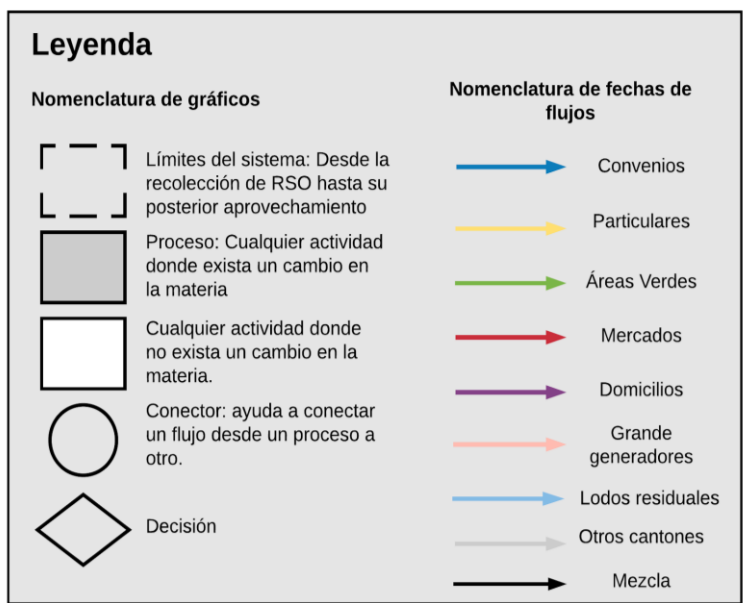
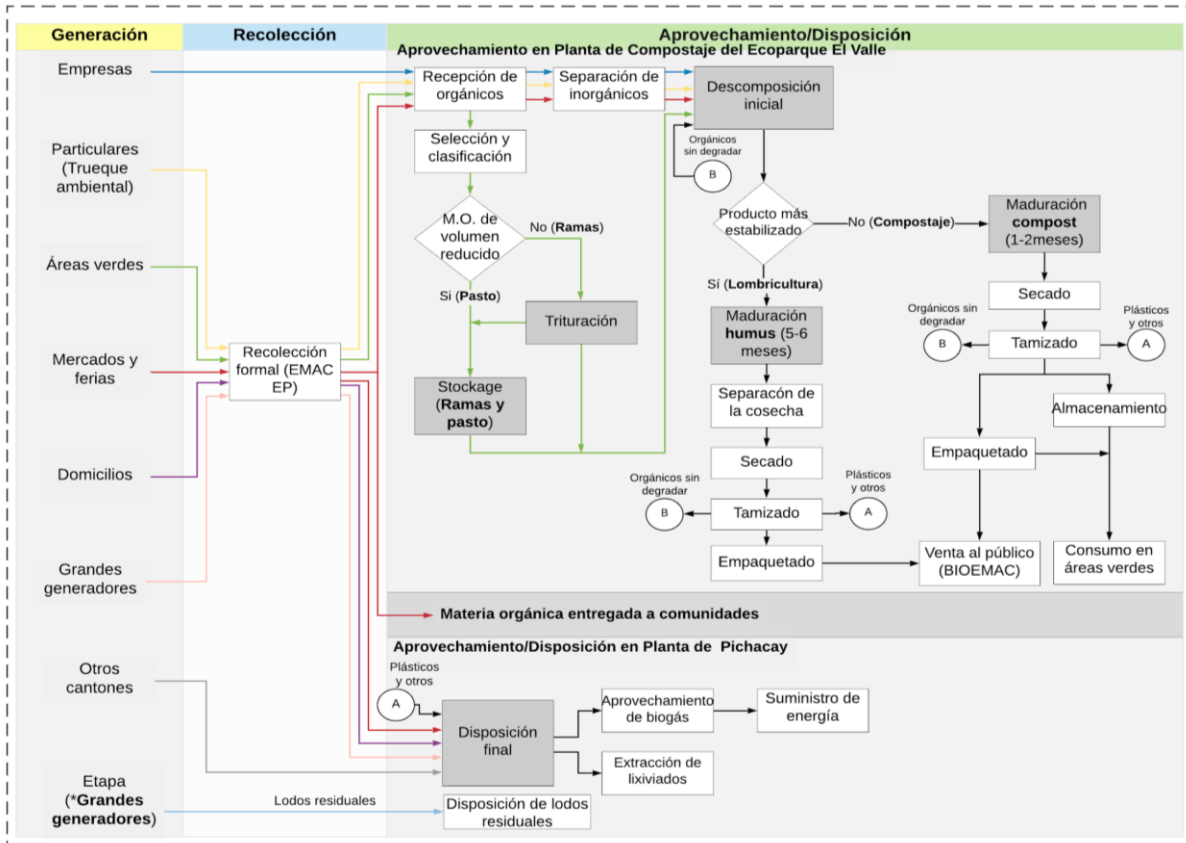
Incertidumbre: Humas									
Mes	Datos (Xi)	Media Xprom.	(Xi- Xprom.)	(Xi- Xprom.) <sup>2</sup>	Desviación E estándar	Varianza	Error estadístico	Coficiente de variación	Margen de error
Enero	24,22	18,74	5,48	30,08	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ 11,71	$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$ 137,06	$e^2(x) = \frac{\sigma^2(x)}{n}$ 3,38	62,48	6,62
Febrero	19,19		0,45	0,21					
Marzo	40,60		21,86	477,83					
Abril	11,70		-7,04	49,56					
Mayo	13,51		-5,23	27,38					
Junio	26,19		7,46	55,60					
Julio	14,93		-3,81	14,53					
Agosto	8,57		-10,17	103,43					
Septiembre	29,87		11,13	123,94					
Octubre	11,37		-7,37	54,31					
Noviembre	24,71		5,97	219,84					
Diciembre	0,00		-18,74	351,05					
Suma	224,84			1507,65					
Incertidumbre : Biogás quemado									
Mes	Datos (Xi)	Media Xprom.	(Xi- Xprom.)	(Xi- Xprom.) <sup>2</sup>	Desviación Es tándar	Varianza	Error estadístico	Coficiente de variación	Margen de error
Enero	37,73	32,65	5,09	25,89	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ 16,43	$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$ 269,79	$e^2(x) = \frac{\sigma^2(x)}{n}$ 4,74	50,31	9,29
Febrero	13,57		-19,07	363,85					
Marzo	15,02		-17,62	310,49					
Abril	14,54		-18,11	327,81					
Mayo	7,03		-25,62	656,32					
Junio	50,62		17,98	323,18					
Julio	51,02		18,38	337,67					
Agosto	52,96		20,32	412,74					
Septiembre	34,12		1,48	2,19					
Octubre	38,14		5,50	30,24					
Noviembre	45,87		13,23	174,98					
Diciembre	31,10		-1,54	2,38					
Suma	391,74			2967,73					
Incertidumbre: A generación de energía eléctrica									
Mes	Datos (Xi)	Media Xprom.	(Xi- Xprom.)	(Xi- Xprom.) <sup>2</sup>	Desviación E estándar	Varianza	Error estadístico	Coficiente de variación	Margen de error
Enero	107,95	93,40	14,56	211,88	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$ 46,99	$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$ 2208,34	$e^2(x) = \frac{\sigma^2(x)}{n}$ 13,57	50,31	26,59
Febrero	38,83		-54,57	2978,19					
Marzo	42,98		-50,41	2541,47					
Abril	41,60		-51,80	2683,20					
Mayo	20,10		-73,29	5372,15					
Junio	144,83		51,43	2645,33					
Julio	145,97		52,57	2763,95					
Agosto	151,52		58,12	3378,37					
Septiembre	97,63		4,23	17,90					
Octubre	109,13		15,73	247,53					
Noviembre	131,24		37,85	1432,26					
Diciembre	88,98		-4,42	19,49					
Suma	1120,77			24291,72					



Incertidumbre: Bigás aprovechado									
Mes	Datos (Xi)	Media Xprom.	(Xi- Xprom.)	(Xi- Xprom.) <sup>2</sup>	Desviación E estándar	Varianza	Error estadístico	Coefficiente de variación	Margen de error
Enero	145,69	126,04	19,64	385,88	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \frac{s^2}{n-1}$	4021,89	18,31	50,31	35,88
Febrero	52,40		-73,65	5423,97					
Marzo	58,01		-68,03	4628,59					
Abril	56,14		-69,91	4886,71					
Mayo	27,13		-98,91	9783,92					
Junio	195,45		69,41	4817,75					
Julio	196,99		70,95	5033,78					
Agosto	204,48		78,44	6152,78					
Septiembre	131,75		5,71	32,61					
Octubre	147,28		21,23	450,81					
Noviembre	177,12		51,07	2608,47					
Diciembre	120,08		-5,96	35,50					
Suma	1512,52			44240,78					
Incertidumbre: Lixivados									
Mes	Datos (Xi)	Media Xprom.	(Xi- Xprom.)	(Xi- Xprom.) <sup>2</sup>	Desviación E estándar	Varianza	Error estadístico	Coefficiente de variación	Margen de error
Enero	5438,80	3979,87	1458,93	2128482,66	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$	3102040,42	508,43	44,25	996,53
Febrero	3475,61		-504,26	254276,60					
Marzo	3913,97		-65,90	4342,57					
Abril	6799,61		2819,74	7950943,75					
Mayo	3850,14		-129,73	16830,58					
Junio	3636,36		-343,51	117998,50					
Julio	3298,04		-681,83	464894,21					
Agosto	1618,39		-2361,48	5576574,41					
Septiembre	2002,72		-1977,15	3909108,36					
Octubre	2093,83		-1886,04	3557155,67					
Noviembre	4511,08		531,21	282188,75					
Diciembre	7119,88		3140,01	9859648,59					
Suma	47758,43			34122444,63					
Incertidumbre: Bigás NO aprovechado									
Mes	Datos (Xi)	Media Xprom.	(Xi- Xprom.)	(Xi- Xprom.) <sup>2</sup>	Desviación E estándar	Varianza	Error estadístico	Coefficiente de variación	Margen de error
Enero	218,53	189,07	29,47	868,23	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$	9049,28	27,46	50,31	53,82
Febrero	78,59		-110,47	12203,97					
Marzo	87,01		-102,05	10414,37					
Abril	84,21		-104,86	10995,15					
Mayo	40,69		-148,37	22013,90					
Junio	293,18		104,12	10839,98					
Julio	295,49		106,42	11326,06					
Agosto	306,72		117,66	13843,80					
Septiembre	197,63		8,57	73,36					
Octubre	220,91		31,85	1014,33					
Noviembre	265,67		76,61	5869,08					
Diciembre	180,13		-8,94	79,88					
Suma	2268,78			99542,10					



Anexo 5. Diagrama de procesos del Sistema de gestión de RSO del cantón Cuenca.



Fuente: Autores.





## Anexo 6. Casos de estudio sobre el uso de biodigestores.

Autor	Año	Caso de estudio	Descripción	Resultados
(Martí-Herrero et al., 2019)	2019	Biogás de un digestor a gran escala operado en condiciones psicrófilas y alimentado solo con desechos de frutas y verduras.	Evaluación de la viabilidad del tratamiento de residuos de frutas y verduras de un mercado municipal en un digestor anaeróbico a gran escala con costos mínimos de implementación y operación.	Se monitorea un digestor de 13,9 m <sup>3</sup> que fuerza la inmersión de sólidos, gana calor a través de la radiación solar y recircular el efluente durante un año de condiciones reales de operación y clima en Bolivia. El digestor se cargó inicialmente con rumen de vaca y después de ocho semanas solo con desechos de frutas y verduras.
(Leite et al., 2021)	2021	Modelos cinéticos que describen la etapa hidrolítica de la codigestión anaeróbica de residuos sólidos vegetales y lodos de depuradoras.	Mediante el uso de un biodigestor discontinuo para un tratamiento de codigestión de residuos de frutas, legumbres y agua residual doméstica. Los principales parámetros operativos aplicados al ABR fueron la masa de sustrato alimentado igual a 20 kg; la concentración de sólidos totales del sustrato a 40.0 TSg.L <sup>-1</sup> , que es 4.0% TS, carga orgánica aplicada de 1.52 g DQO T.día <sup>-1</sup> , y un tiempo de retención de sólidos de 70 días.	Durante la codigestión anaeróbica de las aguas residuales domésticas y los residuos sólidos de frutas y verduras, la masa del particulado DQO P alcanzó un porcentaje de reducción promedio igual al 58,4%, para un tiempo de retención de sólidos de 70 días y una temperatura promedio de 26 ° C. El proceso de hidrólisis de la masa de DQO F filtrada se produjo en dos etapas cinéticas distintas, siendo la primera rápida y ocurriendo en los primeros 10 días y la segunda lenta, que ocurrió de 11 a 70 días. Además, un modelo cinético simplificado que se propuso para expresar la tasa de conversión entre COD P y COD F resultó en una excelente calibración (R-sqr > 0,99, F calc >> F tabla) y los parámetros de validación (R-sqr = 0,99, intersección 0,001 y bisectriz 0,98).



---

(Anjum et al., 2012)	2012	Codigestión anaeróbica de residuos orgánicos sólidos urbanos con residuos de melón para mejorar la biodegradabilidad y la producción de biogás	El estudio se realizó en modo por lotes en cuatro fases, observó la degradación de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos compuesta por residuos de mezclas de hortalizas, frutas y otros materiales alimenticios no identificados y la producción de biogás mediante la codigestión del sustrato con residuos de melón.	Los resultados revelaron que una adición de desperdicio de melón a razón de 300 g por cada Kg de sustrato aumentó sustancialmente la tasa de biodegradación y la producción de biogás en comparación con OFMSW solo. La eliminación de hasta 57,2% de sólidos volátiles y una relación de carbono a nitrógeno (C / N) de 15,9, a un nivel de agua del 60% cuando la mezcla de digestión se trató con inóculos recogidos de residuos de alimentos parcialmente degradados.
----------------------	------	--	--	---

---

Elaboración: Autores.



## Anexo 7: Resumen de casos de estudio sobre biorreactores.

Autor	Año	Caso de estudio	Descripción	Resultados
(Heidarza deh et al., 2019)	2019	Mejora del proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos mediante la reducción del tiempo de ciclo mediante la inoculación de <i>Aspergillus niger</i> .	Se usaron 3 biorreactores aireados, con un volumen de 40L, donde se introdujeron 20 kg de residuos homogéneos. Los tratamientos consistieron en: Biorreactor A: Compost + <i>Aspergillus niger</i> (inóculo), Biorreactor B: compost viejo + inóculo y Biorreactor C: Control (Solo compost). El proceso de compostaje duró 25 días y se evaluó la temperatura, la humedad, el pH, la conductividad eléctrica (CE), la relación C/N y el índice de germinación (GI).	Se determinó que la relación C/N disminuyó aproximadamente 63,37%, 59,6% y 46% para los biorreactores B, A y Control respectivamente, el IG y la temperatura máximos alcanzaron aproximadamente 138% y 59 ° C en el reactor B. Además, nuestros resultados mostraron que la inoculación con este microorganismo reduce el tiempo de proceso a 18 días.
(Ruge, 2019)	2019	Prototipo de biorreactor aerobio para el monitoreo y control del proceso de co-compostaje, a partir de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales y residuos sólidos orgánicos de plaza de mercado.	Se diseñó e implementó un prototipo de biorreactor tipo batch que controla temperatura y humedad, y monitorea el pH para la producción de co-compostaje usando lodos de planta de tratamiento de aguas residuales y residuos sólidos orgánicos se utilizó 300 g de sustrato a co-compostar, conformado por 70% de RSO de plaza de mercado, y 30% de lodos de plantas de tratamiento de agua residual (PTAR) con una duración de 35 días, temperatura constante de 45°C y una humedad del 40%.	Se determinó una baja disminución del contenido de nitrógeno del sustrato por las temperaturas bajas y un aumento de su pH hasta 9,87 por la falta de volteos constantes para el ingreso de aire dentro del biorreactor discontinuo.



(Olivares et al., 2018)	Propuesta de diseño de una planta industrial para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos para el municipio de Arandas, Jalisco.	Se trató RSU mediante un biorreactor aerobio continuo de fermentación acelerada para tratar 350 m <sup>3</sup> que madure en 15 días y compostaje en pilas, la cantidad de RSU generados en 2015 fue de 70.264 t/d, 23.09% de RSO. Se consideró tratar RSO mezclados que puede reducir el tiempo de compostaje de cuatro meses a menos de dos meses. Se completó el proceso mediante compostaje en pilas durante 30 días más, haciendo un total de 45 días	De las dos alternativas analizadas (biorreactores y sin ellos), la mejor alternativa es utilizando biorreactores, puesto que tiene la ventaja de que requiere una cantidad de terreno mucho menor que utilizando únicamente compostaje en pila.
-------------------------	---	--	---

Elaboración: Autores.

## Anexo 8. Resumen de casos de estudio sobre la implementación de compostaje comunitario.

Fuente	Año	Caso de estudio	Descripción	Resultados
(Campos - Rodríguez et al., 2016)	2016	Evaluación técnica de dos métodos de compostaje para el tratamiento de residuos sólidos biodegradables domiciliarios y su uso en huertas caseras	Se diseñaron cajas plásticas caladas, de 50 x 30 x 25 centímetros, paredes internas y base de cartón. En cada caja se colocaron 5 kilogramos de la mezcla del sustrato inoculado con diferentes tipos de microorganismos (de montaña y takakura), añadiendo 1,5 kilogramos de residuos por día, durante 16 días hábiles. Los residuos se picaron hasta lograr tamaños aproximados de 3 x 3 centímetros; luego se incorporaron a cada caja, se mezclaron y taparon hasta el día siguiente, para una nueva aplicación.	Mediante el uso de microorganismos con soluciones fermentativas (takakura) fueron más eficientes con respecto al incremento de temperatura, en cuanto a la degradación en cada caja fue favorable ya que no existía presencia de malos olores y vectores. No hubo presencia de lixiviados y la humedad se mantuvo alrededor de 37% por ello fue factible incorporar diariamente material fresco.
(Storino, 2017)	2017	Compostaje descentralizado de residuos orgánicos domiciliarios a pequeña escala: Estudio del proceso y del producto obtenido.	Se realizaron 4 ensayos comparando el compostaje del mismo tipo de residuo a escala industrial en pilas (>1300 t) y doméstico en composteras (320 L), en términos de desarrollo del proceso y características del compost obtenido. Los primeros dos ensayos fueron realizados, respectivamente, con residuos agroindustriales y fracción orgánica de residuos municipales (FORM).	Se observó una mayor intensidad del proceso en las primeras fases de compostaje en composteras domésticas, afectando positivamente a la evolución del compost, mientras las características químico-físicas y la madurez de los compost obtenidos al final del proceso fueron similares en ambas escalas. Además, se observó una mayor dependencia de la temperatura externa del compostaje en composteras.



---

(Quiroz Bartra, 2017)	2017	Evaluación del compostaje domiciliario como modelo de gestión de los residuos orgánicos en la ciudad de Moyobamba, 2015	La investigación definió la participación ciudadana en composteras domiciliarias y la satisfacción social de la implementación. Se tomó como material la fracción de RSO de 20 familias durante 7 días, el material contaba en promedio conteniendo 23 tipos de residuos sólidos orgánicos domésticos, el que tiene mayor cantidad es la cáscara de plátano con 18.33%. seguido por la hoja de bijao con un 10.30% y en menor cantidad es de hoja de lechuga con un 1.50%.	El estudio presentó un grado de apropiación del tratamiento por parte de la ciudadanía del 93,7% debido al beneficio de utilizar bioabonos en jardineras, huertos urbanos entre otros. Se obtuvo un producto revalorizado de buena calidad, adecuado para el uso en actividades agrícolas principalmente en cultivos de hortalizas, flores de jardín, plantas frutales entre otros.
-----------------------	------	---	--	---

---

Elaboración: Autores