

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**



**TRANSFORMANDO RESIDUOS EN OPORTUNIDAD: ESTRATEGIAS  
PARA UNA GESTIÓN SOSTENIBLE DE RESIDUOS EN CHILLÁN**

**DANIELA ELIZABETH SAN MARTIN ZEPEDA**

HABILITACIÓN PROFESIONAL  
PRESENTADA A LA FACULTAD  
DE INGENIERÍA AGRÍCOLA DE LA  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN,  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL

**CHILLÁN-CHILE**

**2024**

**TRANSFORMANDO RESIDUOS EN OPORTUNIDAD: ESTRATEGIAS  
PARA UNA GESTIÓN SOSTENIBLE DE RESIDUOS EN CHILLÁN**

Aprobado por

José Luis Arumí Ribera  
Ingeniero Civil, Ph. D.  
Profesor Titular

---

Profesor Guía

Rosalía María Carolina Parra  
Fuentes  
Dra. Ciencias Ambientales,  
Energías Renovables  
Profesor Asociado

---

Profesor Asesor

Claudia Lorena Tramón  
Pregman  
Ingeniero Civil Químico, Dra.  
Profesor Asociado

---

Profesor Asesor

José Luis Arumí Ribera  
Ingeniero Civil, Ph. D.  
Profesor Titular

---

Director de Departamento

María Eugenia González  
Rodríguez  
Ingeniero Agrónomo, Ph. D.  
Profesor Asociado

---

Decana

## ÍNDICE DE MATERIAS

	Página
RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. OBJETIVOS .....	9
2.1. Objetivo general .....	9
2.2. Objetivos específicos.....	9
3. MARCO TEÓRICO .....	10
3.1. Analizar información asociada a la producción de los RSDyA en la ciudad de Chillán, Temuco, Chillán Viejo y Santa Juana. ....	10
3.1.1. Síntesis de información.....	10
3.1.2. Composición de los residuos. ....	10
3.1.3. Síntesis y composición de información asociada a la producción de RSDyA.....	10
3.2. Determinar alternativas de valorización de la Fracción Orgánica de los RSDyA.....	10
3.2.1. Identificación de opciones de valorización. ....	25
3.2.2. Análisis de viabilidad.....	25
3.2.3. Alternativas de valorización. ....	26
4. CONCLUSIÓN.....	29
5. BIBLIOGRAFÍA.....	30
6. ANEXO.....	34

## ÍNDICE DE TABLAS

En el anexo	Página
Tabla A1. Composición en porcentaje de la Fracción Orgánica de los RSDyA y Factor de Conversión para las comunas de Chillán, Chillán Viejo, Santa Juana y Temuco del año 2017. ....	34
Tabla A2. Toneladas de RSDyA en las comunas de Chillán, Chillán Viejo, Santa Juana y Temuco. ....	35
Tabla A3. Toneladas de RSDyA en las comunas de Chillán, Chillán Viejo, Santa Juana y Temuco. ....	36
Tabla A4. Fracción Orgánica generados por año en toneladas y su Factor de Emisión por habitante para las comunas de Chillán y Chillán Viejo. ....	37
Tabla A5. Fracción Orgánica generados por año en toneladas y su Factor de Emisión por habitante para las comunas de Santa Juana y Temuco. ....	38
Tabla A6. Descripción del proceso de producción de compost de la Figura 4.....	39
Tabla A7. Descripción del proceso de producción del vermicompost de la Figura 5.....	43
Tabla A8. Descripción del proceso de producción del biogás de la Figura 6.....	47

**ÍNDICE DE FIGURAS**

	Página
Figura 1. Número de habitantes desde el año 2014 hasta el año 2022 para las comunas de Chillán, Chillán Viejo, Santa Juana y Temuco. ....	12
Figura 2. Fracción Orgánica producida desde el año 2014 hasta el año 2022 para las comunas de Chillán, Chillán Viejo, Santa Juana y Temuco.....	15
Figura 3. Factor de Emisión $\text{kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$ para las comunas de Chillán, Chillán Viejo, Santa Juana y Temuco para los años 2014 hasta el año 2022.....	18
Figura 4. Diagrama de flujo para realizar un compostaje. ....	26
Figura 5. Diagrama de flujo para realizar un vermicompostaje. ....	27
Figura 6. Diagrama de flujo para la generación de biogás. ....	28

## **TRANSFORMANDO RESIDUOS EN OPORTUNIDAD: ESTRATEGIAS PARA UNA GESTIÓN SOSTENIBLE DE RESIDUOS EN CHILLÁN**

### **TRANSFORMING WASTE INTO OPPORTUNITY: STRATEGIES FOR SUSTAINABLE WASTE MANAGEMENT IN CHILLÁN**

**Palabras claves:** Gestión sostenible, Residuos orgánicos, compostaje, educación ambiental.

#### **RESUMEN**

El presente trabajo tiene como objetivo general explorar y proponer alternativas para la gestión sostenible de la fracción orgánica de los residuos sólidos generados en las comunas de Chillán, Chillán Viejo, Temuco y Santa Juana. La metodología empleada se basa en una revisión bibliográfica exhaustiva, complementada con la recopilación de datos relevantes de fuentes gubernamentales, lo que garantiza la fiabilidad de la información analizada. No se especifica un diseño experimental, dado que el enfoque es principalmente teórico y analítico. Los resultados indican que la fracción orgánica representa aproximadamente el 50% de los residuos generados en las comunas estudiadas, siendo Temuco y Chillán las que presentan mayores tasas de producción per cápita, atribuibles a su actividad económica más dinámica. Las conclusiones subrayan la necesidad de implementar políticas de gestión de residuos adaptadas a las características específicas de cada comuna, destacando la importancia de desarrollar infraestructuras de reciclaje y compostaje en las áreas con mayor generación de residuos, así como la promoción de prácticas de consumo sostenible y educación ambiental en todas las comunas.

## **TRANSFORMING WASTE INTO OPPORTUNITY: STRATEGIES FOR SUSTAINABLE WASTE MANAGEMENT IN CHILLÁN**

**Keywords:** Sustainable management, organic waste, composting, environmental education.

### **ABSTRACT**

The present work has the general objective of exploring and proposing alternatives for the sustainable management of the organic fraction of solid waste generated in the communes of Chillán, Chillán Viejo, Temuco, and Santa Juana. The methodology employed is based on a comprehensive literature review, complemented by the collection of relevant data from governmental sources, ensuring the reliability of the analyzed information. An experimental design is not specified, as the focus is primarily theoretical and analytical. The results indicate that the organic fraction accounts for approximately 50% of the waste generated in the studied communes, with Temuco and Chillán showing higher per capita production rates, attributable to their more dynamic economic activity. The conclusions emphasize the need to implement waste management policies tailored to the specific characteristics of each commune, highlighting the importance of developing recycling and composting infrastructures in areas with higher waste generation, as well as promoting sustainable consumption practices and environmental education in all communes.

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde los albores del razonamiento humano, la búsqueda de soluciones a las problemáticas asociadas al uso de los recursos ha sido inherente a las capacidades del progreso de la humanidad. Desde las soluciones más simples hasta las más complejas, las personas han trabajado incansablemente para generar utilidad a partir de los recursos disponibles. Estos avances han dado lugar a la vida tal como se conoce hoy en día. Sin embargo, a pesar de estos logros, alcanzar la sostenibilidad sigue siendo un desafío crucial.

Las necesidades humanas han impulsado la creación de un modelo lineal en el manejo de residuos el cual está caracterizado por extraer, producir, consumir y eliminar (Fundación Ellen MacArthur, 2014). En este contexto la eliminación o disposición final de los residuos en Chile, para antes de los años 1970 corresponden a vertederos, pero esta práctica ha sido reemplazada por la implementación de los rellenos sanitarios. Los primeros rellenos sanitarios fueron construidos desde los años 1970 a los 1980, adoptando así una estrategia previamente probada en Estados Unidos (González y Stamm, 2021).

Los rellenos sanitarios son utilizados para la eliminación o disposición final de residuos sólidos tales sean Residuos Sólidos Domiciliarios y Asimilables (RSDyA), esto con el fin de disminuir las molestias, seguridad y riesgos para la salud de la población. Un relleno sanitario consta de capas de basura compactadas que son cubiertas diariamente (Decreto 189, 2005). Estas

instalaciones deben cumplir con la normativa correspondiente, en nuestro país se rigen por el Decreto 189 el cual aprueba el reglamento sobre: condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios (Decreto 189, 2005).

La gestión de los rellenos sanitarios es un desafío con problemáticas propias de la zona donde se ubican, por lo que es indispensable generar una eficiencia en la prevención y valorización de los residuos y así evitar problemas que puedan afectar a la salud de las personas o al medio ambiente (MMA, 2019).

En Chile, la clasificación de residuos varía según sus características y origen. Las características se distinguen por tres categorías principales las cuales son residuos peligrosos, residuos no peligrosos y residuos inertes. Los residuos peligrosos presentan riesgos para la salud pública o el medio ambiente. Por otro lado, los residuos no peligrosos no representan riesgos para la salud pública y no causan alteraciones adversas al medio ambiente. Por último, los residuos inertes son aquellos que no experimentan cambios físicos, químicos o biológicos, no son combustibles, no son solubles ni biodegradables, y no interactúan con las materias circundantes, según la definición del D.S. N°594/99 MINSAL (Ministerio de Salud, 2000).

En cuanto a su origen, los residuos sólidos se dividen en dos categorías principales las cuales son residuos sólidos municipales (RSM) y residuos industriales. Los RSM incluyen los RSDyA, así como residuos de servicios, pequeñas industrias, limpieza de vías públicas, áreas verdes y playas. Los

residuos industriales, por otro lado, provienen de procesos de fabricación, uso, limpieza, mantenimiento, transformación y consumo en actividades industriales. Estos residuos, ya sean líquidos, sólidos o una combinación de ambos, presentan características físicas, microbiológicas o químicas que los diferencian de los residuos domésticos, según la definición del D.S. N°594/99 MINSAL (Ministerio de Salud, 2000). Cabe recalcar que solo las RSDyA de origen orgánico son de interés para esta propuesta de investigación bibliográfica.

Para el año 2018 en Chile los sitios de disposición final de RSDyA que están activos varían desde basurales, rellenos sanitarios, rellenos manuales y vertederos. Por otra parte, en la región del Ñuble se cuenta con un solo relleno sanitario para la disposición final de sus residuos (SUBDERE, 2020).

Los residuos totales generados a nivel nacional en el año 2020 fueron aproximadamente de unos 18 millones de toneladas, de los cuales un 96,7% son residuos no peligrosos, mientras que el 3,3% corresponden a residuos peligrosos. Cabe recalcar que solo el 20% de los residuos no peligrosos son valorizados, mientras que el 80% fue eliminado en rellenos sanitarios y vertederos (MMA, 2023).

En el año 2020 los RSM generados en Chile fueron aproximadamente de unos 7,9 millones de toneladas, para una población de aproximadamente 21 millones de habitantes, lo cual indica que los residuos generados por habitante son de 1,03 kilos al día en promedio. Para la región de Ñuble la generación de

residuos municipales por habitantes en el año 2020 fue aproximadamente de 0,8 kilogramos al día por habitante, esta información fue obtenida del informe de MMA del año 2020 (MMA, 2023).

La razón de escoger los RSDyA para este trabajo, radica en que los residuos de Chillán para el año 2011 estaban constituidos por 64,2% de material con potencial para compostaje, 23% con potencial para ser reciclado y el restante 12,8% considerado inprovechable (Solís, 2016; Ilustre Municipalidad de Chillán, 2011). Por otra parte, según el Plan Maestro de Residuos Domiciliarios (PMRS), manejar los residuos sólidos domiciliarios en su punto de disposición final conduce a un potencial riesgo de contaminación tanto de aguas subterráneas como de suelos (Acuña et al., 2019). Estos residuos son eliminados principalmente en rellenos sanitarios y vertederos, pero se está promoviendo su valorización, que incluye actividades como el reciclaje, la valorización energética, el compostaje, entre otros (MMA, 2019).

El concepto de la economía circular se inspira en la naturaleza dónde no existen los residuos como tal ya que estos son transformados a través de procesos naturales de degradación u otros. Una diferenciación clave es que el concepto de la economía circular es llevado a cabo por la intervención humana, donde los desechos en lugar de ser simplemente eliminados en vertederos u otros; experimentan tratamientos con el objetivo principal de la recuperación, el reciclaje, la reducción, la reutilización y la reparación de estos residuos, evitando así la generación de desechos que terminarían siendo

descartados (Fabiola Cabrera, 2021). Se rige por tres principios clave. En primer lugar, aboga por la eliminación de residuos y contaminación desde la etapa de diseño, fomentando la creación de productos que minimicen su impacto ambiental. En segundo lugar, promueve el mantenimiento del uso de productos y materiales tanto como sea posible, prolongando su vida útil y reduciendo la necesidad de nuevas materias primas. Por último, busca la regeneración de los sistemas naturales, integrando prácticas que restauren y preserven el equilibrio de los ecosistemas (SINIA, 2021). Este concepto es fundamental en el ámbito de la sostenibilidad ambiental.

La presente tesis se enfocará en la exploración de soluciones que no sólo aborden estos desafíos, sino que también contribuyan a establecer prácticas sostenibles y eficientes en el ámbito de la Fracción Orgánica, promoviendo así un futuro más equilibrado y responsable con los recursos que pueden ser de utilidad, para ello es crucial destacar que el tema de interés para esta revisión bibliográfica son la Fracción Orgánica que provienen de los RSDyA los cuales por definición corresponden a residuos sólidos, desperdicios generados en viviendas y edificios habitacionales, basuras, desechos de locales comerciales, hoteles, cárceles, establecimientos educacionales y locales de expendio de alimentos (Decreto 189, 2005).

El estudio que se realizará en este trabajo se fundamenta en una búsqueda de datos relevantes que aborda aspectos de las comunas de Chillán, Temuco, Chillán Viejo y Santa Juana, así como el volumen de Fracción Orgánica, las

prácticas vigentes y las tendencias en la gestión de estos desechos a nivel comunal para las comunas de estudio.

La recopilación de esta información procederá de fuentes gubernamentales, asegurando no solo la confiabilidad de los datos, sino también respaldando el análisis crítico que se presentará en el documento. El objetivo es evaluar alternativas de gestión de la Fracción Orgánica de los RSDyA generados en las comunas de estudio y proponer una estrategia para la gestión de residuos que se ajuste de manera efectiva a las circunstancias futuras. Considerando, además, la identificación de las áreas críticas que demandan atención inmediata en el contexto de la gestión de residuos. El análisis también explorará opciones de valorización con el objetivo no solo de mitigar los impactos negativos en el medio ambiente y la salud pública, sino también de impulsar la adopción de una estrategia más sostenible.

Como resultado se espera contar con planes a futuro que eviten la saturación y el desperdicio de residuos. Este enfoque busca no solo alcanzar la sostenibilidad ambiental, sino también considerar una transición hacia una economía circular. A lo largo del documento, se examinarán detalladamente los desafíos existentes, proponiendo soluciones y estrategias para avanzar hacia un sistema de gestión de residuos más eficiente y respetuoso con el entorno.

## **2. OBJETIVOS**

### 2.1. Objetivo general

Evaluar alternativas de valorización de la Fracción Orgánica de los RSDyA generados en Chillán, Temuco, Chillán Viejo y Santa Juana.

### 2.2. Objetivos específicos

1. Analizar información asociada a la producción de los RSDyA en la ciudad de Chillán, Temuco, Chillán Viejo y Santa Juana.
2. Determinar alternativas de valorización de la Fracción Orgánica de los RSDyA.

### **3. MARCO TEÓRICO**

3.1 Analizar información asociada a la producción de los RSDyA en la ciudad de Chillán, Temuco, Chillán Viejo y Santa Juana.

#### 3.1.1 Síntesis de información.

Identificar y recopilar datos de RSDyA de las comunas en estudio obtenidos de la plataforma gubernamental Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC) que contiene datos de emisiones de transferencias hacia el relleno sanitario ECOBIO ubicado a las afueras de Chillán Viejo. Para complementar esta información, se utilizarán plataformas institucionales, tales como las del Ministerio del Medio Ambiente (MMA), Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA), informes ambientales y otras fuentes relacionadas con la gestión de residuos.

La estimación del Factor de Emisión de la Fracción Orgánica de los RSDyA por habitante para los años 2014 hasta 2022 será obtenida a partir de la proporción de las toneladas de Fracción Orgánica de los RSDyA respecto a la proyección de los habitantes en las comunas en estudio obtenida de la página gubernamental del INE.

#### 3.1.2 Composición de los residuos.

Establecer la composición de los residuos generados en Chillán los cuales son RSDyA con el fin de comprender mejor su naturaleza con antecedentes de interés definiendo el tipo de residuo, el cual en este caso particular son los

RSDyA, esto a través de documentos gubernamentales las cuales disponen de información relevante.

Establecer el impacto generado de las prácticas de gestión de residuos actuales y proyectadas, para obtener una visión actualizada y certera sobre el manejo de Fracción Orgánica.

### 3.1.3 Síntesis y composición de información asociada a la producción de RSDyA.

En la Figura 1 se puede observar el comportamiento del crecimiento poblacional, en número de habitantes para las comunas de Chillán, Chillán Viejo, Santa Juana y Temuco, para el periodo comprendido entre los años 2014 al 2022, observando un leve incremento en el número de habitantes. La comuna con mayor número de habitantes es Temuco, seguida por Chillán, Chillán Viejo y Santa Juana respectivamente.

Según los datos de la Figura 1, cuyo detalle se encuentra en el Tabla A3, el número de habitantes en la comuna de Chillán varía entre 188.000 en el año 2014 y 202.000 en el año 2022. En la comuna de Temuco, cuyos valores de población varían entre 289.000 y 307.000, se realizará una comparación con la comuna de Chillán. En cuanto a la comuna de Chillán Viejo, la población fluctúa entre 30.000 y 35.000 habitantes. Finalmente, para la comuna de Santa Juana, que se comparará con la comuna de Chillán Viejo, los valores de población oscilan entre 14.000 y 15.000 habitantes.

Los datos del número de habitantes corresponden al documento proporcionado por el INE de estimaciones y proyecciones desde el año 2002 hasta el año 2035 por comunas (INE, 2017).

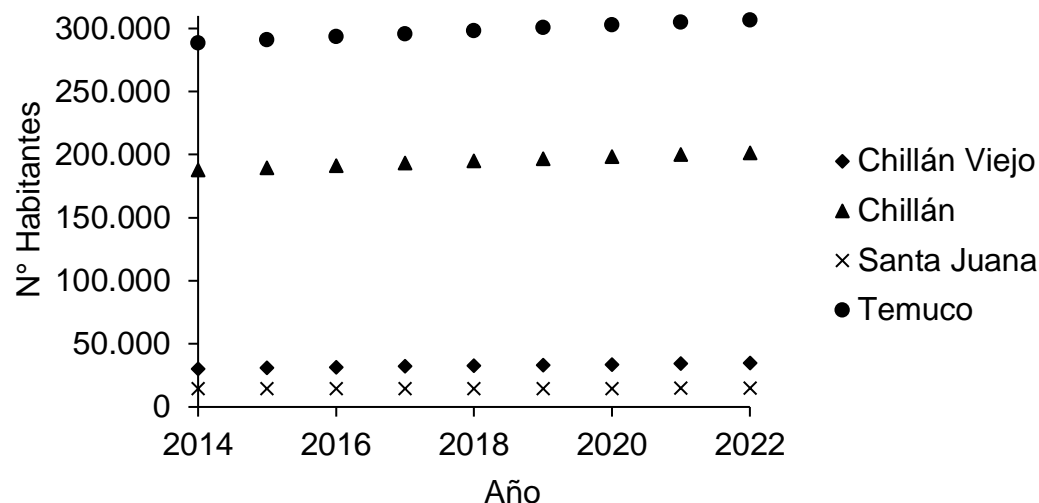


Figura 1. Número de habitantes desde el año 2014 hasta el año 2022 para las comunas de Chillán, Chillán Viejo, Santa Juana y Temuco.

En la Figura 2 se muestra la cantidad de Fracción Orgánica en toneladas por comuna, incluyendo Chillán, Chillán Viejo, Santa Juana y Temuco, para los años 2014 a 2022. Hasta 2019, estas comunas mantuvieron valores estables en la generación de residuos orgánicos. A partir de 2020, se observa una notable variación debido a cambios en la generación de RSDyA, que incluyen residuos domésticos, comerciales, industriales e institucionales, así como fracciones recolectadas selectivamente. Estas variaciones coincidieron con el

periodo de pandemia en Chile desde el año 2020 hasta el año 2023 (Gobierno de Chile, 2023).

Los valores de toneladas de RSDyA producidos en la comuna de Chillán varían desde 66.000 hasta 82.000 entre los años 2014 y 2022. Para la comuna de Temuco, los valores varían desde 88.000 hasta 123.000. En la comuna de Chillán Viejo, estos valores oscilan entre 8.000 y 12.000, mientras que, en la comuna de Santa Juana, los valores varían entre 3.000 y 8.000.

Respecto a la Figura 2, cuyos valores se encuentran con mayor detalle en el Tabla A2, se observa una disminución de residuos entre los años 2018 y 2019 para la comuna de Chillán, donde la cantidad de residuos varió de 73.000 a 72.000. Sin embargo, se produce un aumento de residuos entre los años 2019 y 2020, con valores que van de 72.000 a 75.000.

En la comuna de Temuco, existe un valor atípico en el año 2020 y una disminución de residuos generados entre los años 2019 y 2021, con valores de 113.000 y 102.000 respectivamente. Posteriormente, se observa un aumento en la generación de residuos entre los años 2021 y 2022, alcanzando un valor de 123.000 en este último año.

En la comuna de Chillán Viejo, se observa una disminución de residuos entre los años 2000 y 2021, con valores de 11.000 y 10.000 respectivamente.

Para la comuna de Santa Juana, hay una disminución de residuos entre los años 2018 y 2019, con valores de 4.000 y 3.000 respectivamente. Por otra

parte, entre los años 2019 y 2020, se registra un aumento de 3.000 a 8.000. Finalmente, ocurre una disminución de 1.000 toneladas por año desde el año 2020 hasta el año 2022.

Según el informe de la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile de marzo de 2023, los RSDyA aumentaron un 43,6% en 2020 respecto al 39,9% de 2019 (Vivanco, 2023). Este aumento justifica los cambios observados en los residuos de Fracción Orgánica desde el año 2020 hasta el año 2022, como se detalla en los Anexos 4 y 5 que respaldan la Figura 2.

Es relevante señalar que los datos correspondientes a Temuco para el año 2020 fueron omitidos de la Figura 2 debido a discrepancias significativas en relación con años precedentes y sucesivos. Además, de acuerdo con la información solicitada bajo los términos de la ley de transparencia, la municipalidad de Temuco no cuenta con registros disponibles para dicho año ni para períodos anteriores.

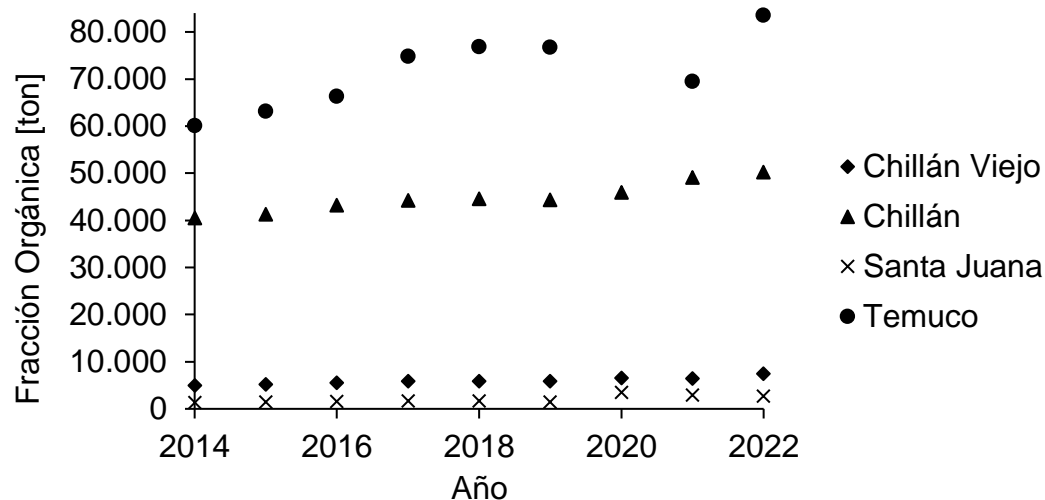


Figura 2. Fracción Orgánica producida desde el año 2014 hasta el año 2022 para las comunas de Chillán, Chillán Viejo, Santa Juana y Temuco.

La Figura 3 es obtenida por los siguientes supuestos utilizados para la determinación del Factor de Emisión para las comunas de Chillán, Chillán Viejo, Santa Juana y Temuco del Tabla A4 y Tabla A5 son el porcentaje de Fracción Orgánica de los RSDyA obtenida del Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos y RETC del año 2017 el cual es presentado en el Tabla A1 con el cual se obtiene la Fracción Orgánica en toneladas por año de los RSDyA que finalmente está representada en la Figura 3.

El Factor de Emisión en la Figura 3 por habitante varia desde 0,6 hasta 0,7 kg  $\text{hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$  de Fracción Orgánica para la comuna de Chillán, mientras que el Factor de Emisión por habitante de Temuco varia desde 0,6 hasta 0,7 kg  $\text{hab}^{-1}$

$1 \text{ día}^{-1}$  para un periodo de años desde el 2014 hasta el año 2022. Cabe recalcar que un valor de los residuos generados en Temuco para el año 2020 en la Tabla A5 es atípico por lo cual será descartado para los análisis de la información.

El Factor de Emisión en la Figura 3 por habitante varía desde 0,5 hasta 0,6  $\text{kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$  para la comuna de Chillán Viejo, mientras que el Factor de Emisión por habitante de Santa Juana varía desde 0,3 hasta 0,6  $\text{kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$  para un periodo de años desde el 2014 hasta el año 2022.

Según la Figura 3, cuyo detalle de datos está en la Tabla A3, en la comuna de Chillán, para el año 2016, se generaron 0,6  $\text{kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$  de Fracción Orgánica. En el mismo año, en la comuna de Chillán se generaron 1,1  $\text{kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$ , que representan la totalidad de los residuos RSDyA (Acuña et al., 2019). Al multiplicar este valor por el Factor de Conversión, se obtiene un Factor de Emisión de 0,7  $\text{kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$ .

En el año 2017, según la Figura 3, se generaron 0,6  $\text{kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$  de Fracción Orgánica para la comuna de Chillán se produjo un promedio de 1,0  $\text{kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$  de RSDyA (SUBDERE, 2018). Al aplicar el factor de conversión de 0,61 de la Tabla A1, se obtiene el Factor de Emisión de 0,6  $\text{kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$ .

En el año 2018, según la Figura 3, el valor obtenido para la comuna de Chillán corresponde a 0,6  $\text{kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$ . Por otra parte, tasa de residuos por habitante para el año 2018 es aproximadamente 1,0  $\text{kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$  (Díaz M, 2018). Al

aplicar el factor de conversión, se obtiene un Factor de Emisión de  $0,6 \text{ kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$ .

Para el año 2017, según la Figura 3, la comuna de Temuco obtuvo un Factor de Emisión de  $0,7 \text{ kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$ . Mientras que en el año 2018 se generan aproximadamente  $1,01 \text{ kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$  de RSDyA por habitante (SUBDERE, 2018). Al realizar la conversión, se obtiene un valor aproximado de  $0,7 \text{ kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$  para la Fracción Orgánica.

El valor obtenido para el año 2021 de los RSDyA de la Fracción Orgánica, según la Figura 3, corresponde a  $0,6 \text{ kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$ . Por otra parte, la generación diaria de RSDyA para Temuco corresponde a  $0,92 \text{ kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$  (SUBDERE, 2018), al realizar la conversión se obtiene que el Factor de Emisión es  $0,6 \text{ kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$ .

En el año 2017, según la Figura 3, se generaron  $0,5 \text{ kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$  de Fracción Orgánica para la comuna de Chillán Viejo. En ese mismo año, Chillán produjo un promedio de  $0,85 \text{ kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$  de RSDyA (SUBDERE, 2018). Al aplicar el factor de conversión de 0,62 del Tabla A1, se obtiene el Factor de Emisión  $0,5 \text{ kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$ .

En el año 2018, según la Figura 3, se generaron  $0,5 \text{ kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$  de Fracción Orgánica para la comuna de Chillán Viejo. En ese mismo año, Chillán produjo un promedio de  $0,85 \text{ kg hab}^{-1} \text{ día}^{-1}$  de RSDyA (SUBDERE, 2018). Al aplicar el

factor de conversión de 0,62 del Tabla A1, se obtiene el Factor de Emisión 0,5 kg hab<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>.

Para el año 2017, la comuna de Santa Juana obtuvo un Factor de Emisión de 0,3 kg hab<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Para el mismo año se estableció un aproximado de 0,68 kg hab<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> de RSDyA por habitante (SUBDERE, 2018). Al realizar la conversión, se obtiene un valor de 0,3 kg hab<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> para la Fracción Orgánica.

Para el año 2018, la comuna de Santa Juana obtuvo un Factor de Emisión de 0,3 kg hab<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup>. Para el mismo año se generó aproximadamente 0,73 kg hab<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> de RSDyA por habitante (GAIA, 2021). Al realizar la conversión, se obtiene un valor de 0,3 kg hab<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> para la Fracción Orgánica.

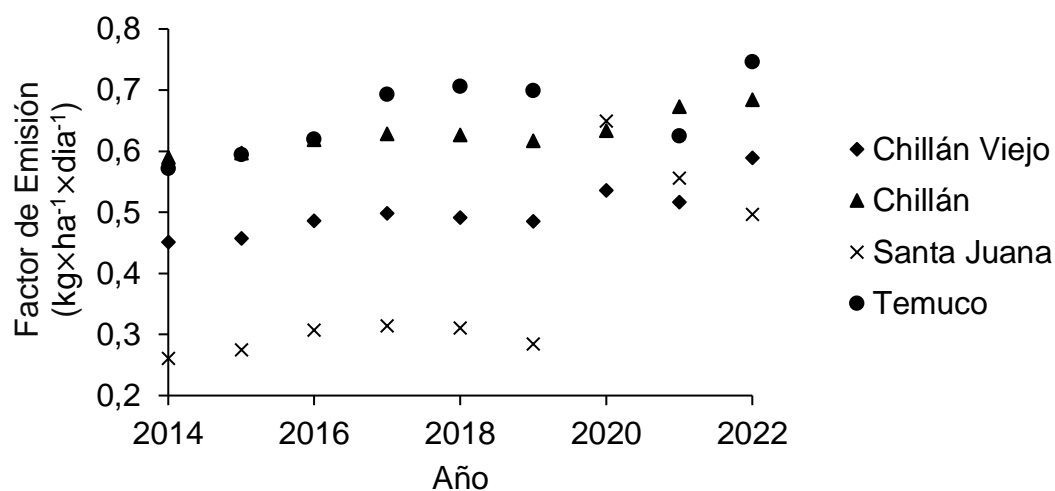


Figura 3. Factor de Emisión kg hab<sup>-1</sup> día<sup>-1</sup> para las comunas de Chillán, Chillán Viejo, Santa Juana y Temuco para los años 2014 hasta el año 2022.

En Chillán, la actividad económica es destacada tanto en el ámbito agrícola como en el comercial. La modernización de la ciudad ha visto una considerable inversión en comercio, con la construcción de nuevos centros comerciales, hoteles, supermercados y cadenas de retail. Esta expansión ha coexistido con el comercio tradicional, manteniendo la identidad cultural de la ciudad. La combinación de comercio moderno y tradicional ha incrementado significativamente la actividad económica y la generación de RSDyA debido a un mayor consumo y la creciente urbanización (Municipalidad de Chillán, s.f).

La actividad agrícola en Chillán también contribuye de manera importante a la economía local, con cultivos intensivos de trigo, remolacha, maíz, y otros productos. La utilización de suelos de alta fertilidad para la agricultura y el pastoreo genera residuos orgánicos, los cuales, junto con los residuos generados por el comercio, aumentan la cantidad de RSDyA en la comuna. La diversidad de productos agrícolas y la coexistencia con una creciente actividad comercial han hecho que Chillán experimente un notable incremento en la producción de residuos, requiriendo una gestión eficiente de estos para mantener la sostenibilidad ambiental de la comuna (Municipalidad de Chillán, s.f).

Temuco, la comuna con el mayor número de habitantes entre las estudiadas, presenta una economía diversificada que incluye sectores como el comercio, los servicios, la educación y las actividades agroindustriales. La expansión de estos sectores económicos ha generado numerosas oportunidades de empleo

y ha mejorado las condiciones de vida para sus residentes, lo que ha atraído a una población creciente. Según el Servicio de Impuestos Internos (SII), en 2016 Temuco tenía 18.991 empresas registradas con ventas valuadas en 17.217.187 UF, destacando la alta presencia de MiPymes. Los sectores más prominentes incluyen el comercio (30,4%), actividades inmobiliarias y empresariales (14,3%), y el transporte y almacenamiento (11,7%), con el sector terciario empleando al 51,1% de los trabajadores. Esta diversificación económica no solo impulsa el crecimiento poblacional, sino que también incrementa la producción de RSDyA, ya que una mayor población y actividad económica generalmente resultan en un mayor consumo de bienes y servicios, por ende, en una mayor generación de residuos (Becker M., 2020).

El crecimiento sostenido de la población y la economía en Temuco tiene un impacto significativo en la generación de RSDyA. A medida que más personas se trasladan a la comuna en busca de empleo y mejores oportunidades, el consumo de bienes y servicios aumenta, lo que a su vez incrementa la cantidad de residuos generados. En 2016, el sector de la construcción representaba el 30,6% del empleo en Temuco, seguido por el comercio (12,4%) y la enseñanza (8,3%). Además, el sector de servicios sociales y de salud y las actividades inmobiliarias y empresariales también contribuyen significativamente al empleo y a la actividad económica de la comuna. La mayor generación de residuos puede atribuirse tanto al aumento de la actividad comercial y empresarial como al crecimiento de la población

residente, que pasa de 289.000 habitantes en 2014 a 307.000 en 2022. Este crecimiento poblacional y económico subraya la necesidad de políticas efectivas de gestión de residuos para manejar el incremento en la producción de RSDyA en Temuco (Becker M., 2020).

La actividad económica de Chillán Viejo se caracteriza por una alta participación de trabajadores asalariados (70,7%) y una significativa proporción de trabajadores independientes (18,5%), que se dedican principalmente al comercio minorista y a actividades agrícola-ganaderas. La mayor parte de la población económicamente activa se desempeña en el sector de comercio al por mayor y menor (23,4%), seguido de la industria manufacturera (13,6%) y la agricultura, ganadería, caza y silvicultura (10,6%). Esta diversidad de actividades económicas indica una estructura económica en desarrollo con una mezcla de sectores primarios y secundarios que influyen en la dinámica laboral y en la generación de residuos (Aylwin F., 2021).

La significativa participación en el comercio y la industria manufacturera, junto con las actividades agrícolas, contribuye a una variada producción de RSDyA en Chillán Viejo. El comercio minorista y las actividades industriales generan una gran cantidad de residuos sólidos, incluyendo empaques, productos desechados y residuos orgánicos. Por otro lado, las actividades agrícolas y ganaderas aportan residuos orgánicos adicionales. Esta combinación de fuentes de residuos requiere una gestión integral y eficiente para abordar la

acumulación y el tratamiento de los RSDyA, asegurando la sostenibilidad ambiental de la comuna (Aylwin F., 2021).

La actividad económica de Santa Juana en 2018 tuvo un tamaño de mercado de US\$ 17 millones, con sectores clave como las industrias manufactureras no metálicas, el comercio al por mayor y menor, la reparación de vehículos y la construcción. Entre los subrubros más destacados se encuentran la elaboración de otros productos alimenticios, el comercio al por menor de diversos productos nuevos y la construcción, que representan el 35,9%, 15,3% y 15,2% del mercado total, respectivamente. Esta estructura económica diversa y en crecimiento se refleja en la generación de una variedad de RSDyA, desde residuos industriales hasta desechos comerciales y de construcción, requiriendo una gestión adecuada para su manejo sostenible (Universidad de Concepción, 2020).

El crecimiento de la fuerza laboral en Santa Juana, a una tasa promedio anual del 3,3%, es indicativo del desarrollo económico de la comuna. En 2018, las actividades de servicios comunitarios, sociales y personales emplearon al 45,1% de la fuerza laboral, seguidas por el sector educativo y las industrias manufactureras no metálicas con 21,1% y 13,6%, respectivamente. Este crecimiento laboral, particularmente en sectores con alta generación de residuos como las manufacturas y la construcción, contribuye a un aumento en la producción de RSDyA. La capacidad de la comuna para gestionar eficientemente estos residuos es crucial para mantener un entorno limpio y

saludable, y para sostener el crecimiento económico y social (Universidad de Concepción, 2020).

#### Crecimiento Poblacional y Producción de Residuos

Las comunas de Chillán y Temuco muestran una tendencia de crecimiento poblacional más pronunciada en comparación con Chillán Viejo y Santa Juana. Esta diferencia en crecimiento poblacional se refleja en la cantidad de residuos producidos. Temuco, con la mayor población, también presenta la mayor producción de residuos, seguido por Chillán. Esto sugiere una correlación directa entre el tamaño de la población y la cantidad de RSDyA generados.

#### Fracción Orgánica de los Residuos

El análisis de la fracción orgánica, que constituye el 50% de los residuos en las cuatro comunas, es fundamental para entender la composición de los RSDyA. Los cálculos de producción per cápita de la fracción orgánica indican que Temuco y Chillán tienen cifras más altas en comparación con Chillán Viejo y Santa Juana. La mayor producción per cápita en Temuco y Chillán puede atribuirse a sus mayores actividades económicas y niveles de consumo.

#### Impacto de la Actividad Económica

La actividad económica tiene un impacto significativo en la generación de residuos. En Temuco y Chillán, el crecimiento del comercio y la modernización de las infraestructuras contribuyen al aumento de la producción de residuos.

En contraste, en Chillán Viejo y Santa Juana, donde las actividades agrícolas son predominantes, la producción de residuos es menor, aunque las actividades agrícolas también generan una fracción considerable de residuos orgánicos.

### Gestión de Residuos

Las diferencias en la producción de residuos entre las comunas subrayan la necesidad de enfoques personalizados en la gestión de residuos. Temuco y Chillán requieren estrategias robustas para manejar la mayor cantidad de residuos generados, incluyendo programas de reciclaje y compostaje para la fracción orgánica. Chillán Viejo y Santa Juana, aunque generan menos residuos, también necesitan mejorar sus prácticas de gestión para manejar eficientemente la fracción orgánica y reducir la cantidad de residuos enviados a vertederos

### 3.2 Determinar alternativas de valorización de la Fracción Orgánica de los RSDyA.

#### 3.2.1 Identificación de opciones de valorización.

Investigar las tecnologías y métodos de valorización de residuos que se aplican a la Fracción Orgánica sólidos domiciliarios, como el compostaje, reciclaje y recuperación de energía, entre otros. De acuerdo con el resultado de la investigación determinar una estrategia acorde a las necesidades de la ciudad de Chillán para la correcta disposición de la Fracción Orgánica de origen domiciliario. Los datos de valorización de residuos y tecnologías serán obtenidos a partir del estudio de bibliografía de índole científica y gubernamentales.

#### 3.2.2 Análisis de viabilidad.

Analizar la viabilidad tecnológica y ambiental de cada alternativa de valorización y tecnología, a través de una comparación de cada opción tecnológica y de valorización, factibilidad económica y sostenibilidad ambiental con el fin de optimizar la gestión de Fracción Orgánica de origen domiciliario de acuerdo con las necesidades de Chillán. Se determinará la viabilidad a través de una comparación por comunas de antecedentes preexistentes en el país de Chile en formato de documentación, papers, entre otros; ligados al tema en cuestión de los cuales deben contener información sobre gestión de residuos, reciclaje de residuos, eliminación y valorización de estos.

Opciones de valorización:

### 3.2.3 Alternativas de valorización.

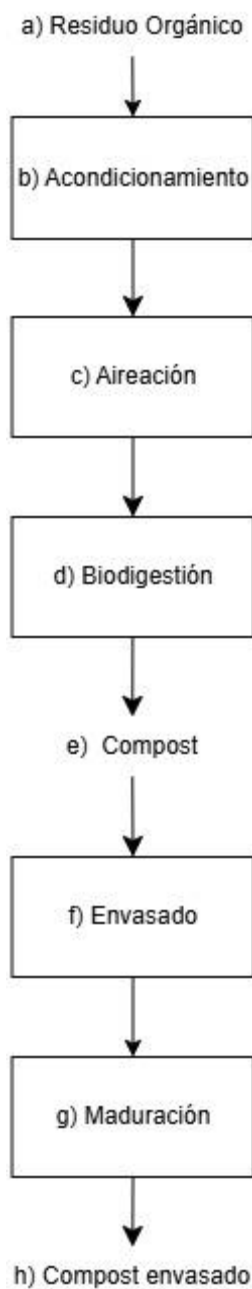


Figura 4. Diagrama de flujo para realizar un compostaje.

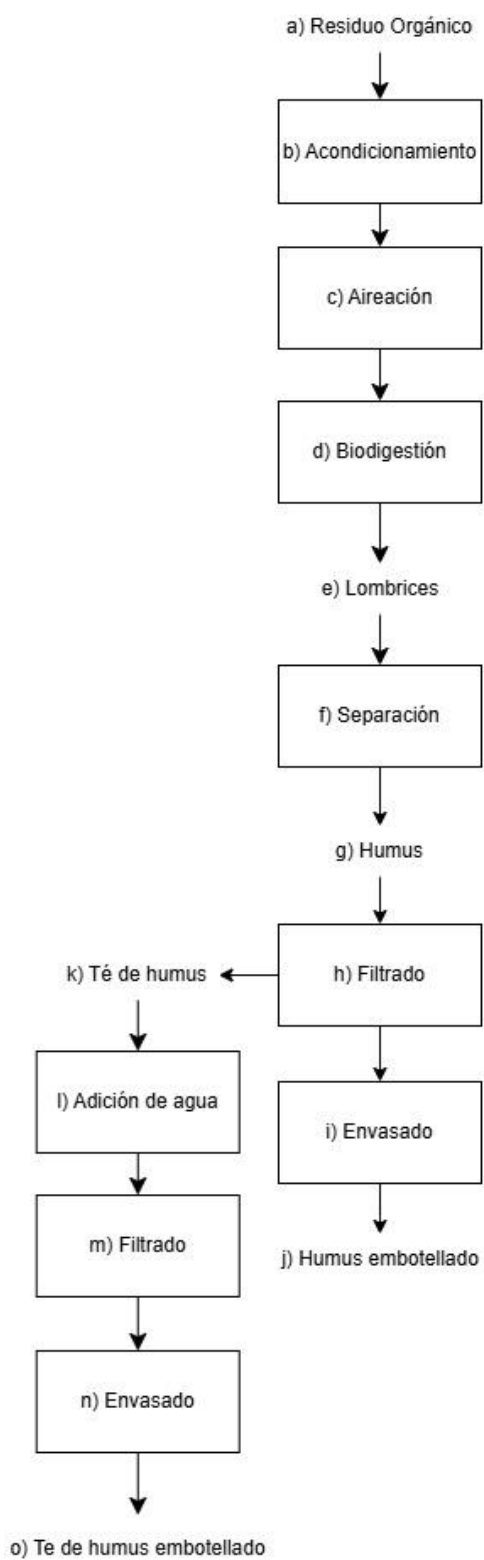


Figura 5. Diagrama de flujo para realizar un vermicompostaje.

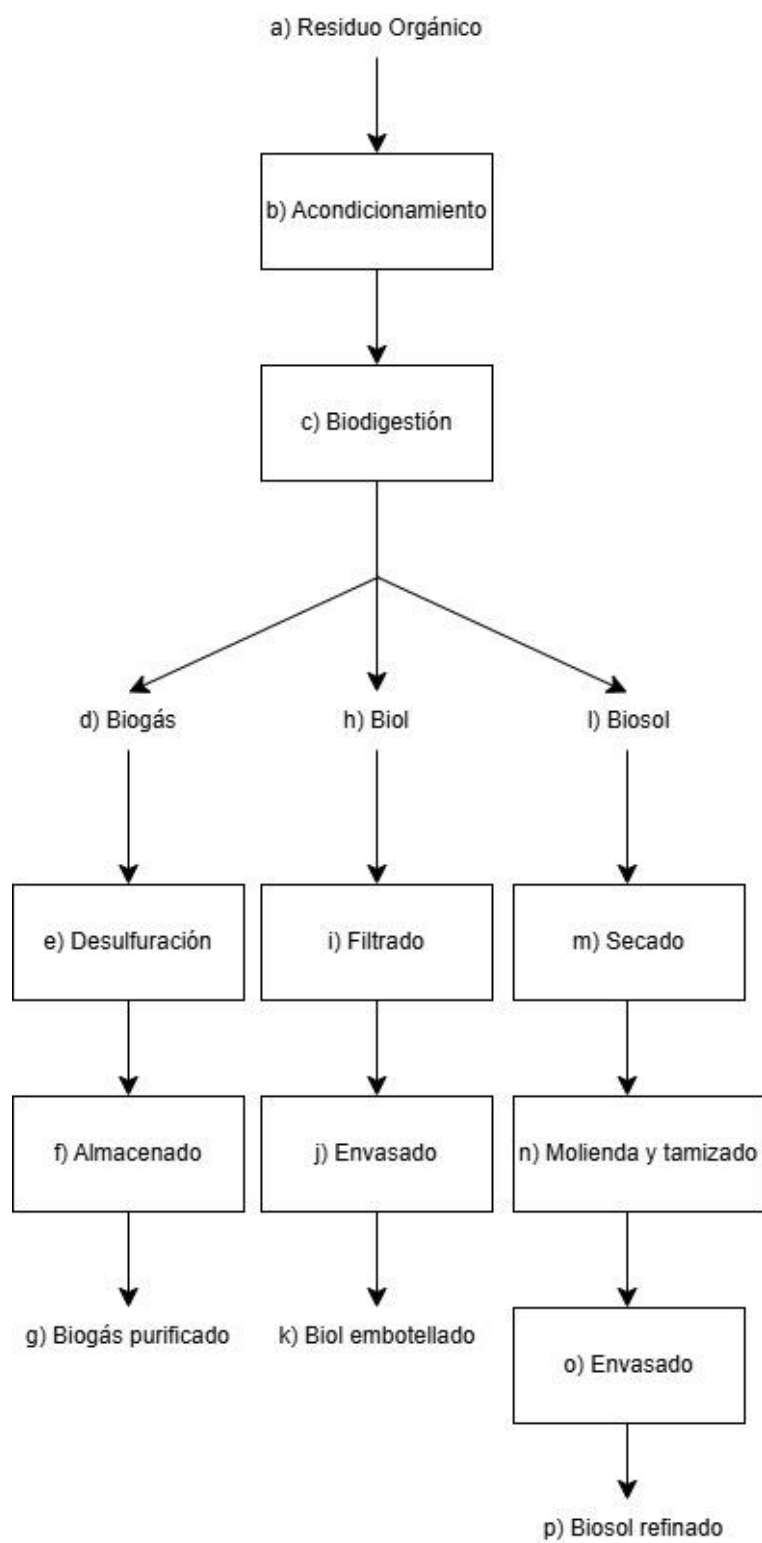


Figura 6. Diagrama de flujo para la generación de biogás.

#### **4. CONCLUSIÓN**

El análisis de la producción de RSDyA en Chillán, Chillán Viejo, Temuco y Santa Juana muestra una clara relación entre el crecimiento poblacional, la actividad económica y la generación de residuos. Temuco y Chillán, con sus mayores poblaciones y actividades económicas más dinámicas, generan más residuos en comparación con Chillán Viejo y Santa Juana.

Para abordar los desafíos de la gestión de residuos, es crucial implementar políticas adaptadas a las características de cada comuna. En Temuco y Chillán, es necesario desarrollar infraestructuras de reciclaje y compostaje, y fomentar prácticas de consumo sostenible. En Chillán Viejo y Santa Juana, aunque las necesidades son diferentes, también se debe trabajar en la mejora de las prácticas de manejo de residuos orgánicos y en la educación de la población sobre la importancia de la reducción y el reciclaje.

La gestión sostenible de residuos no solo mitigará los impactos ambientales, sino que también contribuirá a la mejora de la calidad de vida de los habitantes y al desarrollo sostenible de estas comunas.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

Acuña, A., D. Saez, J. León, A. Albornoz, C. Arriagada, R. Briones, J. Catriao, F. Cisterna, F. Quezada, F. Lopez, N. Anabalón, G. Martínez, A. Valenzuela, V. Erratchou & F. Llanos. (2019). PLADECO. Municipalidad de Chillán.

Aylwin, F. (2021). Plan Comunal de Cultura Chillán Viejo. Chillán Viejo.

Becker, M. (2020). Plan de Desarrollo Comunal Temuco (PLADECO). Universidad de la Frontera.

Cabrera, F. (2021). Economía circular: conceptos y referencia legislativa sobre residuos domésticos en la Unión Europea y China. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN).

Díaz, M. (2019). Tasa de basura por habitante: Chillán rompe tendencia al alza. La Discusión.

GAIA. (2021). Estudio de caso: Estrategia Basura Cero en Santa Juana. Autor.

Gobierno de Chile. (2023). Fin de alerta sanitaria por covid-19 y virus respiratorios: ¿Qué pasa con las mascarillas y el teletrabajo?. Autor.

González, P., C. Stamm. (2021). Primera Generación de Rellenos Sanitarios en Santiago de Chile: Entre la Modernización Técnica y los Conflictos Socioambientales Urbanos (1970-2021). Scielo.  
<http://dx.doi.org/10.4067/S0719-26812022000100312>.

Instituto Nacional de Estadísticas (INE). (2017). Resultados CENSO 2017.

Autor.

Ludlow, J., F. Jalil-Vega, X. Schmidt, R.A. Garrido, A. Hawkes, I. Staffell, & P.

Balcombe. (2021). Organic waste to energy: Resource potential and barriers to uptake in Chile. Sustainable Production and Consumption.

<https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.08.017>

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2005). Decreto 189 Aprueba

Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y de Seguridad Básicas en los Rellenos Sanitarios. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN).

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2019). Quinto Reporte del Estado del

Medio Ambiente (REMA) 2019. Gobierno de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2020). C-5: Residuos. Autor.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2020). Estrategia Nacional de Fracción

Orgánica Chile 2040. Autor.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2023). Octavo Reporte del Estado del

Medio Ambiente. Autor.

Municipalidad de Chillán. Actividad Económica. Autor.

Núcleo Biotecnología Curauma. (2019). Estudio de Factibilidad Del

Funcionamiento de Tecnologías que procesen Residuos Sólidos

Domiciliarios, Asimilables y Otros. Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE).

Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC). (2017).

2017: Generación municipal de residuos no peligrosos. Autor.

Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC). (2018).

2018: Generación municipal de residuos no peligrosos. Autor.

Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC). (2019).

2019: Generación municipal de residuos no peligrosos. Autor.

Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC). (2020).

2020: Generación municipal de residuos no peligrosos. Autor.

Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC). (2021).

2021: Generación municipal de residuos no peligrosos. Autor.

Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes (RETC). (2022).

2022: Generación municipal de residuos no peligrosos. Autor.

Servicio de Impuestos Internos (SII). (2016). Estadísticas de empresas por rubro, subrubro, actividad económica, región y comuna (2005-2015).

Autor.

Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). (2021). Informe del Estado del Medio Ambiente. Capítulo 10. Ministerio del Medio Ambiente (MMA).

Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE). (2017).

Línea Base Diagnóstico y Catastro de Residuos Sólidos Domiciliarios  
Captura Año 2017. Autor.

Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE). (2018).

Diagnóstico de la Situación por Comuna y por Región en Materia de  
RSD y Asimilables. Autor.

Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo (SUBDERE). (2020).

Estrategia Regional de Desarrollo de la Región de Ñuble 2020 – 2028.  
Autor.

Universidad de Concepción. (2020). Centro de Estudios de Sistemas de

Innovación. ADALYTICS. <https://adalytics.cl/geo/8/81/8109>

Vivanco, E. (2023). Residuos: Conceptos, datos de residuos generados y  
regulación nacional. Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN).

## 6. ANEXO

Tabla A1. Composición en porcentaje de la Fracción Orgánica de los RSDyA y Factor de Conversión para las comunas de Chillán, Chillán Viejo, Santa Juana y Temuco del año 2017.

<b>Comuna</b>	<b>Fracción Orgánica de los RSDyA</b> [%]	<b>Factor de Conversión</b>
Chillán	61,27	0,61
Chillán Viejo	62,11	0,62
Santa Juana	45,50	0,46
Temuco	68,00	0,68

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos y RETC del documento 6 Composición Residuos.

Tabla A2. Toneladas de RSDyA en las comunas de Chillán, Chillán Viejo, Santa Juana y Temuco.

Año	Toneladas de RSDyA			
	Chillán	Chillán Viejo	Santa Juana	Temuco
2022	82.000	12.000	6.000	123.000
2021	80.000	10.000	7.000	102.000
2020	75.000	11.000	8.000	24.000*
2019	72.000	9.000	3.000	113.000
2018	73.000	9.000	4.000	113.000
2017	72.000	9.000	4.000	110.000
2016	71.000	9.000	4.000	98.000
2015	68.000	8.000	3.000	93.000
2014	66.000	8.000	3.000	88.000

Fuente: Elaboración propia con datos de la plataforma RETC.

Tabla A3. Toneladas de RSDyA en las comunas de Chillán, Chillán Viejo, Santa Juana y Temuco.

Año	N° Habitantes (ha)			
	Chillán	Chillán Viejo	Santa Juana	Temuco
2022	202.000	35.000	15.000	307.000
2021	200.000	34.000	15.000	305.000
2020	199.000	34.000	15.000	303.000
2019	197.000	33.000	15.000	301.000
2018	195.000	33.000	15.000	298.000
2017	193.000	32.000	15.000	296.000
2016	191.000	32.000	15.000	293.000
2015	190.000	31.000	14.000	291.000
2014	188.000	30.000	14.000	289.000

Fuente: Elaboración propia con datos de la proyección realizada por el INE.

Tabla A4. Fracción Orgánica generados por año en toneladas y su Factor de Emisión por habitante para las comunas de Chillán y Chillán Viejo.

	<b>Fracción Orgánica</b>		<b>Factor de Emisión (F)</b>	
	ton año <sup>-1</sup>		kg hab <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	
Año	Chillán	Chillán Viejo	Chillán (FC)	Chillán Viejo (FCH)
2022	50.000	7.000	0,7	0,5
2021	49.000	6.000	0,7	0,5
2020	46.000	7.000	0,6	0,6
2019	44.000	6.000	0,6	0,5
2018	45.000	6.000	0,6	0,5
2017	44.000	6.000	0,6	0,5
2016	44.000	6.000	0,6	0,5
2015	42.000	5.000	0,6	0,4
2014	40.000	5.000	0,6	0,5

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A5. Fracción Orgánica generados por año en toneladas y su Factor de Emisión por habitante para las comunas de Santa Juana y Temuco.

	<b>Fracción Orgánica</b>		<b>Factor de Emisión (F)</b>	
	ton año <sup>-1</sup>		kg hab <sup>-1</sup> día <sup>-1</sup>	
Año	Santa Juana	Temuco	Santa Juana (FS)	Temuco (FT)
2022	3.000	84.000	0,5	0,7
2021	3.000	70.000	0,6	0,6
2020	4.000	16.000*	0,6	0,1*
2019	2.000	77.000	0,3	0,7
2018	2.000	77.000	0,3	0,7
2017	2.000	75.000	0,3	0,7
2016	2.000	66.000	0,3	0,6
2015	1.000	63.000	0,3	0,6
2014	1.000	60.000	0,3	0,6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla A6. Descripción del proceso de producción de compost de la Figura 4.

a) Residuo Orgánico

La etapa inicial del compostaje comienza con la recolección y clasificación de los residuos orgánicos generados en el hogar o jardín. Estos residuos incluyen restos de verduras, frutas, podas, hojas, pastos, y más. Es crucial diferenciar entre materiales café y verde. Los materiales cafés, que tienen un alto contenido de carbono, comprenden restos secos de podas, hojas secas, aserrín, cartón y papel, paja, hilos naturales y cáscaras de huevo. Por otro lado, los materiales verdes, ricos en nitrógeno y agua, incluyen restos de frutas y verduras, así como residuos del mantenimiento de jardines. Esta clasificación inicial es fundamental para el equilibrio correcto de nutrientes en el proceso de compostaje.

b) Acondicionamiento

En esta etapa, se prepara la compostera y los residuos orgánicos para el proceso de compostaje. Se realiza una separación cuidadosa de los residuos orgánicos, identificando y clasificando los materiales verdes y cafés. La compostera debe colocarse en contacto con la tierra, preferiblemente en un lugar que reciba poco sol, esté bajo sombra y a salvo de las lluvias. Esto ayuda a mantener una temperatura y humedad óptimas. Se crea una capa base de material café de aproximadamente 10 cm de espesor en la compostera para facilitar la aireación y drenaje. Este acondicionamiento inicial prepara el

entorno adecuado para que los microorganismos comiencen su trabajo de descomposición.

#### c) Aireación

La aireación es una etapa crucial en el proceso de compostaje, ya que asegura la disponibilidad de oxígeno necesario para la descomposición aeróbica. La mezcla de materiales verdes y cafés se coloca en una proporción de 1:1, asegurando un equilibrio adecuado entre carbono y nitrógeno. La compostera se llena hasta  $\frac{2}{3}$  de su capacidad para permitir suficiente espacio para la circulación de aire. La mezcla debe ser volteada semanalmente para mantener la aireación, lo que evita la formación de olores desagradables y promueve la actividad microbiana. Esta práctica regular de aireación es esencial para mantener un proceso de compostaje eficiente y sin problemas.

#### d) Biodigestión

Durante la etapa de biodigestión, los microorganismos, como bacterias y hongos, comienzan a descomponer los residuos orgánicos. Este proceso microbiano genera calor, elevando la temperatura de la pila de compost, lo cual es un indicador positivo de que el compostaje está activo. Monitorear la temperatura es crucial, ya que un descenso en la temperatura puede indicar la necesidad de airear la mezcla para reactivar el proceso de descomposición. La biodigestión es el corazón del compostaje, donde los materiales orgánicos se transforman en compost a través de la actividad biológica continua.

#### e) Compost

Al final del proceso de descomposición, se obtiene el compost, un producto orgánico que mejora la estructura y fertilidad del suelo. El compost resultante tiene características físicas específicas: un color café oscuro, una textura similar a la tierra de suelos boscosos y un olor agradable a tierra fresca. Este compost es un valioso mejorador del suelo, aumentando su capacidad de retención de agua y nutrientes, y promoviendo un crecimiento saludable de las plantas. El uso del compost en jardines y huertos contribuye significativamente a la sostenibilidad ambiental y la salud del ecosistema del suelo.

#### f) Envasado

Después de 5 a 6 meses desde el inicio del compostaje, el compost está listo para ser cosechado y envasado. En esta etapa, el compost maduro se retira de la compostera y se coloca en recipientes adecuados para su almacenamiento. El envasado del compost no solo facilita su manejo y aplicación futura, sino que también ayuda a mantener el compost en condiciones óptimas hasta que esté completamente maduro y listo para su uso. Este paso es crucial para preservar las cualidades beneficiosas del compost y asegurar su efectividad como mejorador de suelo.

#### g) Maduración

La etapa de maduración es el período final donde el compost envasado se deja estabilizar por aproximadamente 10 días. Durante esta fase, cualquier

actividad microbiana residual disminuye, asegurando que el compost esté completamente preparado para su uso. La maduración permite que el compost alcance su máxima estabilidad y calidad, haciendo que sea seguro y beneficioso para las plantas. Este período adicional garantiza que el compost no tenga efectos adversos sobre el suelo y las plantas, proporcionando un producto final completamente listo para su aplicación en jardines y huertos.

#### h) Compost Envasado

El compost envasado es el producto final del proceso de compostaje, listo para ser utilizado como un mejorador de suelo en diversas aplicaciones agrícolas y hortícolas. Este compost, rico en nutrientes y completamente estabilizado, mejora la fertilidad del suelo, promueve un crecimiento saludable de las plantas y contribuye a la sostenibilidad ambiental. El compost envasado es fácil de manejar y aplicar, proporcionando a los jardineros y agricultores una herramienta eficaz para mejorar la calidad del suelo y apoyar un cultivo más saludable y productivo.

Tabla A7. Descripción del proceso de producción del vermicompost de la Figura 5.

a) Residuo Orgánico

El proceso de vermicompostaje comienza con la recolección de residuos orgánicos, tales como restos de frutas, verduras, y otros desechos biodegradables. Estos residuos son la materia prima que será transformada en humus por medio de la acción de las lombrices.

b) Acondicionamiento

En esta fase, los residuos orgánicos se preparan adecuadamente para su descomposición. Esto implica separar los residuos verdes (ricos en nitrógeno) de los residuos cafés (ricos en carbono), asegurando un equilibrio adecuado de nutrientes.

c) Aireación

La aireación es crucial para mantener un ambiente óptimo dentro de la vermicompostera. Se realiza removiendo cuidadosamente los residuos y el lecho de lombrices para asegurar que el oxígeno pueda penetrar en todas las capas, evitando así la formación de zonas anaeróbicas que podrían generar malos olores y afectar negativamente el proceso.

d) Biodigestión

En esta etapa, las lombrices descomponen los residuos orgánicos en un proceso conocido como biodigestión. Este proceso convierte los residuos en humus, un fertilizante natural rico en nutrientes.

e) Lombrices

Las lombrices son el componente clave del proceso de vermicompostaje. Se encargan de ingerir los residuos orgánicos y excretar humus. Además, ayudan a mantener la mezcla aireada y en constante movimiento, lo que favorece la descomposición.

f) Separación

En paralelo al filtrado, se realiza la separación de las lombrices del humus. Las lombrices se devuelven a la vermicompostera para continuar el proceso de descomposición de nuevos residuos orgánicos.

g) Humus

El humus es el producto final del proceso de vermicompostaje. Este material oscuro, con una textura similar a la tierra, es un fertilizante natural de alta calidad que se puede utilizar directamente en jardines y huertos para mejorar la salud del suelo.

h) Filtrado

El humus producido puede contener algunos materiales no completamente descompuestos. Por lo tanto, se realiza un filtrado para obtener un producto

más fino y homogéneo, adecuado para su envasado o para la producción de otros productos como el té de humus.

i) Envasado

El humus filtrado se envasa en recipientes adecuados para su almacenamiento y venta. Este humus embotellado puede ser utilizado por agricultores, jardineros y cualquier persona interesada en mejorar la calidad de su suelo de manera natural.

j) Humus embotellado

El humus embotellado es el resultado del proceso de envasado. Este producto está listo para ser utilizado o distribuido, y contiene todos los nutrientes necesarios para mejorar la fertilidad del suelo.

k) Té de humus

El té de humus es un líquido concentrado extraído del humus sólido. Se obtiene al sumergir el humus en agua y permitir que los nutrientes se disuelvan en ella, creando un fertilizante líquido altamente nutritivo.

l) Adición de Agua

Para producir el té de humus, se añade agua al humus en una proporción adecuada. Esta mezcla se deja reposar durante un tiempo para permitir que los nutrientes se disuelvan completamente en el agua.

m) Filtrado (Té de Humus)

Después de que la mezcla de humus y agua ha reposado, se filtra para eliminar cualquier partícula sólida, obteniendo un líquido claro y rico en nutrientes conocido como té de humus.

n) Envasado (Té de Humus)

El té de humus filtrado se envasa en botellas o recipientes herméticos, asegurando que se conserve en óptimas condiciones hasta su uso.

o) Té de humus embotellado

El té de humus embotellado es el producto final listo para ser aplicado como fertilizante líquido en plantas y suelos, proporcionando un refuerzo de nutrientes de manera rápida y efectiva. Este producto es especialmente valioso para el cuidado de plantas en macetas y en condiciones donde el riego puede ser controlado.

Tabla A8. Descripción del proceso de producción del biogás de la Figura 6.

a) Residuo Orgánico

El proceso de producción de biogás comienza con la recolección de residuos orgánicos, que pueden incluir estiércol, restos de alimentos, y otros desechos biodegradables. Estos materiales son la materia prima que alimenta el biodigestor.

b) Acondicionamiento

Antes de que los residuos orgánicos puedan ser introducidos en el biodigestor, se realiza un acondicionamiento que implica mezclar los residuos con agua en una proporción adecuada, generalmente 1:3 (estiércol). Esta mezcla se homogeniza para asegurar una adecuada biodigestión y se filtra para remover sólidos grandes que puedan obstruir el sistema.

c) Biodigestión

La biodigestión se lleva a cabo en un biodigestor de geomembrana cilíndrico con un volumen de 3,9 m<sup>3</sup> durante un período de 21 días. La temperatura promedio de la estación, que fue de 20°C, afecta el tiempo de biodigestión de manera inversamente proporcional. La biodigestión convierte la materia orgánica del estiércol en biogás y otros subproductos mediante la acción de microorganismos anaeróbicos.

d) Biogás

El biogás producido es una mezcla de gases con alto contenido energético, principalmente metano ( $\text{CH}_4$ ). Este gas se extrae del biodigestor y puede ser utilizado como fuente de energía.

e) Desulfuración

El biogás crudo contiene sulfuro de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), un gas tóxico y corrosivo. Para purificar el biogás, se hace pasar por un lecho poroso con clavos de hierro, que actúa como filtro, eliminando el  $\text{H}_2\text{S}$  y obteniendo un biogás más limpio.

f) Almacenado

El biogás purificado se almacena en un gasómetro de geomembrana cilíndrico con un volumen de  $2,1 \text{ m}^3$ . Este gasómetro está protegido por un techo y se conecta al biodigestor mediante válvulas de entrada y salida para facilitar el flujo de biogás. La válvula de ingreso en la parte inferior del gasómetro permite eliminar el agua condensada contenida en el biogás.

g) Biogás purificado

El biogás purificado, libre de contaminantes, está ahora listo para ser utilizado como una fuente de energía renovable para diversas aplicaciones, como la generación de electricidad o el calentamiento.

h) Biol

El biol es un subproducto líquido resultante de la biodigestión, rico en nutrientes y utilizado como fertilizante orgánico.

i) Filtrado

El biol se filtra para remover partículas sólidas y obtener un líquido más claro y puro. Este filtrado asegura que el producto sea de alta calidad y adecuado para su uso directo en la agricultura.

j) Envasado

El biol filtrado se envasa en botellas o recipientes para su distribución. Es un fertilizante orgánico líquido que puede ser utilizado en suelos y cultivos para mejorar la salud de las plantas.

k) Biol embotellado

El biol embotellado es el producto final, listo para ser vendido o utilizado en la agricultura, proporcionando un aporte de nutrientes que mejora la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas.

l) Biosol

El biosol es un subproducto sólido de la biodigestión, que contiene una alta concentración de materia orgánica y nutrientes, ideal para ser usado como enmienda del suelo.

m) Secado

El biosol se seca al aire libre o en secadores hasta alcanzar un nivel de humedad adecuado. Este proceso reduce su peso y volumen, facilitando su manejo y almacenamiento.

n) Molienda y tamizado

Una vez seco, el biosol se muele y tamiza para obtener un producto de partículas finas y homogéneas, lo que mejora su aplicación en el suelo.

o) Envasado

El biosol refinado se envasa en bolsas o sacos, listo para su uso en la mejora de suelos agrícolas o como acondicionador orgánico.

p) Biosol refinado

El biosol refinado es un producto final de alta calidad, que se utiliza para mejorar la estructura y fertilidad del suelo, promoviendo un crecimiento saludable de las plantas.