



UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE DE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE DE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA

MODELO DE GESTIÓN SUSTENTABLE DE RESIDUOS SÓLIDOS EN
ESTABLECIMIENTOS DE RECREACIÓN NOCTURNA: UNA CONTRIBUCIÓN A
LA ECONOMÍA CIRCULAR A ESCALA MUNICIPAL

Trabajo de Titulación para Optar
al Título de Ingeniera de Ejecución
en Control y Gestión Ambiental

Alumna:

Millaray Selene Sepúlveda Henríquez

Profesora Guía:

Valeria Palma Onetto



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE
MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): ☒ Memoria o trabajo de título; ☐ Tesis de Postgrado;
Modelo de gestión sustentable de residuos sólidos en establecimientos de recreación nocturna: una contribución a la economía circular a escala municipal.
Título del trabajo:
Nombre del candidato(a): Millaray Selene Sepúlveda Henríquez.
Carrera / Grado: Ingeniería de Ejecución en Gestión y Control Ambiental.
Campus: Concepción ; Departamento: Química y Medio Ambiente

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, Valeria Palma, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente DEJO CONSTANCIA que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL

☒ El trabajo **NO** contiene información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

☐ El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (embargo) por:

☐ 6 meses; ☐ 12 meses; ☐ 2 años; ☐ 3 años; ☐ 5 años; ☐ 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 02/03/26 Firma:

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 02/03/26 Firma:

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM.

Agradecimientos

Por siempre agradecida de mi madre Gladys Elena Henriquez Toloza la mujer que jamás me ha dado un no por respuesta, la mujer que siempre cree en mí y en cada cosa que hago, gracias a ti soy la mujer en quien me estoy convirtiendo, cumpliendo cada meta que me propongo para mí y para nosotras, te amo mamita eres la mejor familia que pude tener. También debo aprovechar esta instancia para agradecer a cada mascota que he tenido durante toda mi vida ya que sin su compañía, juegos, caricias y amor incondicional este camino nunca hubiera sido el mismo.

RESUMEN

El presente estudio evalúa la factibilidad técnica, ambiental y económica de implementar un modelo municipal de valorización de residuos provenientes de establecimientos de entretención nocturna en las comunas de Concepción y San Pedro de la Paz, Región del Biobío. La propuesta se enmarca en los principios de economía circular promovidos por la Ley N° 20.920 y la Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040.

El diagnóstico, basado en encuesta aplicada a ocho establecimientos, permitió estimar una generación anual aproximada de 23 toneladas de residuos, compuestas principalmente por fracción orgánica y envases reciclables. Sobre esta base, se diseñó un modelo integrado que contempla segregación en origen, logística diferenciada de retiro e infraestructura municipal para valorización mediante vermicompostaje, trituración de vidrio y recuperación de aluminio.

Los resultados indican que el sistema permitiría desviar cerca del 80% del flujo total estimado desde disposición final, reduciendo emisiones asociadas a la descomposición anaeróbica y disminuyendo la extracción de áridos naturales mediante producción de arena de vidrio. Desde la perspectiva económica, el componente orgánico representa el principal ahorro por sustitución de insumos municipales, mientras que la recuperación de aluminio fortalece la sostenibilidad financiera del modelo.

El análisis de sensibilidad confirma que la viabilidad económica mejora proporcionalmente con el aumento de establecimientos adheridos, evidenciando el carácter escalable del sistema. Se concluye que el modelo es técnicamente viable y ambientalmente pertinente bajo una estrategia de implementación gradual a nivel municipal.

Palabras clave: gestión municipal de residuos; economía circular; gestión integrada de residuos sólidos municipales; valorización de residuos; economía circular territorial; tratamiento biológico de residuos orgánicos; evaluación técnico-económica ambiental.

Índice

INTRODUCCIÓN 1

OBJETIVOS 4

 OBJETIVO GENERAL 4

 OBJETIVOS ESPECIFICOS 4

ALCANCE 5

CAPÍTULO 1: MARCO TEORICO 0

1.1 GESTIÓN DE ESIDUOS SÓLIDOS URBANOS: PROBLEMÁTICA GLOBAL Y CONTEXTO CHILENO 6

1.3 ECONOMÍA CIRCULAR COMO NUEVO PARADIGMA PRODUCTIVO . 8

1.4 MARCO NORMATIVO CHILENO EN GESTIÓN Y VALORIZACIÓN DE RESIDUOS 9

1.5 VALORIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS Y MITIGACIÓN CLIMÁTICA 9

1.6 RECICLAJE Y VALORIZACIÓN DE VIDRIO 10

1.7 MODELOS DESCENTRALIZADOS DE GESTIÓN SECTORIAL 10

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA 16

2.1 ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN 12

2.2 DISEÑO METODOLÓGICO GENERAL 12

2.3 INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN 13

2.4 TRTAMIENTO Y SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN 13

2.5 SUPUESTOS TÉCNICOS ADOPTADOS PARA EL ESTUDIO 14

 2.5.1. Composición estimada de residuos 14

 2.5.2. Porcentaje de vidrio 15

 2.5.3. Extrapolación a 24 establecimientos 15

2.6 LIMITACIONES DEL ESTUDIO 15

CAPÍTULO 3: CONTEXTO TERRITORIAL Y JUSTIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 12

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO 17

3.2 CARACTERISTICAS OPERATIVAS DEL SECTOR NOCTURNO 17

3.3 IDENTIFICACIÓN DE ZONAS CON CONCENTRACIÓN DE ESTABLECIMIENTOS NOCTURNOS 18

3.4 MUESTRA 19

3.5 UNIVERSO	20
3.6 JUSTIFICACIÓN TERRITORIAL PARA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO	20
CAPÍTULO 4: DIAGNÓSTICO DE GENERACIÓN Y MANEJO DE RESIDUOS	22
4.1 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	22
4.2 CARACTERIZACIÓN OPERATIVA DE LO ESTABLECIMIENTOS	22
4.3 TIPOLOGÍA DE RESIDUOS GENERADOS	23
4.4 ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES GENERADOS	23
4.4.1 Tabla resumen de resultados	25
4.5 PRÁCTICAS ACTUALES DE MANEJO	26
4.5.1 Almacenamiento y sistema de retiro	26
4.5.2. Prácticas de reciclaje	26
4.5.3. Pago por derechos de aseo	26
4.6 BRECHAS IDENTIFICADAS	26
CAPÍTULO 5: DISEÑO E INVERSIÓN ESTIMADA DEL MODELO	22
5.1 FUNDAMENTACIÓN TÉCNICA DEL MODELO	28
5.2 PLANTA MUNICIPAL DE VALORIZACIÓN	28
5.3 COHERENCIA TÉCNICA ENTRE CAPACIDAD INSTALADA Y GENERACIÓN PROYECTADA	29
5.4 INSTRUMENTOS DE INCENTIVO PARA ESTABLECIMIENTOS ADHERIDOS	31
5.4.1 Descuento de tarifa de aseo municipal	31
5.4.2 Sello municipal de economía circular	32
5.5 ALCANCE DEL DISEÑO CONCEPTUAL	32
CAPÍTULO 6: CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES DE CO₂e CAPTADAS	31
6.1 CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES DE CO ₂ e EVITADAS POR VALORIZACIÓN DE RESIDUOS	35
6.1.2. Datos	35
6.1.3 Desarrollo	36
CAPÍTULO 7: EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL MODELO MUNICIPAL DE VALORIZACIÓN	38
7.1 BASE CUANTITATIVA PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA	38
7.2 AHORRO POR DISMINUCIÓN DE DISPOSICIÓN EN RELLENO SANITARIO	38
7.3 AHORRO POR TRANSPORTE ASOCIADO A REDUCCIÓN DE VIAJES A DISPOSICIÓN FINAL	39
7.4 AHORRO POR SUSTITUCIÓN DE COMPRA DE HUMUS	39
7.5 AHORRO POR VALORIZACIÓN DEL VIDRIO	40

7.5.1. FLUJO ANUAL DE VIDRIO	40
7.5.2 Conversión a arena de vidrio	41
7.5.3. Ahorro por sustitución de áridos naturales.....	41
7.6 VALORIZACIÓN POTENCIAL DEL ALUMINIO	42
7.7 RESUMEN DE AHORRO ANUAL.....	42
7.8 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL MODELO	43
CAPÍTULO 8: FINANCIAMIENTO.....	44
8.1 FINANCIAMIENTO PARA PROYECTOS MUNICIPALES DE RECICLAJE Y ECONOMÍA CIRCULAR	44
8.1.1 Fondo Para el Reciclaje (FPR)	44
Los beneficiarios son exclusivamente municipalidades y asociaciones municipales, no contempla postulación de personas naturales ni empresas privadas de forma individual.	44
Monto de financiamiento.....	44
8.1.2. PROGRAMA RECICLO ORGÁNICOS: COOPERACIÓN INTERNACIONAL	45
Caso aplicado: Planta de Compostaje de Santa Juana	45
CAPÍTULO 9: DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN	46
DISCUSIÓN.....	46
CONCLUSIONES	47
ANEXO	53
ANEXO A: EQUIPO DE TRITURACIÓN PRIMARIA PARA BOTELLAS DE VIDRIO	53
ANEXO B: EQUIPO DE TRITURACIÓN SECUNDARIA PARA BOTELLAS DE VIDRIO	54
ANEXO C: MAQUINARIA PRETRATAMIENTO PARA VERMICOMPOSTAJE .	55
ANEXO D: ENCUESTA	56

Índice figuras

Figura 1. Materiales disponibles a nivel país según ANIR-Resimple 2024. Elaboración propia. 7

Figura 2 Porcentaje de residuos domiciliarios generados por categoría según ENRO. Elaboración propia. 7

Figura 3Concentración de establecimientos de recreación nocturna. Elaboración propia, Google Earth..... 19

Figura 4 Residuos generados con mayor frecuencia según resultados de la encuesta. Elaboración propia. 23

Figura 5.Estimación de volumen en kilogramos de residuos generados por evento. Elaboración propia. 24

Figura 6 Residuos generados por 24 establecimientos con 2 eventos por semana. Elaboración propia. 24

Figura 7 Diagrama de flujo, proceso planta de valorización municipal. Elaboración propia (Draw.io). 33

Figura 8 toneladas de CO₂e captadas anualmente. Elaboración propia. 37

Figura 9 Captura de pantalla. Página web oficial. 54

Figura 10 Captura de pantalla. Página web oficial. 55

Figura 11Captura de pantalla. Página web oficial. 56

Índice tablas

Tabla 1 Volumen de residuos generados anualmente en kilogramos. Elaboración propia. 25

Tabla 2 Cotización para implementar planta de valorización municipal. Elaboración propia. 29

Tabla 3 Resumen del ahorro generado anualmente. Elaboración propia. 42

Tabla 4 Recuperación de la inversión. Elaboración propia. 43

Siglas

BCN: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile.

CO₂e: Dióxido de carbono equivalente. Unidad utilizada para expresar emisiones de gases de efecto invernadero en términos comparables según su potencial de calentamiento global.

DL: Decreto Ley.

HP: Horse Power (caballo de fuerza). Unidad de potencia utilizada para especificaciones de maquinaria.

kg: Kilogramo. Unidad de masa del Sistema Internacional.

kg/h: Kilogramo por hora. Unidad de capacidad de procesamiento.

m²: Metro cuadrado. Unidad de superficie.

mm: Milímetro. Unidad de longitud utilizada para especificaciones granulométricas.

MMA: Ministerio del Medio Ambiente de Chile.

REMA: Reporte del Estado del Medio Ambiente.

REP: Responsabilidad Extendida del Productor. Instrumento de gestión ambiental establecido por la Ley N° 20.920.

RSU: Residuos Sólidos Urbanos.

SCAM: Sistema de Certificación Ambiental Municipal.

SNIFA: Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental.

t: Tonelada métrica (1.000 kg).

tCO₂e: Toneladas de dióxido de carbono equivalente.

Simbología

n: Tamaño de muestra

%: Porcentaje.

≈: Aproximadamente igual.

\$: Peso chileno (CLP).

\$/t: Costo por tonelada.

kg/año: Kilogramos generados por año.

t/año: Toneladas generadas por año.

INTRODUCCIÓN

La gestión de residuos sólidos constituye uno de los principales desafíos ambientales para las municipalidades en Chile. De acuerdo con el Ministerio del Medio Ambiente, el país genera de 19 a 20 millones de toneladas de residuos al año, de las cuales aproximadamente 9 millones corresponden a residuos sólidos municipales [5]. La fracción orgánica representa cerca del 58% de los residuos sólidos municipales generados a nivel nacional [2], lo que evidencia un alto potencial de valorización. En términos de gestión, la mayor parte de los residuos municipales continúa siendo destinada a disposición final en rellenos sanitarios, lo que implica costos asociados a transporte, operación y pago por tonelada dispuesta, además de impactos ambientales derivados de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica y la pérdida de materiales con potencial de recuperación [3]. Este escenario refuerza la necesidad de avanzar hacia modelos de economía circular que prioricen la reducción, reutilización y valorización por sobre la eliminación.

En el contexto del Gran Concepción, el crecimiento de la actividad comercial y recreativa nocturna ha intensificado la generación de residuos en sectores específicos de la ciudad. Los establecimientos de entretenimiento nocturna tales como bares, restobares y discotecas presentan una dinámica particular de producción de residuos, concentrando volúmenes relevantes en periodos acotados de tiempo, principalmente fines de semana. Asimismo, generan flujos relativamente homogéneos de materiales como botellas de vidrio, latas de aluminio, cartón de embalaje y residuos orgánicos asociados al consumo de alimentos y bebidas, lo que facilita su segregación en origen y eventual valorización. Actualmente, la gestión de estos residuos se enmarca mayoritariamente en un modelo lineal, donde la recolección municipal tiene como destino principal la disposición final en rellenos sanitarios. Este esquema implica costos crecientes para las municipalidades, tanto por transporte como por tarifas de disposición, además de externalidades ambientales asociadas a emisiones de gases de efecto invernadero y extracción de recursos naturales. Frente a esta problemática, el presente trabajo propone el diseño de un modelo municipal de valorización de residuos orientado inicialmente a establecimientos de entretenimiento nocturna, basado en la segregación en origen y en la implementación de infraestructura local para el tratamiento de fracciones reciclables y orgánicas. La propuesta contempla la habilitación de un galpón municipal de valorización como infraestructura central del

sistema, destinado a la molienda de botellas de vidrio para la producción de arena de vidrio y al tratamiento de residuos orgánicos mediante vermicompostaje en piscinas exteriores techadas.

El modelo planteado busca transitar desde un enfoque centrado en la disposición final hacia una estrategia de economía circular, en coherencia con la Ley N° 20.920 sobre Responsabilidad Extendida del Productor (Ministerio del Medio Ambiente, 2016), la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos (Ministerio del Medio Ambiente, 2020) y la Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040 (Ministerio del Medio Ambiente, 2021). Bajo este enfoque, el municipio asume un rol activo no solo como recolector, sino como gestor y valorizador de residuos, reduciendo la presión sobre rellenos sanitarios, optimizando recursos públicos y generando subproductos reutilizables en obras municipales y proyectos comunitarios. En este sentido, el estudio no solo entrega un diagnóstico específico para el rubro nocturno en el Gran Concepción, sino que propone una solución técnica escalable, alineada con las políticas públicas vigentes y con los principios de la economía circular, contribuyendo al fortalecimiento de la gestión ambiental municipal desde una perspectiva territorial.

Contexto

La gestión de residuos en discotecas y espacios de entretenimiento nocturno es un ámbito poco estudiado a pesar de que estos establecimientos concentren un alto flujo de personas y generan cantidades significativas de residuos en cortos periodos de tiempo, la ausencia de diagnósticos, registros y sistemas formales de segregación ha mantenido a este sector operando bajo un modelo lineal lo que ha impedido identificar oportunidades de reducción, valorización y optimización operativa. La sistematización de esta información servirá como insumo para municipios, recicladores y establecimientos abriendo oportunidades de mejora ambiental. En este sentido, la relevancia del estudio radica no solo en comprender la situación actual, sino en sentar las bases para un cambio estructural futuro considerando la responsabilidad compartida y el diseño de soluciones locales. Asimismo, la economía circular ha sido reconocida por organismos internacionales y gobiernos como una herramienta clave para desacoplar el crecimiento económico del uso intensivo de recursos naturales y crear empleo verde. Bajo este enfoque, los residuos dejan de considerarse un problema y se convierten en recursos con valor económico, social y ambiental.

El modelo propuesto se sustenta en tres principios fundamentales de la economía circular:

Eliminar residuos y contaminación desde el diseño: Los residuos no son una consecuencia inevitable, sino el resultado de sistemas inefficientes. Por ello, es esencial diseñar estrategias que prevengan su generación.

Mantener los materiales en uso el mayor tiempo posible: Extender la vida útil de los productos y reincorporar materiales al ciclo productivo reduce la presión sobre los recursos naturales.

Regenerar los sistemas naturales: La gestión sustentable de residuos orgánicos, mediante compostaje o vermicompostaje, devuelve nutrientes al suelo, mejora su estructura y contribuye a la mitigación del cambio climático.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar una propuesta teórica de modelo de gestión sustentable de residuos sólidos para discotecas y restobares ubicados en las comunas de Concepción y San Pedro de la Paz, a partir del diagnóstico del manejo actual de residuos generados mediante encuestas, incorporando criterios de economía circular y cumplimiento normativo.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Diagnosticar las prácticas actuales de manejo de residuos sólidos en discotecas de Concepción y San Pedro de la Paz, identificando tipos de residuos generados, volúmenes aproximados, frecuencia de generación y métodos de retiro.

Analizar el marco normativo y técnico asociado a la gestión sustentable de residuos y economía circular aplicable al rubro nocturno.

Identificar brechas operativas y oportunidades de valorización de residuos sólidos en discotecas, en función de la información recopilada.

Elaborar una propuesta teórica de modelo de gestión sustentable, adaptable a la realidad local, que promueva la segregación en origen, la valorización de residuos y el cumplimiento anticipado de la normativa ambiental vigente.

ALCANCE

La investigación se encuentra delimitada de la siguiente forma:

Temporalmente: el estudio se desarrolla durante el segundo semestre del año académico 2025, incorporando información proveniente de la encuesta aplicada a establecimientos de entretención nocturna, antecedentes presupuestarios municipales y valores de mercado asociados a equipamiento, infraestructura, etc.

Geográficamente: el análisis se enfoca en las comunas de Concepción y San Pedro de la Paz, específicamente en sectores con concentración de locales de entretención nocturna tales como Plaza Perú, Barrio Estación, Avenida Michimalonco, Camino el venado, entre otras. Estas zonas fueron seleccionadas en función de su densidad de establecimientos, su dinámica operativa y su potencial para optimizar la logística de recolección diferenciada.

En el ámbito de procesos: el estudio se centra en la fase de diseño conceptual del modelo de gestión, incluyendo la segregación en origen, logística de retiro y valorización. Asimismo, se consideran variables económicas asociadas a inversión inicial, costos operacionales, ahorro en disposición final y posibles beneficios indirectos para la gestión municipal.

Límite del informe: la investigación no contempla la ejecución material del galpón municipal ni la implementación operativa real del sistema propuesto. Se restringe al desarrollo de una propuesta técnica fundamentada en antecedentes teóricos, datos levantados mediante encuesta y estimaciones económicas preliminares.

En consecuencia, el presente estudio se limita al diseño conceptual y evaluación preliminar de factibilidad técnica, ambiental y económica del modelo propuesto, sin contemplar su implementación material ni operación real. Las conclusiones se fundamentan en información levantada mediante encuesta exploratoria y en antecedentes técnicos y presupuestarios disponibles al momento del estudio.

CAPÍTULO 1: MARCO TEORICO

1.1 GESTIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS: PROBLEMÁTICA GLOBAL Y CONTEXTO CHILENO

La gestión de RSU constituye uno de los principales desafíos ambientales contemporáneos. A nivel global, el Banco Mundial estima que el mundo genera más de 2.240 millones de toneladas de residuos sólidos municipales por año, cifra que podría incrementarse en un 70% hacia 2050 si no se implementan políticas de prevención y valorización [6]. Este crecimiento proyectado refleja la presión que los sistemas tradicionales de disposición final ejercen sobre el territorio y los recursos naturales. El modelo tradicional de gestión se ha basado históricamente en un esquema lineal de extracción, consumo y disposición final. Este enfoque genera impactos ambientales significativos, tales como emisiones de gases de efecto invernadero, contaminación de suelos y aguas por lixiviados y ocupación extensiva de suelo para rellenos sanitarios [7].

En el contexto chileno, el Ministerio del Medio Ambiente reporta que el país genera más de 19 millones de toneladas de residuos al año, incluyendo residuos industriales y municipales. En el caso de los residuos sólidos municipales (RSM), la valorización continúa siendo baja en comparación con estándares de países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), evidenciando una brecha estructural en materia de recuperación material [8]. Adicionalmente, la caracterización nacional de residuos sólidos municipales indica que la fracción orgánica representa aproximadamente el 58 % de los RSM generados en el país, constituyéndose como la categoría de mayor peso dentro de la composición total. Por su parte, los envases y embalajes incluyendo vidrio, metales, papel y cartón conforman una proporción significativa del flujo domiciliario y asimilable, lo que refuerza el potencial técnico de valorización material en estos subcomponentes.

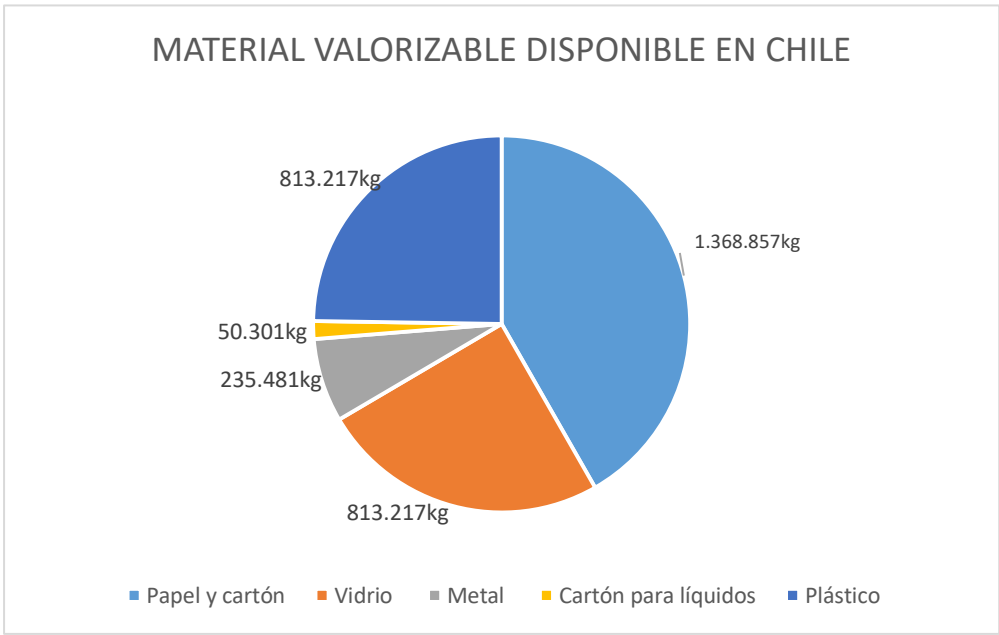


Figura 1. Materiales disponibles a nivel país según ANIR-Resimple 2024. Elaboración propia.

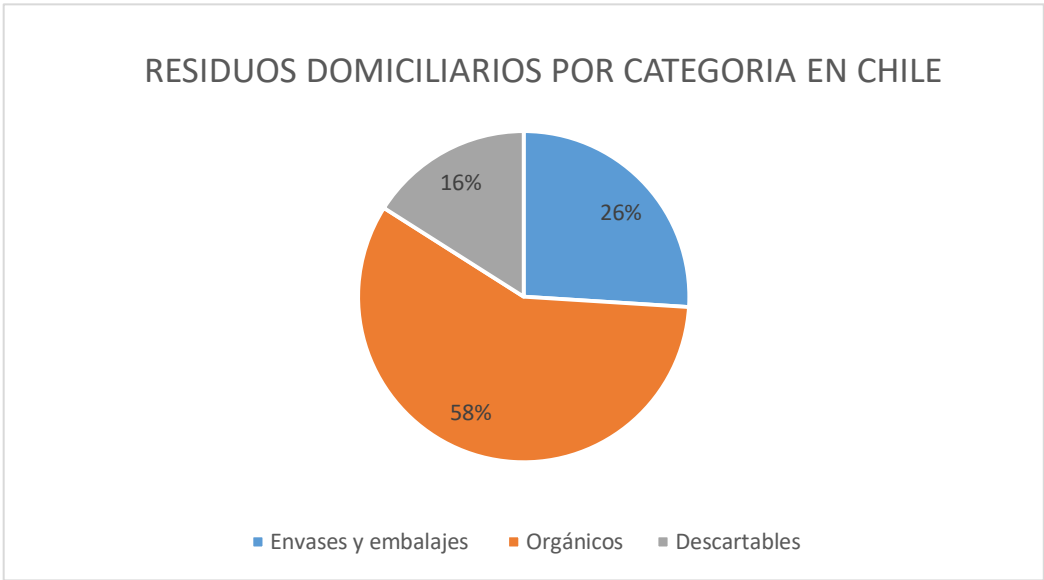


Figura 2 Porcentaje de residuos domiciliarios generados por categoría según ENRO. Elaboración propia.

1.2 ESTRATEGIA NACIONAL DE RESIDUOS ORGÁNICOS CHILE 2040

Esta estructura composicional evidencia que la mayor parte del flujo de residuos municipales en Chile posee potencial de valorización mediante estrategias de reciclaje y tratamiento biológico, como el compostaje o vermicompostaje. Sin embargo, la limitada infraestructura instalada y la baja segregación en origen continúan derivando una proporción significativa de estos residuos a disposición final en rellenos sanitarios, generando impactos ambientales asociados, tales como emisiones de gases de efecto invernadero y producción de lixiviados. En este escenario, los municipios asumen un rol central en la recolección, gestión y disposición final de residuos, enfrentando crecientes costos operacionales y presiones regulatorias vinculadas a metas de valorización y reducción de emisiones.

1.3 ECONOMÍA CIRCULAR COMO NUEVO PARADIGMA PRODUCTIVO

La economía circular surge como alternativa al modelo lineal tradicional, proponiendo un sistema restaurativo y regenerativo, orientado a mantener materiales y productos en uso el mayor tiempo posible [9]. A nivel internacional, la Comisión Europea ha establecido planes de acción específicos para acelerar la transición hacia modelos circulares, incorporando metas progresivas de reciclaje [10]. Este enfoque no se limita al reciclaje, sino que implica rediseño de procesos productivos, innovación en modelos de negocio y optimización territorial de los sistemas de valorización. En Chile, la transición hacia este paradigma se formaliza mediante la Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040, instrumento estratégico que establece metas nacionales de reducción y valorización progresiva de residuos, promoviendo la descentralización y la corresponsabilidad en la gestión [11].

1.4 MARCO NORMATIVO CHILENO EN GESTIÓN Y VALORIZACIÓN DE RESIDUOS

La gestión de residuos en Chile se encuentra regulada por un conjunto articulado de normas que establecen principios y obligaciones orientadas a la protección ambiental y al desarrollo sustentable. La Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente establece los principios preventivos, de responsabilidad y de desarrollo sustentable, los cuales constituyen el fundamento jurídico del sistema ambiental chileno [12]. De manera más específica, la Ley N° 20.920 establece el marco para la gestión de residuos y la Responsabilidad Extendida del Productor, obligando a fabricantes e importadores de productos prioritarios incluidos envases y embalajes a organizar y financiar la recolección y valorización de los residuos derivados de sus productos [13]. Esta normativa promueve la segregación en origen y la trazabilidad de materiales. Asimismo, la Ley N° 21.455, Ley Marco de Cambio Climático, refuerza la necesidad de reducir emisiones de gases de efecto invernadero en todos los sectores productivos, incluyendo aquellas asociadas a la gestión de residuos [14]. La disposición de residuos orgánicos en rellenos sanitarios genera emisiones de metano, mientras que la producción primaria de materiales como vidrio y aluminio implica altos consumos energéticos. Complementariamente, la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos 2020–2040 establece como meta valorizar el 66% de los residuos orgánicos municipales al año 2040 [15]. Estos instrumentos consolidan el marco regulatorio que respalda iniciativas de valorización descentralizada.

En este contexto, aunque los establecimientos nocturnos no son sujetos obligados bajo la Ley REP, su participación en esquemas de segregación y valorización contribuye indirectamente al cumplimiento de metas nacionales.

1.5 VALORIZACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS Y MITIGACIÓN CLIMÁTICA

A nivel internacional, los residuos orgánicos representan una fracción significativa de los residuos municipales en países de ingresos medios [6]. Su disposición en rellenos sanitarios produce emisiones de metano (CH_4), gas con elevado potencial de calentamiento global [7]. En Chile, la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos establece lineamientos para fomentar el compostaje y otras tecnologías de tratamiento biológico como herramientas de mitigación climática [15].

El vermicompostaje, como técnica de estabilización biológica mediante lombrices, permite reducir volumen, estabilizar materia orgánica y generar enmiendas orgánicas útiles para áreas verdes [16].

1.6 RECICLAJE Y VALORIZACIÓN DE VIDRIO

El vidrio es un material completamente reciclable y puede reprocesarse múltiples veces sin degradación significativa de sus propiedades. En la Unión Europea, las tasas de reciclaje de envases de vidrio superan el 75% en varios países [17]. El uso de vidrio reciclado reduce el consumo energético en procesos de fabricación y disminuye la extracción de materias primas vírgenes. Asimismo, el vidrio triturado puede emplearse como sustituto parcial de áridos naturales en aplicaciones constructivas no estructurales, reduciendo la presión sobre recursos naturales [18].

1.7 MODELOS DESCENTRALIZADOS DE GESTIÓN SECTORIAL

La literatura internacional destaca que la descentralización en la gestión de residuos mejora la eficiencia operativa y la recuperación de materiales, especialmente cuando se focaliza en flujos homogéneos y territorialmente concentrados [7].

Los sistemas sectoriales permiten segregación más limpia en origen, reducción de contaminación cruzada, disminución de costos de transporte, mayor trazabilidad.

El modelo propuesto en esta investigación se fundamenta en esta lógica descentralizada, focalizando la intervención en un sector con características homogéneas de generación.

CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA

2.1 ENFOQUE Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo corresponde a una investigación aplicada, de carácter descriptivo–exploratorio, con enfoque cuantitativo y orientación técnico–proyectual. La investigación aplicada se orienta a la resolución de problemas prácticos mediante el uso de conocimiento científico [19]. Su propósito no es únicamente describir una realidad existente, sino diseñar un modelo de gestión sustentable de residuos sólidos técnicamente fundamentado y adaptable al contexto municipal del Gran Concepción. El estudio adopta un enfoque descriptivo en la etapa diagnóstica, al caracterizar las prácticas actuales de manejo de residuos en establecimientos de entretención nocturna, y un enfoque proyectual en la fase de diseño del modelo, donde se estructuran componentes operativos, logísticos y económicos basados en los antecedentes recopilados. Los estudios descriptivos buscan especificar propiedades y características de fenómenos determinados [19]. No se persigue realizar inferencia estadística a nivel poblacional, sino construir una base técnica suficiente para evaluar la factibilidad preliminar de implementación de un sistema municipal de valorización.

2.2 DISEÑO METODOLÓGICO GENERAL

El diseño metodológico se estructuró en cuatro etapas secuenciales:

- Revisión normativa y documental, considerando antecedentes técnicos y políticas públicas vigentes en Chile en materia de economía circular y valorización de residuos orgánicos [4, 16, 17].
- Levantamiento de información primaria, mediante aplicación de encuesta estructurada a establecimientos nocturnos.
- Sistematización y estimación cuantitativa de flujos de residuos, utilizando extrapolaciones anuales.
- Diseño conceptual del modelo municipal y evaluación económica preliminar, incorporando supuestos técnicos explícitos y análisis.

2.3 INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Se aplicó una encuesta estructurada de carácter cuantitativo, compuesta por preguntas cerradas y semi-cerradas, orientadas a recopilar información sobre aforo promedio por evento, frecuencia de funcionamiento, estimación de generación de residuos por evento (kg), tipología de residuos generados, prácticas actuales de almacenamiento y retiro, vinculación con recicladores, pago por derechos de aseo, disposición a participar en un sistema municipal de valorización. La información recopilada corresponde a datos auto reportados por los administradores o responsables de los establecimientos.

2.4 TRTAMIENTO Y SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN

La información recopilada mediante la encuesta estructurada fue sistematizada en una matriz de datos, permitiendo calcular promedios simples y establecer rangos de generación por establecimiento. Dado el carácter exploratorio del estudio y el tamaño muestral reducido ($n=8$), se optó por utilizar medidas de tendencia central simples, evitando procedimientos de inferencia estadística. A partir de las respuestas auto reportadas, se identificó una generación promedio cercana a 30 kg de residuos por evento por establecimiento. Asimismo, se determinó una frecuencia promedio de dos eventos por fin de semana, valor coherente con la declaración de los encuestados. Con base en estos datos, se procedió a realizar la proyección mensual y anual de generación de residuos, aplicando un procedimiento de extrapolación lineal el cual se desarrolla en el capítulo 4.

2.5 SUPUESTOS TÉCNICOS ADOPTADOS PARA EL ESTUDIO

2.5.1. Composición estimada de residuos

La encuesta aplicada a los establecimientos incluyó preguntas relativas a la tipología predominante de residuos generados (orgánicos, botellas de vidrio, latas de aluminio, cartón y otros). No obstante, al no realizarse una caracterización física mediante segregación y pesaje directo por fracción, fue necesario definir supuestos técnicos para efectos de modelación y dimensionamiento preliminar del sistema.

La estimación de composición se fundamentó en el análisis del perfil operativo del rubro estudiado, considerando los siguientes elementos: alta rotación de bebidas embotelladas y enlatadas en eventos, Generación constante de residuos alimentarios asociada a la preparación y servicio de comidas y presencia de envases de cartón. Con base en estos criterios sectoriales y en la información auto reportada por los establecimientos, se adoptaron los porcentajes de generación utilizados en el Capítulo 4 para el diseño conceptual del sistema. Estos valores constituyen supuestos paramétricos aplicados exclusivamente para fines de dimensionamiento preliminar. En una etapa de implementación operativa, se recomienda efectuar una caracterización gravimétrica directa que permita ajustar la composición real del flujo de residuos.

2.5.2. Porcentaje de vidrio

Para estimar el volumen anual de vidrio recuperable, se adoptó el supuesto de que aproximadamente el 70 % de la fracción reciclable corresponde a vidrio. Este supuesto se sustenta en que el consumo predominante en establecimientos nocturnos se basa en bebidas embotelladas, lo que incrementa la presencia de envases de vidrio dentro del flujo total. Asimismo, el vidrio posee una densidad significativamente mayor que otros materiales presentes en la fracción reciclable, lo que implica que su participación en términos de masa resulta proporcionalmente superior, aun cuando el número de unidades no necesariamente lo sea.

El criterio adoptado responde a una estimación gravimétrica coherente con el perfil de consumo del sector y cumple una función instrumental para la cuantificación del potencial de valorización material.

2.5.3. Extrapolación a 24 establecimientos

Los datos obtenidos a partir de la muestra inicial de 8 establecimientos fueron proyectados a un escenario ampliado de 24 establecimientos mediante un factor de expansión lineal ($\times 3$). Esta extrapolación no constituye una predicción estadística, sino un escenario técnico de simulación orientado a dimensionar la capacidad operativa del sistema bajo una fase inicial de implementación ampliada. La proyección se realizó bajo el supuesto de proporcionalidad constante en la generación promedio por establecimiento, manteniendo invariables los patrones de producción semanal observados en la muestra original. Este criterio permite estimar requerimientos de infraestructura, capacidad de procesamiento y potencial de valorización sin introducir variaciones especulativas en el comportamiento de generación.

2.6 LIMITACIONES DEL ESTUDIO

El presente estudio presenta las siguientes limitaciones: tamaño muestral reducido, datos auto reportados sin pesaje directo y uso de supuestos técnicos para composición específica del rubro. Estas limitaciones no invalidan la viabilidad conceptual del modelo, pero delimitan el alcance de los resultados a una fase preliminar de diseño y factibilidad.

CAPÍTULO 3: CONTEXTO TERRITORIAL Y JUSTIFICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El presente estudio se desarrolla en el área del Gran Concepción, específicamente en las comunas de Concepción y San Pedro de la Paz, Región del Biobío. Ambas además de encontrarse a pocos kilómetros de distancia conforman un sistema urbano integrado, caracterizado por una alta concentración poblacional, dinamismo comercial y presencia relevante de actividades de servicios y educación superior, lo que configura un entorno urbano con generación significativa de RSM. Desde el punto de vista normativo, la gestión de RSM en Chile es una competencia de las municipalidades, de acuerdo con la Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades [2]. En este marco, los residuos domiciliarios y asimilables son recolectados y transportados hacia instalaciones de disposición final autorizadas, principalmente rellenos sanitarios. A nivel nacional, la mayor parte de los RSM continúa destinándose a disposición final en rellenos sanitarios, lo que implica costos asociados a recolección, transporte y pago por tonelada dispuesta, además de impactos ambientales derivados de la disposición de fracción orgánica en condiciones anaeróbicas [19]. En consecuencia, cualquier estrategia que permita reducir el volumen de residuos enviados a disposición final adquiere relevancia técnica, económica y ambiental, particularmente en sectores con generación concentrada y relativamente homogénea, como el rubro nocturno.

3.2 CARACTERÍSTICAS OPERATIVAS DEL SECTOR NOCTURNO

Los establecimientos de entretención nocturna presentan una dinámica de funcionamiento distinta al comercio diurno o a la generación domiciliaria tradicional. Su operación se

concentra principalmente entre jueves y sábado, con variaciones estacionales según demanda y eventos especiales. Esta concentración temporal genera picos definidos de producción de residuos en franjas horarias similares. En términos de composición, los residuos generados en este tipo de establecimientos suelen estar asociados a envases y embalajes, además de fracción orgánica derivada de la preparación y consumo de alimentos. Esta composición favorece la segregación en origen y facilita la implementación de sistemas de valorización focalizados en flujos específicos de material, en coherencia con los lineamientos de la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos, que promueve la separación en origen y la valorización de la fracción orgánica [16]. Asimismo, la coincidencia horaria de cierre y limpieza entre establecimientos ubicados en una misma zona permite planificar esquemas de retiro selectivo coordinado, optimizando la logística municipal y mejorando la eficiencia del sistema propuesto.

3.3 IDENTIFICACIÓN DE ZONAS CON CONCENTRACIÓN DE ESTABLECIMIENTOS NOCTURNOS

El análisis territorial permitió identificar sectores específicos dentro del área de estudio donde se concentra un número significativo de restobares y discotecas. Los principales polos detectados corresponden a:

- Plaza Perú (Concepción).
- Barrio Estación (Concepción).
- Calle Argentina (Concepción).
- Sector Michimalonco (San Pedro de la Paz).
- Camino al Venado (San Pedro de la Paz).

La distribución espacial observada en la Figura 3-1 evidencia que los locales no se encuentran dispersos de manera homogénea, sino que tienden a agruparse en corredores urbanos específicos. Esta concentración espacial constituye un factor estratégico para el diseño de circuitos de recolección diferenciada, ya que permite optimizar recorridos, reducir tiempos de desplazamiento y disminuir costos operativos asociados al transporte. La localización agrupada facilita además la implementación de un modelo sectorial de

valorización, al concentrar volúmenes significativos de residuos en áreas delimitadas dentro del radio urbano.

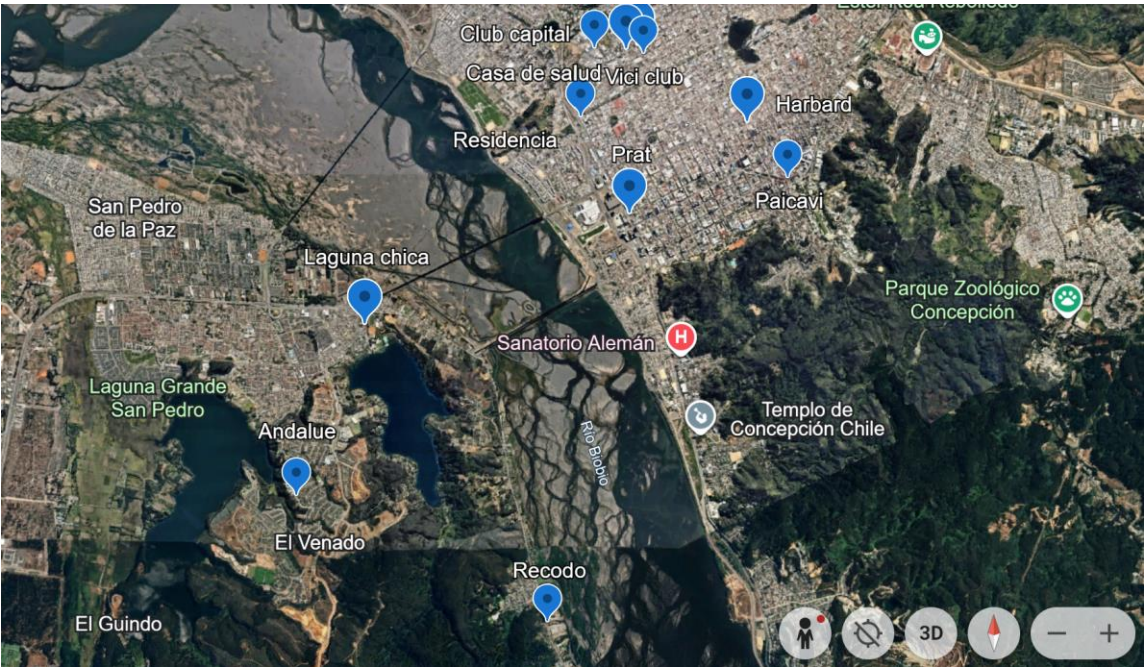


Figura 3Concentración de establecimientos de recreación nocturna. Elaboración propia, Google Earth.

3.4 MUESTRA

La muestra se conformó mediante muestreo no probabilístico por conveniencia, obteniéndose respuesta efectiva de 8 establecimientos que aceptaron participar voluntariamente. El muestreo por conveniencia se caracteriza por seleccionar casos accesibles y disponibles, siendo habitual en estudios exploratorios donde no se busca representatividad estadística sino aproximación diagnóstica inicial. Dado el carácter exploratorio del estudio, la muestra no pretende representar estadísticamente la totalidad del universo, sino proporcionar una aproximación técnica inicial sobre patrones de generación de residuos, prácticas de manejo y disposición a participar en un sistema de valorización municipal. Se reconoce que el tamaño muestral limita la generalización de resultados; sin embargo, resulta suficiente para dimensionar tendencias operativas y estimar órdenes de magnitud necesarios para el diseño conceptual del modelo.

3.5 UNIVERSO

Para la delimitación del área de estudio y la identificación del universo potencial de establecimientos participantes, se realizó un levantamiento exploratorio de carácter descriptivo mediante revisión de guías comerciales digitales de acceso público. Como fuente principal se utilizó la plataforma 800.cl, específicamente en su sección de restaurantes, bares y locales nocturnos. A partir de dicha base se identificaron 31 establecimientos registrados dentro del área territorial definida para el estudio. Posteriormente, se aplicaron criterios de inclusión previamente establecidos, considerando como pertinentes aquellos establecimientos que cumplieran con las características. Tras la revisión individual de cada registro y la verificación manual de su rubro específico, se determinó que 26 de los 31 establecimientos identificados cumplieran con los criterios definidos para el proyecto, representando el universo potencial pertinente dentro del territorio analizado. Este procedimiento permitió delimitar de manera objetiva el ámbito de intervención del estudio, asegurando coherencia entre el perfil operativo de los establecimientos y el modelo de valorización de residuos propuesto. Cabe señalar que el levantamiento realizado corresponde a una identificación exploratoria del universo comercial existente y no sustituye eventuales registros administrativos oficiales. No obstante, resulta metodológicamente adecuado para efectos de estimación preliminar y dimensionamiento del sistema en etapa conceptual.

3.6 JUSTIFICACIÓN TERRITORIAL PARA IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO

La focalización del modelo en los sectores identificados responde a criterios de eficiencia operativa y viabilidad técnica. Al intervenir zonas con alta densidad de establecimientos nocturnos, se maximiza la captación de residuos valorizables por unidad de recorrido logístico, incrementando la relación costo-beneficio del sistema. Adicionalmente, la

ubicación de estos polos dentro del radio urbano facilita la integración con infraestructura municipal existente, tanto en términos de rutas de transporte como en la eventual disponibilidad de terrenos y vehículos para mayor rentabilidad del modelo de valorización propuesto.

Desde una perspectiva ambiental, intervenir estos núcleos de generación permite desviar una fracción significativa de residuos que actualmente se incorpora al flujo general de recolección domiciliaria, contribuyendo a los objetivos nacionales de valorización y reducción de disposición final establecidos en la Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040 [17].

CAPÍTULO 4: DIAGNÓSTICO DE GENERACIÓN Y MANEJO DE RESIDUOS

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

La caracterización diagnóstica se construyó a partir de una encuesta estructurada aplicada mediante difusión directa y participación voluntaria a establecimientos de entretenimiento nocturna ubicados en el área de estudio previamente definida. El universo considerado corresponde a bares, restobares y discotecas formalmente establecidos en las comunas de Concepción y San Pedro de la Paz. De este universo se obtuvo respuesta efectiva de 8 establecimientos, los cuales constituyen la muestra utilizada para el análisis. Dado el carácter exploratorio del estudio y el muestreo no probabilístico por conveniencia, los resultados obtenidos permiten dimensionar tendencias operativas y órdenes de magnitud.

4.2 CARACTERIZACIÓN OPERATIVA DE LO ESTABLECIMIENTOS

Los resultados obtenidos indican que:

La mayoría de los establecimientos posee un aforo promedio entre 100 y 300 personas por evento.

La frecuencia de funcionamiento se concentra principalmente en fines de semana, aunque algunos locales operan también durante días hábiles.

8 de 8 establecimientos cuentan con servicio de bar y/o cocina.

Desde el punto de vista operativo, se trata de establecimientos con alta rotación de usuarios en periodos cortos de tiempo, lo que implica generación concentrada de residuos en pocas horas y en horarios relativamente coincidentes entre locales de un mismo sector. Estas características constituyen la base para la estimación de generación desarrollada en el presente estudio.

4.3 TIPOLOGÍA DE RESIDUOS GENERADOS

Los resultados de la encuesta muestran que los residuos generados con mayor frecuencia corresponden a:

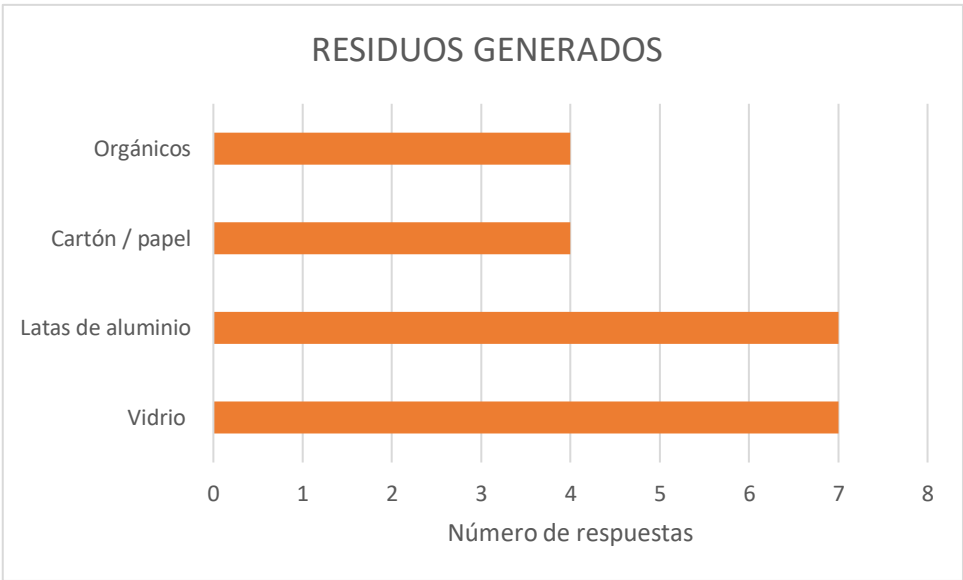


Figura 4 Residuos generados con mayor frecuencia según resultados de la encuesta. Elaboración propia.

En el caso específico del rubro nocturno, la estructura observada presenta una mayor concentración de vidrio y aluminio en comparación con el promedio domiciliario, debido al patrón de consumo de bebidas embotelladas y enlatadas. Ello facilita la segregación en origen y la posterior valorización, en coherencia con los lineamientos de la Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos [16].

4.4 ESTIMACIÓN DE VOLÚMENES GENERADOS

Según los datos auto reportados por los establecimientos:

La mayoría estima una generación total entre 10 y 30 kg por evento.

Un segundo grupo reporta entre 30 y 60 kg por evento.

Con fines de estimación preliminar se adoptó un valor promedio de referencia de 30 kg por evento, coherente con la distribución observada en las respuestas. Aplicando una estructura de composición ajustada en función de antecedentes nacionales [27] y la lógica operativa del rubro, se estimó la siguiente distribución promedio:

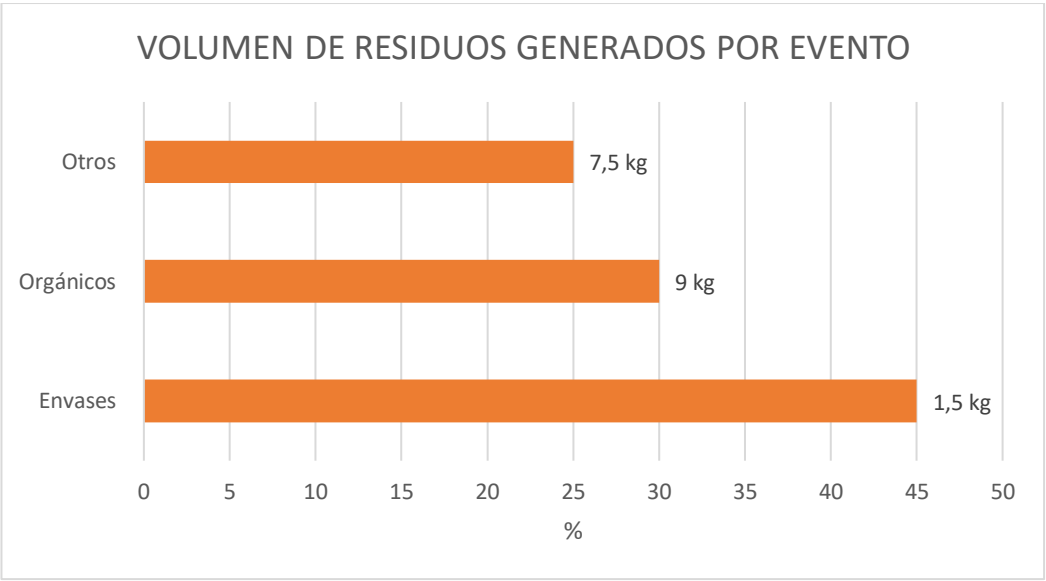


Figura 5. Estimación de volumen en kilogramos de residuos generados por evento. Elaboración propia.

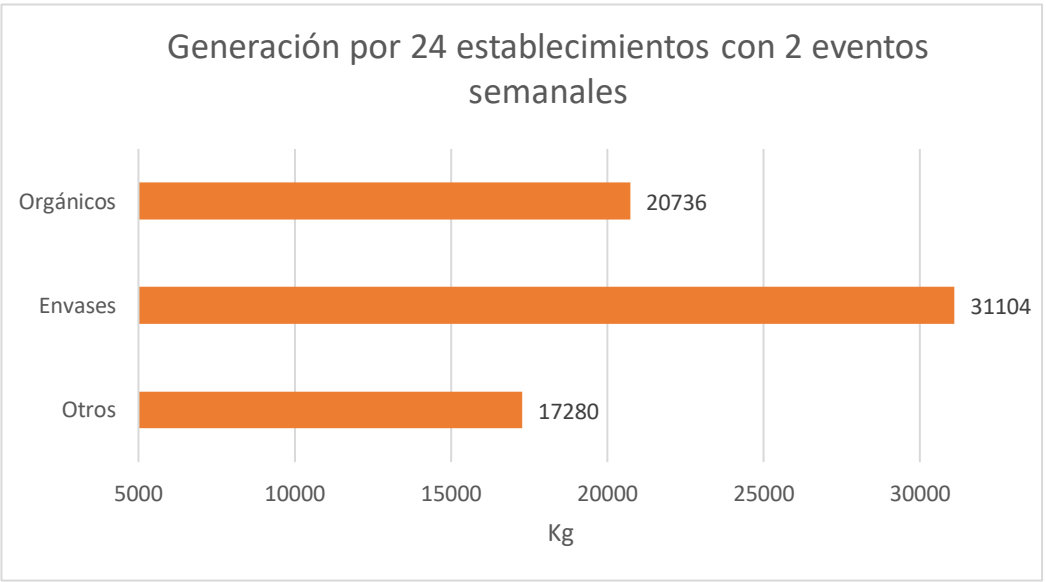


Figura 6 Residuos generados por 24 establecimientos con 2 eventos por semana. Elaboración propia.

Estos valores permiten dimensionar preliminarmente el potencial flujo de materiales hacia un sistema municipal de valorización.

4.4.1 Tabla resumen de resultados

La tabla 4-1 presenta el resumen consolidado del volumen de residuos generados por fracción (orgánicos, vidrio, cartón, latas de aluminio y otros), considerando tres escenarios operativos: 8 establecimientos (escenario base levantado en encuesta), 16 establecimientos (escenario intermedio) y 24 establecimientos (escenario ampliado de diseño). Los valores expuestos se expresan en magnitudes mensuales y anuales, permitiendo visualizar la progresión lineal del flujo total bajo el supuesto de proporcionalidad constante en la generación promedio por establecimiento, conforme a lo establecido en el capítulo metodológico. La desagregación específica de la fracción reciclable en vidrio, cartón y latas responde a la necesidad de dimensionar de manera diferenciada la infraestructura de procesamiento y valorización, dado que cada material presenta requerimientos técnicos distintos en términos de trituración, almacenamiento y destino final. Por su parte, la fracción orgánica se presenta de forma independiente debido a su tratamiento biológico específico.

La incorporación del escenario de 24 establecimientos permite evaluar la capacidad instalada bajo una condición de implementación ampliada, coherente con la estrategia de escalabilidad del modelo, mientras que los escenarios de 8 y 16 establecimientos facilitan la comparación progresiva del impacto operativo y del potencial de valorización. En conjunto, esta tabla sintetiza el comportamiento volumétrico del sistema proyectado y constituye la base cuantitativa para el dimensionamiento de infraestructura, estimación de emisiones evitadas y evaluación técnica del modelo propuesto.

Estimación de generación de residuos (kg)						
N° establecimientos		Vidrio	Aluminio	Cartón	Orgánico	Total
Anual	8	7257,6	2073,6	1036,8	6912	17280
	16	14515,2	4147,2	2073,6	13824	34560
	24	21772,8	6220,8	3110,4	20736	51840

Tabla 1 Volumen de residuos generados anualmente en kilogramos. Elaboración propia.

4.5 PRÁCTICAS ACTUALES DE MANEJO

4.5.1 Almacenamiento y sistema de retiro

La mayoría de los establecimientos declara almacenar residuos de manera transitoria en contenedores sin segregación en bodegas interiores o espacios exteriores dependiendo principalmente del retiro municipal a excepción de 3 establecimientos los cuales segregan y trasladan sus residuos a puntos autorizados. Esta situación evidencia alta dependencia del sistema municipal, coherente con el marco legal que establece que la gestión de residuos domiciliarios y asimilables es competencia municipal [2].

4.5.2. Prácticas de reciclaje

6 establecimientos no cuentan con convenios formales mientras que 2 establecimientos declaran haber tenido algún vínculo con recicladores. Los materiales más reciclados son cartón, vidrio y aluminio.

4.5.3. Pago por derechos de aseo

3 establecimientos declaran realizar pago asociado al retiro.

5 no manejan información clara o no efectúan pago directo diferenciado.

4.6 BRECHAS IDENTIFICADAS

Del análisis integral se identifican las siguientes brechas:

- Ausencia de segregación obligatoria en origen.
- Alta dependencia del sistema municipal.
- Ausencia de medición directa de generación.

Estas brechas responden a ausencia de mecanismos estructurados y coordinados de gestión.

CAPÍTULO 5: DISEÑO E INVERSIÓN ESTIMADA DEL MODELO

5.1 FUNDAMENTACIÓN TÉCNICA DEL MODELO

El modelo se articula en tres componentes integrados:

- Segregación en origen en los establecimientos.
- Logística diferenciada de retiro.
- Infraestructura municipal de valorización.

La integración de estos componentes permite cerrar parcialmente el ciclo de materiales dentro del territorio comunal, bajo principios de economía circular y reducción de disposición final [17].

5.2 PLANTA MUNICIPAL DE VALORIZACIÓN

El núcleo operativo del sistema corresponde a un galpón municipal cerrado destinado a la recepción, almacenamiento temporal y procesamiento de residuos valorizables.

Se proyecta una superficie de 150 m² la cual considera área de acopio previo a procesamiento, espacio para instalación de maquinaria especializada, zona de almacenamiento de arena de vidrio producida, espacio para almacenamiento de latas compactadas y cartón en maxisacos y circulación interna segura para operación. Además, se considera un patio de piscinas de vermicompostaje de 80 m² la cual considera maquinaria de pretratamiento, inicialmente 3 Camas de vermicompostaje (8 m largo x 1,2 m ancho x 0,8 m altura total y 0,4 m altura útil), drenaje de lixiviados, circulación segura, cubierta plástica (carpa) y lombrices.

5.2.1. Inversión planta de valorización municipal

Inversión Planta de Valorización Municipal		
Equipo	Descripción	Valor
Trituradora de vidrio (BB04) 8mm	Capacidad de 680 botellas por ciclo	\$4.400.000
Ball Mill Grinder	Control del polvo generado	\$6.900.000
Camión transportador	Simple	Variable
Grúa horquilla	Arriendo	Variable
Movimiento de tierra y radier (150m2)	Compactación, hormigón, instalación	\$2.000.000
Galpón metálico (150m2)	Estructura metálica, muros y techo de lata y montaje	\$10.000.000
Instalaciones sanitarias	Tuberías, conexión a fosa, mano de obra	\$1.000.000
Instalación eléctrica	Tablero, iluminación LED, instalación	\$1.000.000
Maxi sacos	1 tonelada (4)	\$20.000
Seguridad	Extintores, señalética, extractores, canaletas	\$60.0000
EPP guante anticorte, mascarilla, gafas de seguridad, ropa resistente	Protección general considerando	\$140.000
Mantenimiento, repuestos	Mantenimiento preventivo anual	\$60.0000
Terreno	Espacio base para operar la planta.	Variable
Procesador de alimentos	Capacidad 180 kg/hora	\$747.900
Lombrices 30 kg	Roja Californiana	\$1.000.000
Piscinas en altura	3 unidades	\$600.000
Cubierta	Carpa Impermeable	\$1.050.000
Mano de obra	Patio Vermicompostaje	\$600.000
Total		\$30.657.900

Tabla 2 Cotización para implementar planta de valorización municipal. Elaboración propia.

5.3 COHERENCIA TÉCNICA ENTRE CAPACIDAD INSTALADA Y GENERACIÓN PROYECTADA

Con el fin de verificar la coherencia entre la capacidad instalada y los flujos proyectados para un escenario inicial de 24 establecimientos adheridos, se realizó una conversión de las toneladas anuales estimadas a una base diaria promedio de operación.

En el caso de los residuos orgánicos, la generación proyectada corresponde a aproximadamente 21 toneladas anuales, lo que equivale a:

$$21.000 \text{ kg/año} \div 365 \text{ días} \approx 58 \text{ kg/día}$$

En el caso del cartón el cual también pasa por la procesadora de alimentos, la generación proyectada corresponde a 3 toneladas anuales, lo que equivale a:

$$3.000 \text{ kg/año} \div 365 \approx 8 \text{ kg/día}$$

La procesadora de alimentos seleccionada posee una capacidad de hasta 180 kg/hora, lo que implica que el volumen diario promedio puede ser tratado en aproximadamente 30 minutos de operación efectiva. Esto demuestra que la maquinaria cubre ampliamente el flujo proyectado, manteniendo un margen técnico significativo ante eventuales incrementos en la cantidad de establecimientos o variaciones estacionales en la generación.

Respecto al vidrio, la generación proyectada alcanza aproximadamente 22 toneladas anuales, equivalentes a:

$$22.000 \text{ kg/año} \div 365 \text{ días} \approx 60 \text{ kg/día}$$

La trituradora de vidrio BB04 presenta una capacidad aproximada de 340 kg por ciclo, superando ampliamente el requerimiento diario promedio. Asimismo, la etapa de molienda fina mediante Ball Mill Grinder, con capacidad máxima de 200 kg por ciclo, permite procesar el volumen proyectado con holgura operacional, incluso considerando acumulaciones semanales de material.

Desde un enfoque de ingeniería de procesos, el sistema presenta un bajo factor de utilización de capacidad en su etapa inicial, lo cual no constituye un sobredimensionamiento impropio, sino una decisión estratégica orientada a garantizar flexibilidad operativa, procesamiento por cargas acumuladas, capacidad de absorción ante picos de generación, escalabilidad sin reinversiones estructurales tempranas y el correcto uso de la maquinaria.

En consecuencia, la infraestructura propuesta demuestra coherencia técnica entre la generación estimada y la capacidad instalada, asegurando eficiencia operativa en la fase inicial y viabilidad técnica ante escenarios de expansión progresiva del programa.

5.4 INSTRUMENTOS DE INCENTIVO PARA ESTABLECIMIENTOS ADHERIDOS

La sostenibilidad operativa del modelo municipal de valorización depende de la adhesión voluntaria y permanente de los establecimientos generadores. En este contexto, se proponen instrumentos de incentivo compatibles con el marco normativo chileno vigente, que permitan fomentar la participación activa y fortalecer la viabilidad institucional del programa.

5.4.1 Descuento de tarifa de aseo municipal

El cobro por retiro de residuos domiciliarios o asimilables a domiciliarios se regula mediante el Decreto Ley 3.063 [28], el cual faculta a las municipalidades para fijar derechos por concepto de aseo a través de ordenanzas locales. Complementariamente, la Ley 18.695 [2] otorga atribuciones para administrar servicios de limpieza y establecer tarifas asociadas. En virtud de estas disposiciones, es jurídicamente factible que una municipalidad incorpore en su ordenanza un sistema de:

- Descuento proporcional en la tarifa de aseo para establecimientos que acrediten segregación efectiva en origen.
- Rebaja condicionada a la entrega diferenciada de residuos valorizables al sistema municipal.
- Certificación anual de cumplimiento ambiental como requisito para mantener el beneficio.

Este mecanismo se fundamenta en el principio de jerarquía en el manejo de residuos establecido por la Ley 20.920 [4], que prioriza la prevención y valorización por sobre la eliminación.

5.4.2 Sello municipal de economía circular

Como instrumento complementario, se propone la creación de un Sello Municipal de Valorización o Sello Comunal de Economía Circular, destinado a reconocer públicamente a los establecimientos adheridos al programa.

Este sello podría contemplar:

- Certificación oficial de participación en el modelo municipal de valorización.
- Autorización de uso de imagen institucional en material publicitario.
- Difusión en redes sociales y plataformas municipales.
- Inclusión en un catastro comunal de locales sustentables.

Este tipo de herramienta se alinea con la Hoja de Ruta para un Chile Circular 2040 impulsada por el MMA, la cual promueve instrumentos de reconocimiento y fortalecimiento de economías circulares territoriales.

5.5 ALCANCE DEL DISEÑO CONCEPTUAL

El presente capítulo corresponde al diseño conceptual del modelo municipal de valorización. No contempla la ejecución material inmediata de la infraestructura ni la operación real del sistema, sino que establece las bases técnicas para su eventual implementación. El modelo se limita a residuos orgánicos y envases reciclables generados por establecimientos nocturnos, excluyendo plásticos.

Su viabilidad final dependerá de:

- Nivel efectivo de segregación en origen.
- Formalización de compromisos con los generadores.
- Gestión administrativa municipal.

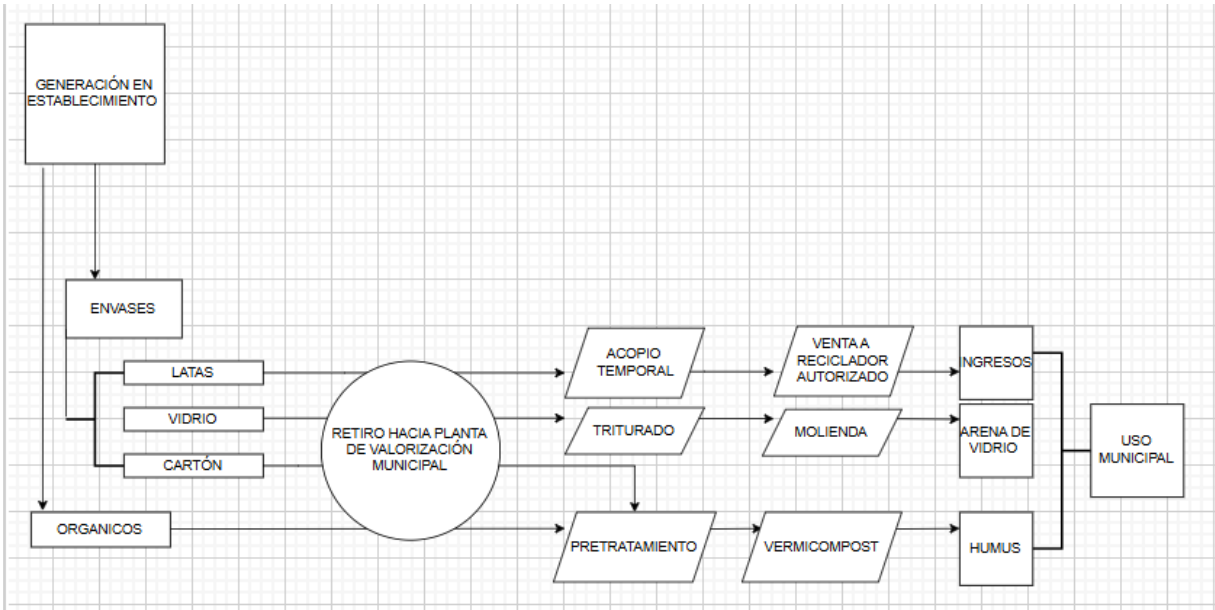


Figura 7 Diagrama de flujo, proceso planta de valorización municipal. Elaboración propia (Draw.io).

CAPÍTULO 6: CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES DE CO2e CAPTADAS

6.1 CUANTIFICACIÓN DE EMISIONES DE CO₂e EVITADAS POR VALORIZACIÓN DE RESIDUOS

La estimación de emisiones evitadas se realizó utilizando la metodología del modelo WARM (Waste Reduction Model) desarrollado por la United States Environmental Protection Agency. El modelo WARM permite estimar emisiones de GEI asociadas a distintos escenarios de gestión de RSM, comparando la disposición en relleno sanitario con alternativas como reciclaje, compostaje o digestión anaeróbica [26].

La cuantificación se desarrolló mediante la siguiente expresión general:

$$E_{evitadas} = \sum_{i=1}^n (M_i \times F E_i)$$

Donde:

Eevitadas → Emisiones totales evitadas (kg CO₂e/año)

Mi → Masa anual del residuo valorizado (toneladas/año)

FEi → Factor de emisión correspondiente al tratamiento (kg CO₂e/tonelada)

n → Número de tipos de residuos considerados

6.1.2. Datos

Para el escenario de 24 establecimientos adheridos al programa, se proyectan los volúmenes anuales obtenidos en el capítulo 4.

Se aplicaron los siguientes factores de emisión evitados (FE_ev):

Vidrio: 0,31 tCO₂e/ton.

Aluminio: 9,16 tCO₂e/ton.

Cartón: 3,10 tCO₂e/ton.

Orgánicos: 0,25 tCO₂e/ton.

6.1.3 Desarrollo

El cálculo se desarrolla de la siguiente manera:

Vidrio

$$22 \text{ ton} \times 0,31 = 6,82 \text{ tCO}_2\text{e/año}$$

Latas de aluminio

$$6 \text{ ton} \times 9,16 = 54,96 \text{ tCO}_2\text{e/año}$$

Cartón

$$3 \text{ ton} \times 3,10 = 9,30 \text{ tCO}_2\text{e/año}$$

Residuos orgánicos

$$21 \text{ ton} \times 0,25 = 5,25 \text{ tCO}_2\text{e/año}$$

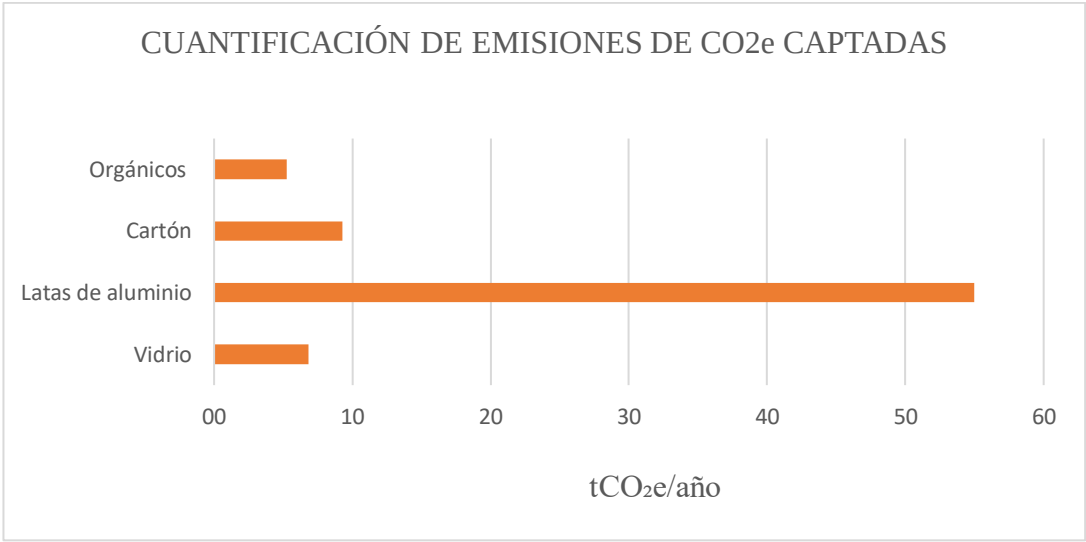


Figura 8 toneladas de CO₂e captadas anualmente. Elaboración propia.

6.1.4 Resultados

En consecuencia, la reducción total estimada de emisiones asciende a:

$6,82 + 54,96 + 9,30 + 5,25 = 76,33$ toneladas de CO₂ equivalente evitadas por año

Este resultado refleja el impacto climático positivo del modelo propuesto bajo un escenario operativo de 24 establecimientos, evidenciando que la valorización material y biológica de residuos constituye una medida efectiva de mitigación, especialmente en fracciones de alto potencial de reducción como el aluminio.

CAPÍTULO 7: EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL MODELO MUNICIPAL DE VALORIZACIÓN

7.1 BASE CUANTITATIVA PARA LA EVALUACIÓN ECONÓMICA

La presente evaluación económica se construye sobre los flujos anuales de residuos estimados en el Capítulo 4 considerando un escenario de 24 establecimientos adheridos al programa.

7.2 AHORRO POR DISMINUCIÓN DE DISPOSICIÓN EN RELLENO SANITARIO

La valorización local de residuos permite reducir el volumen enviado a disposición final, disminuyendo los costos asociados al transporte y a la operación en relleno sanitario.

De acuerdo con antecedentes técnicos disponibles en la plataforma de fiscalización ambiental de la Superintendencia del Medio Ambiente, los costos de disposición final en rellenos sanitarios en Chile presentan variabilidad regional, situándose en un rango referencial aproximado entre \$13.000 y \$18.000 CLP por tonelada, dependiendo del contrato de operación y la ubicación geográfica del proyecto [18].

Para efectos de estimación conservadora en el presente estudio, se adopta un valor medio dentro del rango señalado:

\$15.000 CLP por tonelada

Si se desvían 52 toneladas/año:

$$52 \text{ ton} \times \$15.000 = \$832.000 \text{ CLP anuales}$$

Este monto corresponde al ahorro directo en tarifa de disposición final.

7.3 AHORRO POR TRANSPORTE ASOCIADO A REDUCCIÓN DE VIAJES A DISPOSICIÓN FINAL

El modelo proyectado contempla la valorización de aproximadamente 52 toneladas anuales de residuos (vidrio, aluminio, cartón y orgánicos), los cuales dejan de ser transportados como fracción indiferenciada hacia disposición final. De acuerdo con especificaciones técnicas de camiones recolectores urbanos de residuos sólidos municipales, la capacidad de carga típica se sitúa en torno a 10 toneladas por viaje, valor representativo dentro del rango operativo habitual de 8 a 12 toneladas para camiones compactadores de uso municipal. En consecuencia, las 52 toneladas anuales evitadas equivalen aproximadamente a 6 viajes hacia el relleno sanitario. Considerando una distancia promedio de 24 km ida y vuelta entre el centro urbano de Concepción y el Relleno Sanitario Cemarc Cosmito, el kilometraje total evitado corresponde a:

$$6 \text{ viajes} \times 24 \text{ km} = 144 \text{ km/año evitados}$$

Asumiendo un rendimiento conservador de 1 km/L para camiones recolectores diésel y un precio referencial de \$1.300 CLP por litro, el ahorro directo en combustible se estima en:

$$144 \text{ km} \times 1.300 \text{ CLP} = 187.200 \text{ CLP/año}$$

Si bien este monto no representa un componente estructural del modelo económico, constituye un beneficio logístico adicional atribuible a la reducción efectiva de viajes a disposición final. Además, este ahorro se traduce indirectamente en menores emisiones asociadas al consumo de combustible, reforzando el impacto ambiental positivo del sistema de valorización propuesto.

7.4 AHORRO POR SUSTITUCIÓN DE COMPRA DE HUMUS

En el escenario ampliado a 24 establecimientos, el sistema proyecta el tratamiento de 21 toneladas anuales de residuos orgánicos mediante pretratamiento y vermicompostaje.

Desde el punto de vista técnico, el proceso de vermicompostaje genera una reducción de masa asociada a:

- Pérdida de humedad.
- Mineralización del carbono.
- Liberación de CO₂ durante la degradación biológica.

En términos operacionales, el rendimiento promedio del proceso se sitúa entre 40 % y 60 % del peso inicial, dependiendo de la humedad de entrada y del grado de estabilización alcanzado. Para efectos conservadores de evaluación económica, se adopta un rendimiento del 50 %. Por lo tanto:

$$21.000 \text{ kg} \times 0,50 = 10.500 \text{ kg de humus/año.}$$

Se estima una producción anual aproximada de 10.5 ton de humus.

Este producto no se comercializa, sino que se destina a mantención de áreas verdes municipales, recuperación de suelos degradados, programas de educación ambiental, etc. De acuerdo con valores de mercado para humus comercializado al por mayor en Chile, se adopta un valor conservador de \$600 CLP por kilogramo

El ahorro por sustitución de compra de enmiendas orgánicas se calcula como:

$$10.500 \text{ kg} \times 600 \text{ CLP/kg} = 6.300.000 \text{ CLP/año}$$

Este monto no constituye un ingreso por venta, sino un gasto evitado, al reemplazar la compra externa de enmiendas orgánicas por producción propia derivada del tratamiento de residuos orgánicos municipales. Desde el punto de vista contable, corresponde a un beneficio económico indirecto asociado a la valorización biológica del flujo orgánico.

7.5 AHORRO POR VALORIZACIÓN DEL VIDRIO

7.5.1. FLUJO ANUAL DE VIDRIO

De acuerdo con el dimensionamiento presentado en el Capítulo 4, el flujo anual de vidrio recuperado en el escenario de 24 establecimientos corresponde a 22 toneladas por año.

7.5.2 Conversión a arena de vidrio

La densidad real del vidrio común es aproximadamente 2.500 kg/m³, según antecedentes técnicos del Instituto del Vidrio de España [1]. No obstante, al ser triturado y almacenado en condición granular, su densidad aparente disminuye debido a la presencia de vacíos interarticulares, situándose comúnmente entre 1,4 y 1,6 ton/m³, valores utilizados en aplicaciones como árido reciclado en construcción [11]. Para efectos conservadores se adopta 1,5 ton/m³.

Cálculo:

$$22 \text{ ton} \div 1,5 \text{ ton/m}^3 = 14,67 \text{ m}^3/\text{año de arena de vidrio reciclado.}$$

7.5.3. Ahorro por sustitución de áridos naturales

La extracción de áridos naturales genera impactos ambientales relevantes, tales como alteración de cauces fluviales, erosión y emisiones asociadas a extracción y transporte. El MMA de Chile reconoce la presión creciente sobre la explotación de áridos en el marco de la economía circular y la gestión sustentable de materiales [15]. Considerando una cotización referencial promedio de arena natural en la Región del Biobío de: \$15.000 CLP/m³. El ahorro por sustitución se estima como:

$$14,67 \text{ m}^3 \times 15.000 \text{ CLP/m}^3 = 220.050 \text{ CLP/año.}$$

Este valor corresponde a un gasto evitado por sustitución de áridos vírgenes mediante material reciclado producido localmente.

7.6 VALORIZACIÓN POTENCIAL DEL ALUMINIO

Según los cálculos de estimación realizados en el capítulo 4 se valorizan 6 toneladas anuales de aluminio en el galpón municipal ya que el 20% de los envases reciclables corresponden a latas de aluminio.

Precio promedio referencial de mercado local \$1.000 CLP/kg (valor dentro del rango \$900–\$1.300/kg observado en mercado secundario)

$6.000\text{ kg} \times \$1.000 = \$6.000.000\text{ CLP anuales.}$

Este valor debe entenderse como potencial de valorización sujeto a condiciones de mercado y calidad del material. Este componente fortalece la sostenibilidad financiera del modelo sin requerir infraestructura adicional significativa.

7.7 RESUMEN DE AHORRO ANUAL

Concepto	Beneficio Anual
Relleno sanitario	\$832.000
Transporte	\$187.200
Humus	\$6.300.000
Arena natural	\$220.000
Aluminio	\$6.000.000
Ahorro Anual	\$13.539.200

Tabla 3 Resumen del ahorro generado anualmente. Elaboración propia.

7.8 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL MODELO

Se proyectan tres escenarios escalables:

N° Establecimientos	Ingreso Anual	Inversión Galpón	Periodo de Recuperación
24	13.539.200	30.657.900	2,2 años
16	9.026.134	30.657.900	3,4 años
8	4.513.067	30.657.900	6,7 años

Tabla 4 Recuperación de la inversión. Elaboración propia.

Se asume proporcionalidad directa en generación de residuos y costos evitados.

CAPÍTULO 8: FINANCIAMIENTO

8.1 FINANCIAMIENTO PARA PROYECTOS MUNICIPALES DE RECICLAJE Y ECONOMÍA CIRCULAR

La implementación de proyectos de reciclaje y valorización de residuos a escala comunal requiere estructuras de financiamiento que permitan cubrir inversiones iniciales, fortalecimiento institucional, equipamiento y procesos de educación ambiental. En Chile, los principales instrumentos destinados específicamente a municipalidades corresponden a fondos concursables públicos orientados a fortalecer la gestión local de residuos y promover la economía circular en los territorios.

8.1.1 Fondo Para el Reciclaje (FPR)

El FPR, creado en el marco de la Ley N° 20.920 (REP) es un fondo concursable cuyo objetivo es financiar proyectos que:

- Prevengan la generación de residuos.
- Fomenten la separación en origen.
- Promuevan la reutilización, reciclaje y valorización.
- Fortalezcan capacidades municipales en gestión de residuos.
- Integren a recicladores de base en sistemas formales de gestión.

Los beneficiarios son exclusivamente municipalidades y asociaciones municipales, no contempla postulación de personas naturales ni empresas privadas de forma individual.

Monto de financiamiento

En la convocatoria 2026, el fondo contempla un financiamiento máximo de hasta \$14.000.000 CLP por proyecto municipal. Desde su creación en 2018, el fondo ha

financiado más de 160 proyectos en más de 100 municipalidades del país, beneficiando a millones de habitantes mediante iniciativas de reciclaje domiciliario, compostaje comunitario, educación ambiental y fortalecimiento de recicladores de base [22].

8.1.2. PROGRAMA RECICLO ORGÁNICOS: COOPERACIÓN INTERNACIONAL

Un segundo instrumento relevante para municipalidades es el programa Reciclo Orgánicos, desarrollado en el marco del Acuerdo de Cooperación Ambiental entre Chile y Canadá, coordinado por el MMA [21]. Este programa tiene por finalidad reducir la disposición de residuos orgánicos en rellenos sanitarios mediante:

- Asistencia técnica especializada.
- Transferencia tecnológica.
- Financiamiento de infraestructura y equipamiento.
- Capacitación a funcionarios municipales.

Caso aplicado: Planta de Compostaje de Santa Juana

Un ejemplo concreto es la planta de compostaje de la comuna de Santa Juana, que fue una de las primeras experiencias apoyadas por el programa Reciclo Orgánicos. La iniciativa contó con apoyo técnico y equipamiento financiado en el marco de la cooperación Chile–Canadá, incluyendo maquinaria y capacitación operativa para el tratamiento de residuos orgánicos municipales. Este apoyo permitió reducir significativamente el envío de residuos orgánicos a disposición final y fortalecer la gestión ambiental comunal.

El caso demuestra cómo la participación en redes internacionales y acuerdos bilaterales puede complementar los instrumentos nacionales, fortaleciendo la infraestructura y capacidades locales.

CAPÍTULO 9: DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

DISCUSIÓN

Considerando la extrapolación del proyecto a 24 establecimientos aliados, modifica sustantivamente la evaluación de viabilidad financiera y el alcance ambiental de la iniciativa. Bajo este escenario, el beneficio anual proyectado asciende a \$13.539.200, lo que permite reducir el periodo de recuperación de la inversión inicial (\$30.309.000 CLP) a 2,2 años, utilizando el método de payback simple. Desde una perspectiva financiera, un periodo de recuperación inferior a tres años se considera aceptable en proyectos de infraestructura ambiental de pequeña y mediana escala, particularmente cuando existe estabilidad en los flujos operacionales y bajo riesgo tecnológico. En este caso, la infraestructura propuesta corresponde principalmente a equipamiento de acopio y gestión logística, tecnologías de bajo nivel de obsolescencia, lo que disminuye la exposición a riesgos técnicos.

En términos ambientales, la ampliación a 24 establecimientos incrementa proporcionalmente el volumen de residuos valorizados y, por consiguiente, las emisiones de CO₂e evitadas previamente cuantificadas en el estudio. Este resultado es coherente con los principios establecidos en la Ley 20.920, que promueve la valorización y reducción de residuos mediante instrumentos que incentiven la economía circular a nivel territorial [4]. Asimismo, el fortalecimiento de la gestión colaborativa con establecimientos comerciales se alinea con los lineamientos del MMA, que establece que la transición hacia modelos circulares requiere la participación activa de generadores de residuos en esquemas de separación en origen y valorización [17]. En consecuencia, el modelo demuestra mayor robustez financiera al escalar, pero exige un fortalecimiento paralelo de la gestión operativa y monitoreo técnico para sostener la eficiencia proyectada.

Desde la perspectiva de política pública, el proyecto se inserta en el marco de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, que recomienda a los países miembros fortalecer la infraestructura de valorización y reducir la dependencia de la disposición final como estrategia de mitigación climática y eficiencia en el uso de recursos [22].

En síntesis, la extrapolación de los cálculos confirma que la ampliación del proyecto no solo es viable financieramente, sino que mejora significativamente sus indicadores económicos, ambientales y estratégicos.

CONCLUSIONES

A partir de la evaluación técnica, económica y ambiental desarrollada, se concluye lo siguiente:

Viabilidad económica fortalecida:

La extrapolación a 24 establecimientos genera un beneficio anual de \$13.539.200 CLP y reduce el periodo de recuperación de la inversión a 2,2 años, consolidando la factibilidad financiera del proyecto bajo un escenario de escala ampliada.

Proyección conservadora del modelo:

El estudio fue desarrollado considerando únicamente dos eventos semanales por establecimiento, lo que representa un escenario conservador respecto a la operación real de los locales nocturnos. En consecuencia, los beneficios económicos y ambientales proyectados podrían incrementarse bajo condiciones operativas más intensivas.

Escalabilidad técnica sin inversión adicional en maquinaria:

De acuerdo con el análisis de capacidad operativa desarrollado, la maquinaria y equipamiento considerados en el diseño original poseen capacidad suficiente para escalabilidad en el modelo, sin requerir adquisición de nuevas maquinarias ni ampliaciones inmediatas de infraestructura. Esto refuerza la factibilidad económica del proyecto, ya que el escalamiento se realiza optimizando capacidad instalada existente.

Contribución directa a la economía circular:

El proyecto se alinea con los principios de la Ley 20.920 (REP), promoviendo la valorización de residuos y la reducción de emisiones asociadas a la disposición final.

Impacto ambiental incremental:

La ampliación del alcance territorial incrementa proporcionalmente la reducción de emisiones de CO₂e previamente cuantificadas, fortaleciendo la contribución del proyecto a la mitigación del cambio climático.

Potencial de replicabilidad:

El modelo propuesto presenta características transferibles a otras comunas o

agrupaciones de establecimientos comerciales, especialmente si se articula con instrumentos municipales como el Fondo para el Reciclaje.

En conclusión, el escenario ampliado a 24 establecimientos no solo confirma la factibilidad técnica y económica del proyecto, sino que demuestra que su mayor impacto se alcanza bajo un enfoque de agregación territorial y colaboración multisectorial.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] Envases de Vidrio (ANFEVI). (2021). Propiedades físicas del vidrio y su comportamiento como material reciclable. <https://www.anfevi.com>
- [2] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (1988). Ley N° 18.695, Orgánica Constitucional de Municipalidades. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=251693>
- [3] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (1994). Ley N° 19.300, sobre Bases Generales del Medio Ambiente. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30667>
- [4] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2016). Ley N° 20.920 que establece marco para la gestión de residuos, la responsabilidad extendida del productor y fomento al reciclaje. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1090894>
- [5] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. (2022). Ley N° 21.455, Ley Marco de Cambio Climático. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1177286>
- [6] Comisión Europea. (2020). A new circular economy action plan: For a cleaner and more competitive Europe. <https://eur-lex.europa.eu>
- [7] Edwards, C. A., Arancon, N. Q., & Sherman, R. (2011). Vermiculture technology: Earthworms, organic wastes, and environmental management. CRC Press.

[8] Ellen MacArthur Foundation. (2013). Towards the circular economy.

<https://ellenmacarthurfoundation.org>

[9] FEVE – The European Container Glass Federation. (2022). Glass recycling statistics in Europe. <https://feve.org>

[10] Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6ª ed.). McGraw-Hill.

[11] IHOBE. (2018). Guía técnica para el uso de áridos reciclados en construcción. Sociedad Pública de Gestión Ambiental del Gobierno Vasco.

[12] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IGES.

[13] Intergovernmental Panel on Climate Change. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. IPCC.

[14] Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org>

[15] Ministerio del Medio Ambiente. (2017). Guía para la gestión sustentable de áridos en Chile. Gobierno de Chile.

[16] Ministerio del Medio Ambiente. (2020a). Estrategia Nacional de Residuos Orgánicos 2020–2040. Gobierno de Chile. <https://mma.gob.cl>

[17] Ministerio del Medio Ambiente. (2020b). Hoja de Ruta para un Chile Circular al 2040. Gobierno de Chile. <https://mma.gob.cl>

[18] Superintendencia del Medio Ambiente. (2021). Antecedentes operacionales y económicos de rellenos sanitarios en Chile [Documento técnico].
<https://snifa.sma.gob.cl/General/Descargar/20612065194>

[19] Ministerio del Medio Ambiente. (2022b). Factores de emisión – Programa HuellaChile. Gobierno de Chile.

[20] Ministerio del Medio Ambiente. (2023). Sistema Nacional de Declaración de Residuos (SINADER): Reportes consolidados. Gobierno de Chile.
<https://sinader.mma.gob.cl>

[21] Ministerio del Medio Ambiente. (2018). Programa Reciclo Orgánicos: cooperación Chile–Canadá para la gestión de residuos orgánicos. Gobierno de Chile.

[22] Ministerio del Medio Ambiente. (2026a). Fondo para el Reciclaje 2026: Bases y convocatoria. Gobierno de Chile. https://fondos.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2026/01/ResEx-548_2026-que-revoca-ResEx-6534_2025-que-aprueba-FPR-2026.pdf

[23] Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2019). Global Material Resources Outlook to 2060. OECD Publishing.

[24] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2015). Perspectiva mundial de la gestión de residuos. <https://www.unep.org>

[25] Shi, C., & Zheng, K. (2007). A review on recycled glass in concrete. *Resources, Conservation and Recycling*, 52(2), 234–247.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2007.01.015>

[26] United States Environmental Protection Agency. (2023). Waste Reduction Model (WARM), Version 15. <https://www.epa.gov/warm>

[27] Ministerio del Medio Ambiente. (s.f.). Tus residuos (Sitio web Santiago Recicla). Recuperado el día mes año, de <https://santiagorecicla.mma.gob.cl/recicladores/hogar/tus-residuos/>

[28] Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. Decreto Ley N° 3.063, Ley de Rentas Municipales. Santiago, Chile: BCN; 1979. Disponible en:
<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=18967>

ANEXO

ANEXO A: EQUIPO DE TRITURACIÓN PRIMARIA PARA BOTELLAS DE VIDRIO

Equipo: Trituradora de vidrio BB04

Fabricante / Marca: CicloTec

Aplicación: Reducción primaria de envases de vidrio post-consumo

Descripción técnica: La trituradora de vidrio BB04 es un equipo diseñado para la reducción mecánica de botellas y envases de vidrio mediante trituración controlada, generando un material con granulometría uniforme apta para procesos posteriores de molienda o uso como árido reciclado.

Especificaciones técnicas relevantes:

Capacidad nominal: 680 botellas por ciclo

Producción estimada por ciclo: Aproximadamente 340 kg

Granulometría de salida: 8 mm

Tipo de proceso: Trituración mecánica primaria

Función dentro del modelo de valorización

Este equipo constituye la etapa inicial de la línea de tratamiento de vidrio, permitiendo:

Reducción volumétrica significativa del material.

Homogeneización granulométrica inicial.

Preparación del material para molienda secundaria.



Figura 9 Captura de pantalla. Página web oficial.

ANEXO B: EQUIPO DE TRITURACIÓN SECUNDARIA PARA BOTELLAS DE VIDRIO

Equipo: Ball Mill Grinder for Glass & Ceramic

Aplicación: Molienda secundaria de vidrio triturado

Fuente de cotización: China Factory Price Mill Manufacturing Grinding Ceramic Ball Mill Machine for Glass - Quartz Ceramic Ball Mill and Wet Ceramic Ball Mill

Descripción técnica: El molino de bolas (Ball Mill) es un equipo de molienda utilizado para la reducción fina de materiales minerales y vítreos mediante impacto y fricción generada por cuerpos moledores (bolas de acero o cerámica) en rotación controlada.

En el presente modelo conceptual, el equipo se utiliza como etapa secundaria con el objetivo de obtener un material fino con características similares a arena de vidrio.

➤ Especificaciones técnicas relevantes

Capacidad nominal: 200 kg por ciclo

Tiempo de proceso por ciclo: 30 a 45 minutos

Granulometría final: 1 mm

Tipo de proceso: Molienda por impacto y fricción



Figura 10 Captura de pantalla. Página web oficial.

ANEXO C: MAQUINARIA PRETRATAMIENTO PARA VERMICOMPOSTAJE

Equipo: Procesador de Vegetales 0.5 HP Metvisa

Aplicación: Reducción de tamaño de residuos orgánicos previo a vermicompostaje

Descripción técnica: El procesador de vegetales industrial corresponde a un equipo de reducción mecánica diseñado para fragmentar residuos orgánicos blandos tales como:

Restos de frutas y verduras.

Residuos alimentarios vegetales.

Desechos orgánicos generados en cocinas.

En el presente modelo conceptual, su función es realizar un pretratamiento mecánico mediante reducción de tamaño mejorando la homogeneidad del sustrato, la velocidad de

degradación biológica, la eficiencia del proceso de vermicompostaje y el control sanitario del material ingresado a las piscinas.

➤ Especificaciones técnicas relevantes

Potencia: 0,5 HP

Capacidad nominal: 180 kg/hora

Sistema de corte: Discos intercambiables

Alimentación eléctrica: Monofásica

Tipo de material procesado: Residuos orgánicos blandos

Función dentro del modelo de valorización: el equipo forma parte de la etapa de pretratamiento dentro del flujo de orgánicos reduciendo el tamaño aumenta la superficie de contacto del material mejorando la actividad microbiana, reduce tiempos de estabilización, disminuye riesgos de fermentación anaeróbica y optimiza la calidad final del humus.



Figura 11 Captura de pantalla. Página web oficial.

ANEXO D: ENCUESTA

1. ¿Cuál es el aforo promedio durante un evento?	
Menos de 100 personas	4
100-300 personas	2

300-600 personas	1
600 personas	1

2. ¿Con que frecuencia realiza eventos?

Una vez por semana	2
2-3 veces por semana	3
Todos los fines de semana	3

3. ¿Cuenta con servicio de cocina o bar que genere residuos adicionales?

Si	8
No	0

Residuos que se generan con mayor frecuencia

Vidrio	7
Plástico	6
Latas de aluminio	7
Cartón / papel	4
Residuos orgánicos	4

5. ¿Realizan separación o clasificación de residuos dentro del local?

Si	3
No	5

6. ¿Cuántas bolsas de residuos se generan al finalizar un evento?

1 a 3 bolsas	3
4 a 6 bolsas	2
7 a 10 bolsas	3

7. ¿De que tamaño son las bolsas utilizadas habitualmente?

30 Litros (50x70 app)	1
60 Litros (70x90 app)	7
más de 100 Litros (80x120app)	

8. Si tuvieras que estimar el peso total de residuo por evento ¿Cuánto sería?

Menos de 10 kg	1
----------------	---

10-30 kg	3
30-60 kg	3
Más de 60 kg	1

9. ¿En qué áreas del local se genera mayor cantidad de residuos?

Barra / Bar	4
Cocina	1
Pista de baile	1
Exterior / Terraza	2

10. ¿Dónde se almacenan temporalmente los residuos antes de su retiro?

Dentro del local (bodega o contenedores cerrados)	4
Exterior del recinto	3
Vía publica	1

11. ¿Quién realiza el retiro de los residuos?

Camión municipal	5
Empresa contratada	
El personal traslada a un punto de disposición	3

12. ¿Con que frecuencia se realiza el retiro?

Despues de cada evento	2
Diariamente	4
Semanalmente	2

13. ¿El local paga por retiro o disposición de residuos?

Si, al municipio	3
Si, a privados	
No, es gratuito	5

14. ¿Cuenta con contenedores diferenciados?

Si	
No	8

15. ¿Tiene conocimiento sobre el destino final de sus residuos una vez que son retirados?

Si, relleno sanitario	3
Si, reciclaje	1
No	4

16. ¿Ha establecido convenios con recicladores de base o empresas valorizadoras?

Si	2
No	6

17. ¿Considera que sería viable implementar un sistema de reciclaje dentro del local?

Si	8
No	

18. ¿Qué clase de incentivo fomentaría que recicle?

Sello municipal	2
Económico	4
Marketing	2