

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR - JOSÉ MIGUEL CARRERA

**ANÁLISIS DE RIESGOS DE UN ESTUDIO SOBRE
TRATAMIENTO DE RESIDUOS DOMICILIARIOS EN
LA ZONA RURAL DE PUTAENDO**

Trabajo de titulación para optar
al Título de Ingeniero en
PREVENCIÓN DE RIESGOS
LABORALES Y AMBIENTALES

Alumna:

Srta. Denisse Lorena Rubiño Ambiado

Profesor Guía:

Sr. Rodrigo Domínguez Carmona

RESUMEN EJECUTIVO

KEYWORDS: ANÁLISIS DE RIESGO, RESIDUOS DOMICILIARIOS, CARACTERIZACIÓN, ÁRBOL DE EVENTOS, AMFE.

El presente proyecto tiene como finalidad analizar los riesgos de un estudio sobre tratamiento de residuos sólidos domiciliarios en la zona rural de Putaendo.

En el primer capítulo se entrega el contexto en el cuál se desarrolla el presente estudio; nombrando y explicando las actividades que conforman el Programa de Memorias Multidisciplinarias llevado a cabo por la UTFSM. Luego a partir de esta información se exponen los datos y características relevantes sobre la región de Valparaíso y, específicamente, la comuna de Putaendo. Además se enfoca en la gestión de residuos domiciliarios en Chile y la Región de Valparaíso, con el fin de escoger alternativas que beneficien a las partes interesadas.

El capítulo segundo contiene el marco teórico en el cual se sustenta este trabajo de título. Selección de la muestra, caracterización de residuos, tipos de tratamientos de residuos sólidos, herramientas de análisis de riesgo y, por último, se mencionan y describen brevemente los aspectos legales relacionados al tema.

El tercer capítulo expone los pasos necesarios para lograr definir una tecnología a utilizar en la zona rural de Putaendo, tomando en cuenta todos los antecedentes recopilados en terreno; levantamiento de información mediante reuniones con la municipalidad y también, a través de cuestionarios realizados en el área. Luego de esa etapa, y una vez definida la técnica, se desarrolló; un Árbol de Eventos que compara lo que actualmente acontece con los residuos en el lugar, es decir la quema de estos y por tanto se plantean las consecuencias de utilizar una tecnología que cambie el presente actuar de la comunidad; y además un Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) aplicado al proceso y las partes que componen esta tecnología. Finalmente, el costo de un biodigestor, bajo estas características y condiciones corresponde a un valor aproximado de 1.500 USD. En contraste, la valorización económica de este estudio, tomando en cuenta los costos de inversión y operación, asciende a un monto de 173 USD, equivalente a \$121.573 (CLP).

Se concluye así que las herramientas de análisis de riesgos como Árbol de Eventos y Análisis de Modos de Fallos y Efectos, dirigen el trabajo preventivo respecto a los efectos de los posibles fallos de la tecnología seleccionada, permitiendo priorizar las acciones encaminadas a eliminar o reducir la probabilidad de que sucedan, en este caso actividades de mantenimiento, asegurando que las intervenciones sean las correctas para que la calidad final del producto sea la requerida.

ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

INTRODUCCIÓN 1

OBJETIVOS 3

OBJETIVO GENERAL 3

OBJETIVOS ESPECÍFICOS..... 3

FUNDAMENTACIÓN 4

ALCANCE Y LÍMITES 5

METODOLOGÍA 7

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES 9

1. ANTECEDENTES GENERALES 9

1.1. MEMORIAS MULTIDISCIPLINARIAS 9

1.1.1. El Desafío..... 10

1.2. DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN DE VALPARAÍSO 10

1.2.1. Límites generales 10

1.2.2. Aspectos Demográficos 13

1.2.3. Actividad Económica 13

1.3. DESCRIPCIÓN DE LA COMUNA DE PUTAENDO..... 14

1.3.1. Ubicación 14

1.3.2. Demografía..... 15

1.3.3. Climatología..... 16

1.3.4. Actividades Productivas..... 19

1.4. RESIDUOS DOMICILIARIOS EN CHILE 19

1.4.1. Manejo y gestión de los residuos en Chile..... 20

1.4.2. Destino de los Residuos Sólidos Domiciliarios 21

1.4.3. Residuos domiciliarios en la Región de Valparaíso..... 21

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO 24

2. MARCO TEÓRICO..... 24

2.1. MUESTREO POBLACIONAL 24

2.2. CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS 25

2.2.1. Cuarteo 25

2.3. TRATAMIENTOS DE RESIDUOS SÓLIDOS 28

2.3.1. Reciclaje y Reúso 30

2.3.2.	Reducción por procesamiento y separación.....	31
2.3.3.	Tratamientos térmicos.....	32
2.3.4.	Tratamientos biológicos.....	35
2.4.	ANÁLISIS DEL RIESGO.....	42
2.4.1.	Método General de Evaluación de Riesgos	43
2.4.2.	Proceso de Análisis de Riesgos.....	51
2.5.	ASPECTOS LEGALES	52
2.5.1.	Leyes y Reglamentos Relacionados con la Gestión de Residuos Sólidos .	52
2.5.2.	Leyes y Normas Técnicas relacionadas a Energía	53
CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE RIESGOS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS DOMICILIARIOS		
3.	ANÁLISIS DE RIESGOS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS DOMICILIARIOS	55
3.1.	DETERMINACIÓN DE LA MUESTRA EN LA ZONA RURAL DE PUTAENDO	55
3.1.1.	Información Municipal.....	55
3.1.2.	Cuestionario	56
3.1.3.	Caracterización de perfiles.....	68
3.2.	CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS EN LA ZONA RURAL DE PUTAENDO	72
3.2.1.	Aplicación método de Cuarteo.....	72
3.2.2.	Procedimiento	72
3.2.3.	Resultados	75
3.3.	SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA PARA TRATAMIENTO DE MATERIA ORGÁNICA.....	78
3.3.1.	Costos de Inversión de un Biodigestor en Perfil 2.....	79
3.3.2.	Beneficios.....	80
3.4.	ANÁLISIS DE RIESGOS DE LA TECNOLOGÍA SELECCIONADA.....	82
3.4.1.	Aplicación del Método del Árbol de Sucesos	82
3.4.2.	Análisis Modal de Fallo y Error.....	83
3.5.	VALORIZACIÓN ECONÓMICA.....	85
3.5.1.	Costos de inversión	85
3.5.2.	Costos de operación	87
CONCLUSIONES		89
RECOMENDACIONES		90
BIBLIOGRAFÍA		92
ANEXOS		102
ANEXO A: HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DE RIESGOS.....		99

ANEXO B: CUESTIONARIO 101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1. Mapa de la Región de Valparaíso.....	11
Figura 1-2. Putaendo en la Región de Valparaíso.....	14
Figura 1-3. Zonificación para la aplicación de biodigestores..	18
Figura 1-4. Clasificación de residuos en Chile.	20
Figura 2-1. Método de cuarteo tipo B, AASHTO T 248.	27
Figura 2-2. Máquina compactadora de residuos.	31
Figura 2-3. Separación magnética de residuos.....	32
Figura 2-4. Entrada a un horno incinerador.	33
Figura 2-5. Compostaje hecho a partir de residuos domiciliarios.....	36
Figura 2-6. Lombrices especiales para Lombricultura.....	38
Figura 2-7. Biodigestor tipo chino.	40
Figura 2-8. Biodigestor tipo hindú.	41
Figura 2-9. Biodigestor tipo horizontal.....	41
Figura 2-10. Método del Árbol de Sucesos, esquema general.	51
Figura 3-1. Primera parte del cuestionario.....	56
Figura 3-2. Datos generales sobre servicios básicos.....	57
Figura 3-3. Datos generales sobre residuos del encuestado.....	58
Figura 3-4. Segunda parte del cuestionario.....	59
Figura 3-5. Continuación segunda parte cuestionario.....	59
Figura 3-6. Contenedor de basura, sector El Manzano	60
Figura 3-7. Preguntas de la segunda parte del cuestionario.	60
Figura 3-8. Microbasural en la zona rural de Putaendo.	61
Figura 3-9. Preguntas para conocer el destino de la basura.	61
Figura 3-10. Tercera parte del cuestionario.	62
Figura 3-11. Preguntas para conocer los recursos disponibles.	63
Figura 3-12. Perfil 1. Sector las Minillas Putaendo.	69
Figura 3-13. Basura doméstica sector las Minillas, Putaendo.	70
Figura 3-144. Ubicación geográfica de los perfiles en el sector rural de Putaendo.....	71
Figura 3-15. División por cruz concéntrica.....	74
Figura 3-16. Medición de densidad en campo. Residuos de la porción reducida en volumen obtenida del cuarteo.	77
Figura 3-17. Árbol de sucesos. Generación de residuos en la zona rural de Putaendo....	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Síntesis de provincias Región de Valparaíso..... 12

Tabla 1-2. Población Región de Valparaíso..... 13

Tabla 1-3. División territorial de la comuna de Putaendo. 15

Tabla 1-4. Temperaturas Máximas y Mínimas mensuales de Putaendo 17

Tabla 1-5. Índice térmico. 17

Tabla 1-6. Sitios Operativos a Nivel Nacional..... 21

Tabla 1-7. Sitios de Disposición Final Activos, Región de Valparaíso. 22

Tabla 2-1. Puntaje del riesgo y gestión. 45

Tabla 2-2. Puntaje de riesgo y clasificación..... 45

Tabla 2-3. Clasificación de la frecuencia / probabilidad de ocurrencia del modo de fallo.
..... 47

Tabla 2-4. Clasificación de la gravedad del modo de fallo..... 48

Tabla 2-5. Clasificación de la probabilidad de detección del modo de fallo. 49

Tabla 3-1. Análisis comparativo de Perfiles en Zonas Rurales de Putaendo..... 71

Tabla 3-2. Composición en porcentaje de los residuos..... 75

Tabla 3-3. Clasificación de residuos sólidos..... 76

Tabla 3-4. Análisis comparativo de las distintas tecnologías posibles a usar. 78

Tabla 3-5. Costos construcción sistema de biodigestión. 79

Tabla 3-6. Biabono a producir y su equivalencia en pesos. 80

Tabla 3-7. Ahorro energético de gas de biodigestor. 81

Tabla 3-8. AMFE de un Biodigestor..... 83

Tabla 3-9. Costos de Inversión del Cuarteo. 86

Tabla 3-10. Clases contenidas en el programa de Memorias Multidisciplinarias..... 86

Tabla 3-11. Costos de Operación del proyecto. 87

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 2-1. Proceso de cuarteo. 26

Diagrama 2-2. Esquema Alternativas de tratamiento de Residuos Sólidos..... 29

Diagrama 2-3. Esquema del proceso de Reciclaje. 30

Diagrama 2-4. Flujo simplificado de un incinerador. 33

Diagrama 2-5. Proceso de pirólisis de biomasa. 34

Diagrama 2-6. Proceso de compostaje. 35

Diagrama 2-7. Bloques de elaboración de Lombricompuesto. 37

Diagrama 2-8. Proceso de digestión anaerobia en un biodigestor. 39

Diagrama 2-9. Pasos en el análisis de la matriz L..... 44

Diagrama 2-10. Metodología de Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (AMFE)..... 46

Diagrama 2-11. Proceso de Análisis de Riesgo. 51

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1. Distribución porcentual Urbano Rural Putaendo..... 15

Gráfico 3-1. Pregunta 1 Ocupación económica del entrevistado..... 64

Gráfico 3-2. Pregunta 4¿Con qué tipo de servicios cuenta? 65

Gráfico 3-3. Pregunta 8 ¿Qué es lo que más bota al tacho de la basura?..... 65

Gráfico 3-4. Pregunta 10. ¿En cuántos días se llena el tacho de basura de su casa? 66

Gráfico 3-5. Pregunta 13 ¿Cada cuánto tiempo recogen la basura de tu casa?..... 67

Gráfico 3-6. Pregunta 16 ¿Qué hace con la basura cuando se acumula? 67

Gráfico 3-7. Pregunta 20 ¿Le da otro uso a las sobras de comida? 68

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

SIGLAS

ACR	:	Análisis de Composición de Residuos
AIDIS	:	Asociación Interamericana De Ingeniería Sanitaria y Ambiental
AMFE	:	Análisis Modal de Fallos y Efectos
CEARS	:	Centro de Economía y Administración de Residuos Sólidos
CEPAL	:	Comisión Económica para América Latina y el Caribe
CLP	:	Peso Chileno
CONICYT	:	Comisión Nacional de Investigación Científica Y Tecnológica
DA	:	Digestión Anaeróbica
DFL	:	Decreto con Fuerza de Ley
EPP	:	Elementos de Protección Personal
GLP	:	Gas Licuado del Petróleo
IDRC	:	Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo
INE	:	Instituto Nacional de Estadísticas
INIA	:	Instituto de Investigaciones Agropecuarias
INSHT	:	Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo
MA	:	Medio Ambiente
MMA	:	Ministerio del Medio Ambiente.
MO	:	Mano de Obra
OCDE	:	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
ODM	:	Objetivos de Desarrollo del Milenio.
PET	:	Tereftalato de Polietileno
PIB	:	Producto Interno Bruto
RETC	:	Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes
RSD	:	Residuo Sólido Domiciliario.
RSM	:	Residuos Sólidos Municipales.
RSO	:	Residuos Sólidos Orgánicos
SUBDERE	:	Subsecretaría de Desarrollo Regional
UN	:	Naciones Unidas.
UF	:	Unidad de Fomento
USD	:	Dólar Estadounidense

SIMBOLOGÍA

kg	:	Kilogramo
g	:	Gramo
m	:	Metro
m ³	:	Metro cúbico
cm	:	Centímetro
cm ³	:	Centímetro cúbico
\$	:	Peso chileno
%	:	Porcentaje
l	:	Litro
ρ	:	Densidad
km ²	:	Kilómetro cuadrado
°	:	Grado
'	:	Minuto
°C	:	Grado Celsius

INTRODUCCIÓN

La población mundial, que corresponde actualmente a 7.300 millones de personas, se estima crecerá a 9.000 o quizás 11.000 millones al final del siglo XXI (UNITED NATIONS, 2017). Por consecuencia, la cantidad de desperdicios en el mundo aumenta en la forma en que la población y el nivel de consumo de recursos aumentan con el tiempo (ZAMAN, 2016).

Actualmente los niveles globales de generación de desechos sólidos municipales son aproximadamente 1.300 millones de toneladas por año, y se espera que aumente a 2.200 millones toneladas al año 2025 (HOORNWEG, 2012). La generación de desechos y su incremento está causando gran deterioro ambiental; en particular contaminación del suelo, agua y aire debido a la disposición final y métodos de manejo no sustentables.

La generación y administración de desechos sólidos domiciliarios es un problema que preocupa en forma creciente a muchos países en vías de desarrollo (ROTHENBERGER, 2006). Se trata de uno de los conflictos medioambientales más inmediatos y serios que enfrentan los gobiernos locales y gestores públicos como las municipalidades.

Las áreas rurales que están alejadas de las principales áreas urbanas suelen ser las más descuidadas por los servicios de gestión de desechos. Los operadores de residuos evitan tales áreas, y las autoridades locales otorgan pocos o ningún recurso financiero para proporcionar servicios públicos apropiados (MIHAI, 2017). Además, las limitaciones geográficas (montañas, colinas, mesetas altas y humedales) dificultan la implementación de instalaciones adecuadas de gestión de residuos.

Hasta mediados de la década de los 70, se desarrolló la Conferencia de Estocolmo sobre Medio Ambiente, la importancia respecto a la generación de RSU radicaba en la respectiva recolección, alejamiento de la fuente generadora y disposición final en el suelo. Sin embargo, este modelo ya no corresponde con las pautas internacionales concernientes a la administración integrada de residuos sólidos urbanos, ni con los Objetivos de Desarrollo del Milenio (AIDIS, IDRC, 2005).

En Chile se estimó que el año 2009 en el país se generaron 16,9 millones de toneladas de residuos, de las cuales 6,5 millones correspondían a residuos municipales y 10,4 millones a residuos industriales, excluyendo los residuos mineros masivos (MMA, 2011).

La gestión de RSM, es decir la recolección, transporte y disposición, es un servicio que depende de las respectivas municipalidades. Cada una de estas corporaciones autónomas tiene adherida como una de sus funciones principales la preocupación por el aseo y ornato de la ciudad, dando así cumplimiento al mandato constitucional de satisfacer las necesidades de la comunidad local y asegurar su participación en el progreso económico, social y cultural de la comuna.

Según estimaciones del Ministerio de Medio Ambiente, cerca de 6.140 toneladas de basura acumulan los 112 vertederos y 38 rellenos sanitarios del país cada año (MMA, 2016) y más del 95% de los residuos se descargan en los sitio de categoría vertedero (CEPAL, 2016).

Chile se enfrenta a desafíos ambientales donde su desempeño es comparado con el de países desarrollados que implementan, a través de entidades competentes, soluciones integradas a este tipo de situaciones. Entre 1999 y 2015 el reciclaje en los hogares chilenos ha ido en aumento en forma muy significativa (CENTRO DE ANÁLISIS DE POLÍTICAS PÚBLICAS, 2016) y las leyes que se gestan en tiempo presente apuntan a un incremento de este aspecto en el mediano y largo plazo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar los riesgos de un estudio sobre el tratamiento de residuos domiciliarios en la zona rural de Putaendo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar los residuos sólidos generados en los domicilios de la zona rural de Putaendo.
- Seleccionar la tecnología más adecuada para el tratamiento de los residuos orgánicos domiciliarios generados.
- Identificar los peligros de la tecnología usada considerando los posibles efectos a través de técnicas de identificación de peligros.
- Identificar las consecuencias de la tecnología usada considerando las posibles causas a través de técnicas de análisis de riesgo.

FUNDAMENTACIÓN

La población humana crece continuamente y paralelamente ha aumentado el bienestar global en las últimas décadas, lo que resulta en una gran producción de recursos y por consiguiente en una mayor cantidad de desechos en el planeta.

La gestión de residuos se ha centrado en áreas urbanas, especialmente, por la cantidad de personas que allí habitan (MIHAI, 2017). Sin embargo, según el Banco Mundial, todavía, el 46% de la población del mundo vive en áreas rurales. Mientras que el área rural genera desechos que son a menudo orgánicos y fácilmente biodegradables, los residuos urbanos están caracterizados por la cultura y las prácticas de la sociedad. (CHANDRAPPA, 2012).

En Chile la recolección de residuos es responsabilidad del municipio de cada comuna así como la debida disposición final de esta. En Putaendo, ciudad perteneciente a la Región de Valparaíso, donde, según información recopilada en terreno, el recorrido del camión de basura en la zona rural es casi nulo. Las consecuencias de este presente son: nacimiento de microbasurales y quema de los desechos domiciliarios.

La composición de los residuos de esta zona corresponde a un 70% de desechos orgánicos. En base a estas cifras, se manejan opciones de tratamientos que utilicen ese tipo de residuo y lo transformen en un producto del cual se obtenga un beneficio. Para que aquello se desarrolle cabalmente, realizar un análisis de riesgos a la tecnología que se escoja permitirá el correcto funcionamiento del proceso. Además evitar pérdidas económicas.

ALCANCE Y LÍMITES

El presente proyecto consistirá en el análisis de riesgos de una tecnología para el tratamiento de residuos sólidos domiciliarios de la comuna de Putaendo. El alcance considera a un primer grupo de localidades para realizar el muestreo poblacional: El Manzano y Las Minillas; y a un segundo grupo de sectores: Los Patos, Casablanca, Población Hidalgo y Rinconada Guzmán.

Supuestos

- Contaminación debido a residuos sólidos domiciliarios generados en el lugar.
- Los residuos generados serán de tipo aprovechables.
- Los lugareños presentarán una actitud colaboradora.
- Se entrevistará a la mayor cantidad posible de familias de las localidades a estudiar.
- Los residuos utilizados en el cuarteo corresponden a la población del sector.

Limitaciones

- Días de visitas.
- Distancia a sector rural de Putaendo.
- Materiales e implementos para mediciones.
- Recursos económicos disponibles
- Conocimiento de la variabilidad de los residuos en la zona en estudio
- Calidad técnica del personal participante
- Características de la localidad a muestrear
- Exactitud de la balanza

Hitos Principales

- Composición de residuos sólidos mediante método de cuarteo
- AMFE a tecnología seleccionada
- Valorización económica del estudio.

El presente proyecto no incluye una propuesta dirigida a la Municipalidad de la comuna ni la implementación de la tecnología seleccionada para el tratamiento de

residuos sólidos domiciliarios. Sin embargo, los costos de inversión de un biodigestor con características definidas, se incluye en este proyecto.

METODOLOGÍA

A fin de cumplir el objetivo general y los objetivos específicos planteados, se contemplan las siguientes etapas:

Etapas 1: Caracterización de residuos sólidos domiciliarios

La caracterización de residuos sólidos domiciliarios se efectuará mediante un procedimiento llamado cuarteo. Para esto se visitará la zona rural de Putaendo, específicamente los sectores de Las Minillas, El Manzano y Los Patos. Los residuos sólidos que se analizarán estarán compuestos por varios tipos de desechos, de los cuales es relevante conocer su composición en fracciones.

Etapas 2: Selección de tecnología

Se deberán investigar las alternativas existentes para tratar estos residuos. Según la información de cada opción se podrá comparar cada una de estas y de acuerdo a ciertos criterios establecidos, seleccionar la más adecuada respecto al contexto evaluado.

Etapas 3: Identificación de peligros

Una vez elegida la tecnología con la que se trabajará, basándose en la información anteriormente dispuesta, se deben contemplar los riesgos asociados a esa tecnología. Se realizará un Análisis Modal de Fallos y Efectos para determinar de qué formas podría fallar el proceso llevado a cabo por este dispositivo y de esta forma realizar recomendaciones que se orienten a conformar actividades programadas de mantenimiento.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERALES

1. ANTECEDENTES GENERALES

En el presente capítulo se contextualizará la génesis del presente proyecto. Además se entregará información general de la región y comuna esclarecedores para este estudio; además de datos sobre la gestión de residuos a nivel nacional y regional.

1.1. MEMORIAS MULTIDISCIPLINARIAS

Este trabajo de título se desarrolla dentro de un plan desplegado por la Universidad Técnica Federico Santa María que consiste en reunir a un grupo de estudiantes de diferentes carreras universitarias, con el fin de conformar un equipo multidisciplinario capaz de trabajar y desenvolverse en torno a un desafío propuesto por empresas, organizaciones públicas, entre otras, desarrollando productos y/o servicios, a partir de necesidades y oportunidades de la industria o de la sociedad.

El programa de Memorias Multidisciplinarias genera una vinculación permanente y significativa con la industria y además influye en la formación de los estudiantes en las habilidades asociadas a la innovación y al emprendimiento. Dichas habilidades son tratadas a través de cursos impartidos por expertos en el tema como por ejemplo Plan de Negocio, Trabajo en Equipo y Liderazgo, Responsabilidad Social, etc.

En el caso de este proyecto, el desafío planteado por una fundación dedicada a la creación de productos y servicios orientados a la gestión de residuos humanos, debía responder a la siguiente pregunta: ¿Cómo podemos, por medio de una propuesta de negocio social, mejorar la calidad de vida y aumentar el grado de autonomía a familias rurales, enfocado en la gestión de los residuos domiciliarios?

El principal usuario objetivo de la Fundación se define como una familia rural, de escasos recursos o con interés por el medio ambiente. En la línea de tiempo de la Fundación, esta ha reconocido en el usuario otro aspecto no resuelto, la gestión de residuos domésticos, generados desde la cocina y por las actividades de granja para consumo personal. El problema descrito no es resuelto debido a la intermitencia o ausencia de servicios municipales y por la falta de conocimientos, entre otros motivos. Se plantea diseñar y testear una propuesta que contemple la autogestión sostenible,

familiar o comunitaria, de los residuos domésticos con foco en el usuario de la Fundación.

1.1.1. El Desafío

El desafío planteado por la Fundación, se centra en la población rural de Chile; personas que no cuenten con los servicios de alcantarillado o recolección periódica de residuos domiciliarios. Así, la acumulación de desechos provoca un problema de contaminación y salubridad que debe ser solucionado para mejorar la calidad de vida de estas familias.

Actualmente la población rural opta por alternativas para reducir el volumen de sus desechos mediante la quema y el entierro de estos, creando otros problemas como la contaminación del aire y del suelo. De esta manera, se debe generar una propuesta de autogestión sostenible para familias rurales, enfocado en el manejo de estos residuos domiciliarios.

El desafío se abarcó mediante una propuesta de investigación con un trabajo en conjunto con la Fundación, la cual solicitó realizar un análisis de la situación con un material de trabajo recopilado en terreno, siendo la localidad de libre elección, con la única condición de que sea una zona rural. Por cercanía y temas logísticos, la zona escogida fue Putaendo ciudad y comuna perteneciente a la Provincia de San Felipe de Aconcagua, Región de Valparaíso, Chile.

1.2. **DESCRIPCIÓN DE LA REGIÓN DE VALPARAÍSO**

A continuación se expondrán aspectos relevantes sobre la región de Valparaíso los cuales contribuyen a contextualizar el presente trabajo de título.

1.2.1. Límites generales

La Región de Valparaíso, localizada entre los 32° 02' y 33° 57' de latitud sur y entre los meridianos 70° y 72° Oeste, corresponde al territorio central de Chile; donde al norte limita con la Región de Coquimbo, al sudeste con la Región Metropolitana y en su

extremo sur con la Región del Libertador General Bernardo O’Higgins (BCN, 2010). Al este se encuentra referenciada por el límite con Argentina y por el Océano Pacífico al oeste (Figura 1-1).

De acuerdo a mediciones efectuadas por el Instituto Nacional de Estadísticas (INE), cuenta con una superficie aproximada de 16.396,1 km2, y la superficie regional representa el 2,17% de Chile continental e insular.

A nivel político-administrativo, la región está dividida en 8 provincias y 38 comunas (GOBIERNO REGIONAL REGIÓN DE VALPARAÍSO, 2012). Se destaca por ser la región que cuenta con más provincias en el país, y por contar con una provincia que latitudinalmente se encuentra frente a la tercera región, como es el caso de Rapa Nui.



Fuente: Foto de archivo - Mapa Valparaíso Chile Región Administrativa.

Figura 1-1. Mapa de la Región de Valparaíso.

La capital regional es la ciudad de Valparaíso, sede del poder legislativo y Patrimonio de la Humanidad según declaración de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) en el año 2003.

La Tabla 1-1 presenta una síntesis de las provincias y las comunas de la región de Valparaíso.

Tabla 1-1. Síntesis de provincias Región de Valparaíso.

Provincias	Comunas
Valparaíso	Valparaíso
	Casablanca
	Concón
	Juan Fernández
	Puchuncaví
	Quintero
	Viña del Mar
Rapa Nui	Rapa Nui
Los Andes	Los Andes
	Calle Larga
	Rinconada
	San Esteban
Petorca	La Ligua
	Cabildo
	Papudo
	Petorca
	Zapallar
Quillota	Quillota
	Calera
	Hijuelas
	La Cruz
	Nogales
San Antonio	San Antonio
	Algarrobo
	Cartagena
	El Quisco
	El Tabo
	Santo Domingo
San Felipe de Aconcagua	San Felipe
	Catemu
	Llay Llay
	Panquehue
	Putendo
	Santa María
Marga Marga	Limache
	Olmué
	Villa Alemana
	Quilpué

1.2.2. Aspectos Demográficos

Un 62,4% de la población se concentra en las regiones Metropolitana (40,5%), Biobío (11,6%) y Valparaíso (10,3%) (INE, 2018).

A través de los años la población ha envejecido, lo que se aprecia en los cambios en la distribución de los grupos de edad: hay una disminución de las personas entre 0-14 años y un incremento de las personas de 65 años o más. La población perteneciente a este último rango etario, aumentó desde 7,9% en el año 1992 a 13,6% en el año 2017. (Tabla 1-2)

Tabla 1-2. Población Región de Valparaíso.

POBLACIÓN	Censo 1992	Censo 2002	Censo 2017
Población total	1.384.336	1.539.852	1.815.902
Población 0-14 años	28,2%	24,3%	19,1%
Población 15-64 años	63,9%	65,9%	67,3%
Población 65 años o más	7,9%	9,8%	13,6%

Fuente: Censo 2017, INE.

1.2.3. Actividad Económica

En la Región de Valparaíso tanto las redes de comunicación vial, de internet y telefonía así como los recursos naturales y las inversiones privadas y públicas; aportan a los sectores económicos constituyentes de su economía como son las industrias Portuaria, Agricultura, de Turismo, Manufacturera y Minería (CONICYT, 2010).

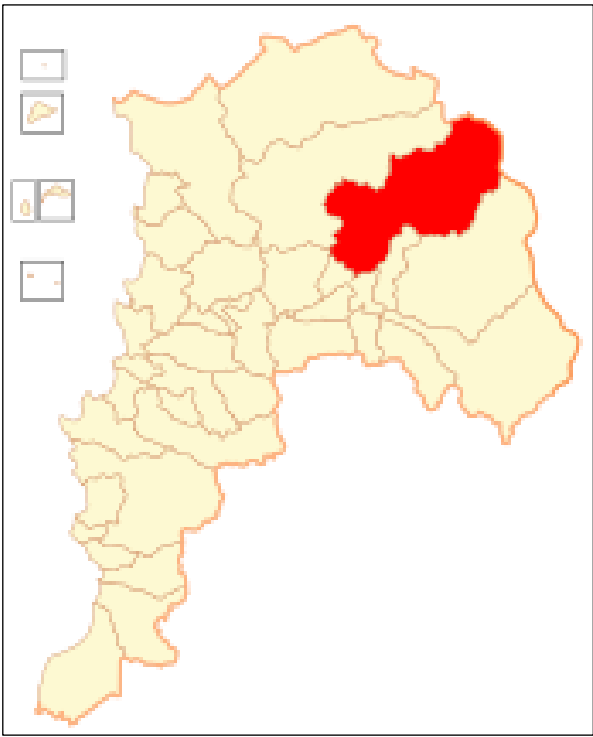
La economía de la Región de Valparaíso está sustentada sobre la base de sectores económicos con gran desarrollo desde el punto de vista de su aporte al PIB de la región y de su contribución a la economía nacional. De acuerdo a informaciones del Banco Central, el protagonista económico de la Región de Valparaíso es la industria manufacturera, le sigue la minería, el transporte y las comunicaciones.

1.3.DESCRIPCIÓN DE LA COMUNA DE PUTAENDO

La comuna de Putaendo corresponde a la localidad escogida para desarrollar el presente trabajo. A continuación se detallan características acerca de dicho lugar.

1.3.1. Ubicación

La ciudad de Putaendo se encuentra en la región de Valparaíso y pertenece a la Provincia de San Felipe de Aconcagua (Figura 1-2), es la comuna más grande de la provincia y se caracteriza por tener un gran porcentaje de población rural (MACROCAP, 2009). La Provincia de San Felipe limita al Norte con la Provincia de Petorca, al este con la Provincia de Los Andes y la República Argentina, al sur con la Región Metropolitana, al oeste con la Provincia de Quillota.

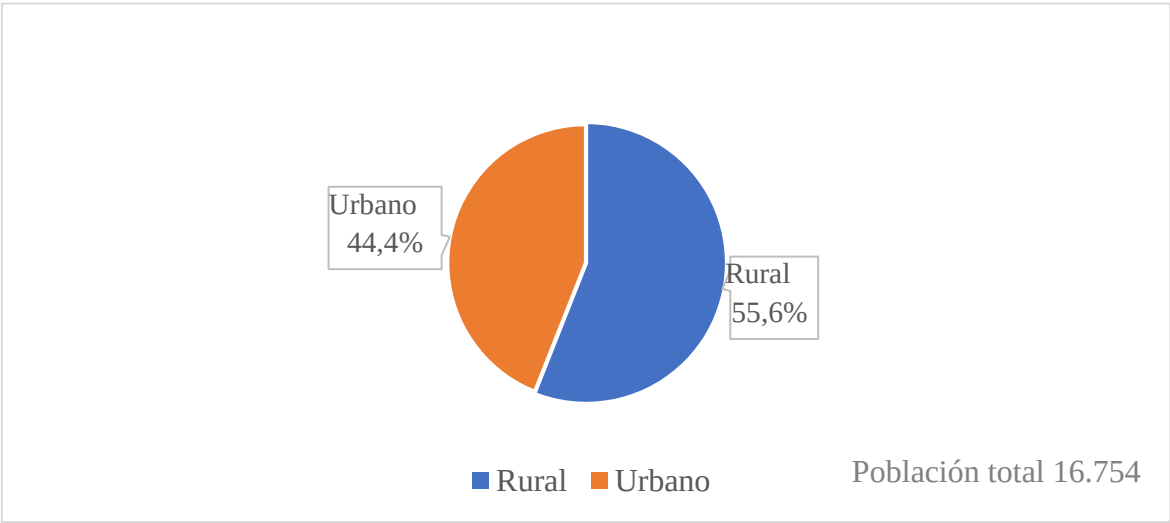


Fuente: MACROCAP, 2009.

Figura 1-2. Putaendo en la Región de Valparaíso

1.3.2. Demografía

La comuna de Putaendo posee en 2017, según el Instituto Nacional de Estadísticas, una población total de 16.754 personas, de las cuales 8.358 son hombres y 8.396 mujeres. La población urbana corresponde a los 7.439 individuos, agrupándose todos ellos en la localidad homónima, mientras que los que viven en la ruralidad corresponden a 9.315 personas. (Gráfico 1-1)



Fuente: Elaboración propia. Información INE 2017.

Gráfico 1-1. Distribución porcentual Urbano Rural Putaendo.

1.1.1. División territorial

La comuna se divide en 20 sectores, cada uno de los cuales constituye una unidad vecinal. Esta comuna cuenta con un sector urbano correspondiente a la localidad de Putaendo y 19 sectores rurales (MACROCAP, 2009). (Tabla 1-3)

Tabla 1-3. División territorial de la comuna de Putaendo.

	Subsector	Zona
Putaendo centro	Putaendo Urbano	Urbano
	Brasil	Rural
	Sahonde	Rural
	Juan Rozas	Rural

Cont. Tabla 1-3.

Quebrada de Herrera	Quebrada Herrera	Rural
	Las Compuertas	Rural
	Calle Ortiz	Rural
Las Coimas	Las Coimas	Rural
Rinconada de Silva	Rinconada de Silva	Rural
	La Orilla	Rural
	Tabolango	Rural
Granallas	Granallas	Rural
Rinconada de Guzmán	Rinconada de Guzmanes	Rural
Piguchén	Piguchen	Rural
	Población Hidalgo	Rural
Lo Vicuña	Lo Vicuña	Rural
	El Tártaro	Rural
	Casa Blanca	Rural
	Los Patos	Rural
	El Manzano	Rural
	Las Minillas	Rural

Fuente: MACROCAP, 2009.

1.3.3. Climatología

La Región de Valparaíso presenta un clima templado mediterráneo, pero con algunas alteraciones. Se pueden encontrar características semiáridas hacia el norte del río Aconcagua, y aspectos de naturaleza húmedo o mediterráneo costero en el litoral y frío de altura hacia la cordillera (BCN, 2010).

Con respecto a Putaendo, de acuerdo con la clasificación climática de Köppen, la comuna se inserta en un clima templado cálido con lluvias invernales donde la temperatura media anual es de 16,6°C (MACROCAP, 2009). En los lugares donde se concentra la población se presenta una tendencia climática de subárido templado con lluvias invernales¹; y en los lugares más altos de la cordillera andina se presenta un clima de tundra por efecto de la altura.

Este tipo de clima presenta condiciones para el cultivo de frutales de hoja caduca y otros cultivos anuales. Además, basándose en las temperaturas mínimas y máximas registradas (Tabla 1-4) y enfocándose en la búsqueda constante de soluciones a los

residuos generados en la comuna así como su valorización energética; se podría definir como un sector con mayor potencial térmico para la producción de biogás. Los principales riesgos asociados al clima son las heladas y nevazones, principalmente en áreas precordilleranas.

Tabla 1-4. Temperaturas Máximas y Mínimas mensuales de Putaendo

Meses	Tº mínima	Tº máxima
MAY	0,7	26,9
JUN	-3,3	26,8
JUL	-3,2	24,6
AGO	-1,6	30,1
SEP	3,3	31
OCT	2,6	28,2
NOV	4,5	33,5
DIC	6,5	33,5
ENE	9,4	34,7
FEB	9,8	34,9
MAR	5,7	32,5

Fuente: Red Agroclimática Nacional – Informe Regional Valparaíso.

1.3.3.1. Potencial térmico de la comuna

Según aspectos climatológicos, Putaendo pertenecería a un denominado lugar apto para la utilización de biodigestores, conforme a la tabla de índice térmico definido entre 1 y 5, el cual traduce el número de meses que la temperatura de suelo supera los 15°C. Esta temperatura es un valor crítico para el desarrollo de la digestión anaeróbica.

Tabla 1-5. Índice térmico.

Índice Térmico		Criterios
1	No apto	Entre 0 y 1 meses $T_s \geq 15\text{ °C}$
2	Baja aptitud	Entre 2 y 4 meses $T_s \geq 15\text{ °C}$

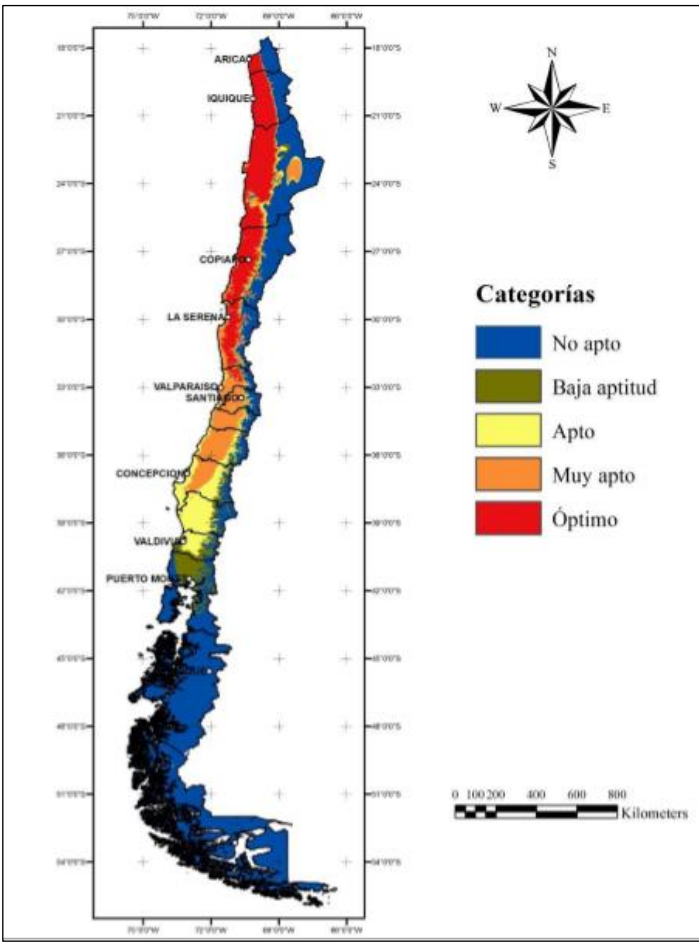
Cont. Tabla1-5.

3	Apto	Entre 5 y 6 meses $T_s \geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$
4	Muy apto	Entre 7 y 8 meses $T_s \geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$
5	Óptimo	Entre 9 y 12 meses $T_s \geq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$

Ts : Temperatura de suelo

Fuente: (INIA, 2016).

La Figura 1-3 presenta las zonas y categorías de aptitud en el país, para la aplicación de biodigestores y generación de biogás, basándose en las temperaturas medidas a lo largo del territorio chileno.



Fuente: (GAJARDO ALARCÓN, 2013)

Figura 1-3. Zonificación para la aplicación de biodigestores..

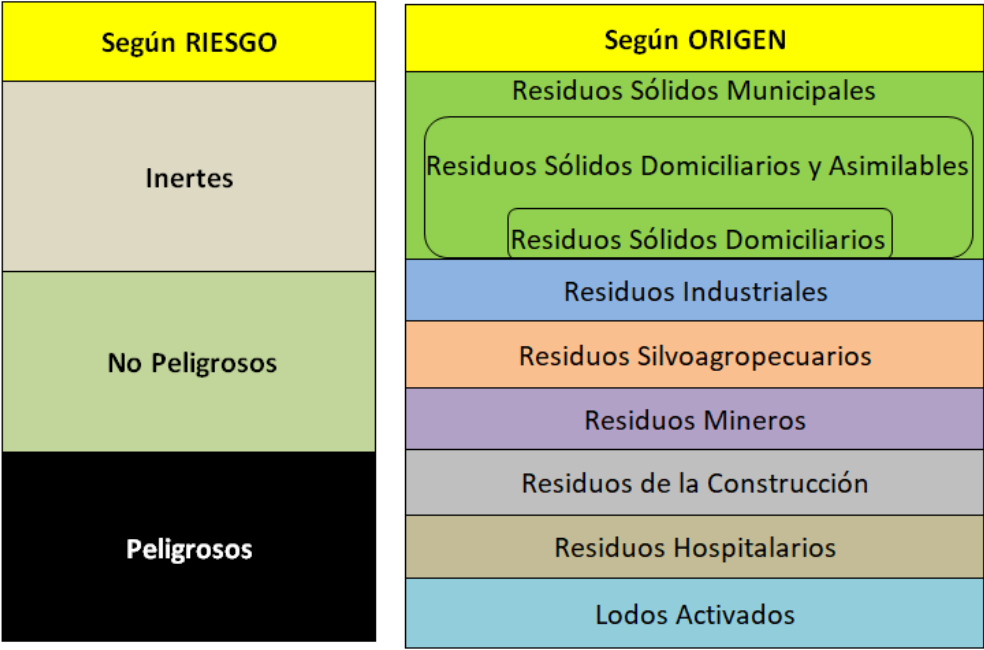
1.3.4. Actividades Productivas

La actividad económica y productiva principal en la comuna es la agricultura, y se concentra en la fruticultura y los cultivos anuales, existiendo además algunas agroindustria deshidratadoras (MACROCAP, 2009). Existe otro eje productivo; el pecuario bovino y caprino, con el negocio de crianza para venta de carne para el primero, y para el segundo, la crianza para venta de quesos y carne (SUR PROFESIONALES CONSULTORES, 2015). El turismo es otra actividad que se está intentando fomentar, basado en los atractivos naturales, patrimonio arquitectónico, historia y tradiciones de la comuna.

1.4.RESIDUOS DOMICILIARIOS EN CHILE

El año 2016, en Chile se generaron cerca de 21,2 millones de toneladas de residuos. El 97% equivale a residuos no peligrosos y el 3% a residuos peligrosos. Los residuos no peligrosos, contemplan residuos de origen industrial (59,8%), sólidos municipales (35,3%) y lodos provenientes de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (1,9%) (MMA, 2018).

Muchos conceptos relativos al manejo de residuos no se encontraban descritos dentro de la legislación chilena sino hasta el año -2016- donde la Ley 20.920 define residuo como "cualquier sustancia u objeto que su generador desecha o tiene la intención u obligación de desechar de acuerdo a la normativa vigente". Previo a esto, el concepto de residuos se encontraba definido en la Política de Gestión Integral de Residuos de 2005. Los residuos se clasifican de la siguiente forma de acuerdo a lo señalado en la Figura 1-4.



Fuente: Antecedentes del manejo y gestión de residuos en Chile, 2016.

Figura 1-4. Clasificación de residuos en Chile.

1.4.1. Manejo y gestión de los residuos en Chile

Según lo dispuesto en la legislación vigente, es función privativa de las Municipalidades el sistema de recolección y disposición de residuos de sus comunas. Esta función contempla la extracción, transporte y disposición de toda la basura pública (vial) y doméstica de la comuna, y la de los residuos industriales putrescibles, con la única excepción de aquellos residuos con objeción sanitaria a este respecto. También permite al Municipio contratar a un tercero privado para la realización del servicio, mediante una licitación pública. Esto ha implicado una gran responsabilidad para los municipios y grandes esfuerzos con ello. Puesto que cada territorio es diferente y cuenta con distintas situaciones socioeconómicas y contextos ambientales, cada comuna tiene sus particularidades respecto al manejo de sus residuos.

En la cadena tradicional del manejo de residuos sólidos urbanos, una vez que estos son dispuestos por los vecinos, el camión recolector los lleva hasta una estación de transferencia cercana a la ciudad. Aquí son procesados con el principal objetivo de disminuir el volumen de estos y transportarlos de manera más eficiente hacia el relleno sanitario o vertedero para su disposición final.

1.4.2. Destino de los Residuos Sólidos Domiciliarios

El destino de los RSD, refiere a las instalaciones donde éstos son transportados, para posteriormente ser sometidos a algún proceso de tratamiento y/o disposición final. Entre estas instalaciones, se distinguen las instalaciones para disposición final y las instalaciones para la valorización de RSD.

En el ámbito nacional, se destaca que la disposición final es la técnica más utilizada para la eliminación de los RSD. Del total de RSD declarados en el RETC a nivel nacional, el 96, 49 % utiliza la Disposición Final como alternativa de eliminación de RSD.

El reciclaje de RSD (1,71 %) y otras alternativas de valorización (1,76 %) aún se encuentran en un desarrollo incipiente.

En Chile existen 128 sitios operativos de disposición final de RSD. De ese total, 30 corresponden a Rellenos Sanitarios, 8 Rellenos Manuales, 52 a Vertederos y 38 a Basurales. (Tabla 1-6)

Tabla 1-6. Sitios Operativos a Nivel Nacional.

Relleno Sanitario	Relleno Manual	Vertedero	Basural	TOTAL SITIOS
30	8	52	38	128

Fuente: Programa Nacional de Residuos Sólidos, 2018.

1.4.3. Residuos domiciliarios en la Región de Valparaíso

La región de Valparaíso cuenta con 10 sitios de disposición final activos, 3 sitios cerrados, 2 sitios de disposición intermedia y un sitio en proyecto, en Rapa Nui (SUBDERE, 2018) (Tabla 1-7). El Relleno Sanitario El Molle atiende al 62,26% de la

población regional, en tanto que, el Relleno Sanitario San Pedro atiende al 18,64% de la población regional, alcanzando a recibir el 21,20% de los RSD de la región.

Es relevante focalizar esfuerzos en reducir la cantidad de RSD a transportar, puesto que la mayor parte de los actuales costos comunales de gestión de RSD están ligados a la fase de recolección, en un proporción promedio regional del 70%. (CEARS, 2011)

Tabla 1-7. Sitios de Disposición Final Activos, Región de Valparaíso.

Sitio Disposición	Tipo	Población total atendida por sitio	RSD recibidos por sitio
Relleno Sanitario El Molle	Relleno Sanitario	1.414.830	494.153
Botadero de Juan Fernández	Basural	970	312
Vertedero de Puchuncaví	Vertedero	58.451	19.275
Vertedero de Quintero	Vertedero	83.171	28.409
Vertedero Vai A Ori	Basural	10.169	2.988
Vertedero Cabildo	Vertedero	19.388	9.416
Vertedero Chicolco	Vertedero	9.483	2.876
Relleno Sanitario San Pedro	Relleno Sanitario	423.449	172.905
CTI La Hormiga	Relleno Sanitario	237.155	77.969
Vertedero Tabolango	Vertedero	15.241	7.462
Total		2.272.307	815.764

Fuente: Programa Nacional de Residuos Sólidos, 2018.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2. **MARCO TEÓRICO**

A continuación, se presenta el marco teórico el cual abordará temas relacionados a la determinación de la muestra, caracterización de residuos domiciliarios, tratamientos para RSD y análisis de riesgos.

2.1. **MUESTREO POBLACIONAL**

El muestreo es el proceso de seleccionar un conjunto de individuos con el fin de estudiarlos y poder caracterizar a la población. La muestra corresponderá al grupo de elementos escogidos para el estudio. Se deben definir con claridad los criterios de inclusión y exclusión y, sobre todo, se deben utilizar las técnicas de muestreo apropiadas para garantizar representatividad.

Para generalizar a partir de una muestra aleatoria y evitar errores de muestreo o sesgos, una muestra aleatoria debe ser del tamaño adecuado. Lo relevante no es la proporción de la población de investigación que se muestrea, sino el tamaño absoluto de la muestra seleccionada en relación con la complejidad de la población y los objetivos del investigador (TAHERDOOST, 2017).

Se pueden realizar diferentes tipos de muestreo, que quedan clasificados en dos grandes grupos: probabilísticos y no probabilísticos.

En el muestreo probabilístico, todos los individuos o elementos de la población tienen la misma probabilidad de ser incluidos en la muestra extraída.

El segundo gran conjunto es el muestreo no probabilístico, donde se seleccionan los elementos de la muestra. En este tipo de muestreo no todos los elementos de la población tienen la misma probabilidad de ser seleccionados. Algunos ejemplos son: Muestreo por cuotas, muestreo accidental, por bola de nieve y por conveniencia. En la investigación cualitativa, la decisión sobre el mejor modo de obtener los datos y de quién o quiénes obtenerlos se toman en el campo, es decir, los investigadores deciden, según sus criterios de interés y basándose en los conocimientos que tienen sobre la población, qué elementos entrarán a formar parte de la muestra de estudio.

2.2. CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS

Se ha identificado a la caracterización de desechos como el primer paso para una gestión de residuos exitosa (ARMIJO DE VEGA, 2008), para estimar la recuperación potencial de materiales, identificar fuentes de generación de componentes, facilitar el diseño de equipos de procesamiento, y mantener el cumplimiento de las regulaciones. La composición de los desechos generados varía como resultado del estilo de vida, la demografía y la legislación (ADENIRAN, 2008).

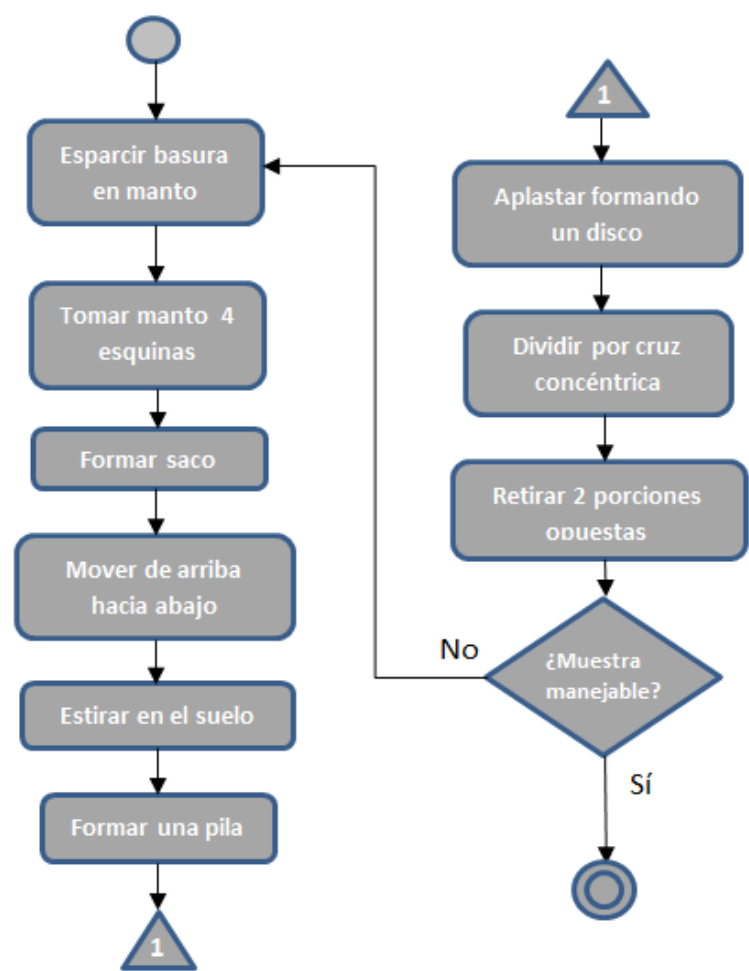
Una metodología para la caracterización de RSD es obligatoria en el sector de ingeniería y gestión. Por la naturaleza heterogénea de los RS, existen procedimientos de que evalúan los residuos en la disposición final, otros se aplican desde la fuente de generación, y también se aplican métodos de caracterización en las plantas clasificadoras.

2.2.1. Cuarteo

En cualquier zona, es esencial conocer la cantidad de basura a recoger y disponer, y sus características tales como densidad y composición, con el objetivo de diseñar técnicamente los sistemas de recolección, transporte y disposición final de la misma (MUÑOZ JOFRÉ, 1999).

Las muestras de campo generalmente se deben reducir a un tamaño apropiado para pruebas para determinar las características físicas (AASHTO T 248, 2012).

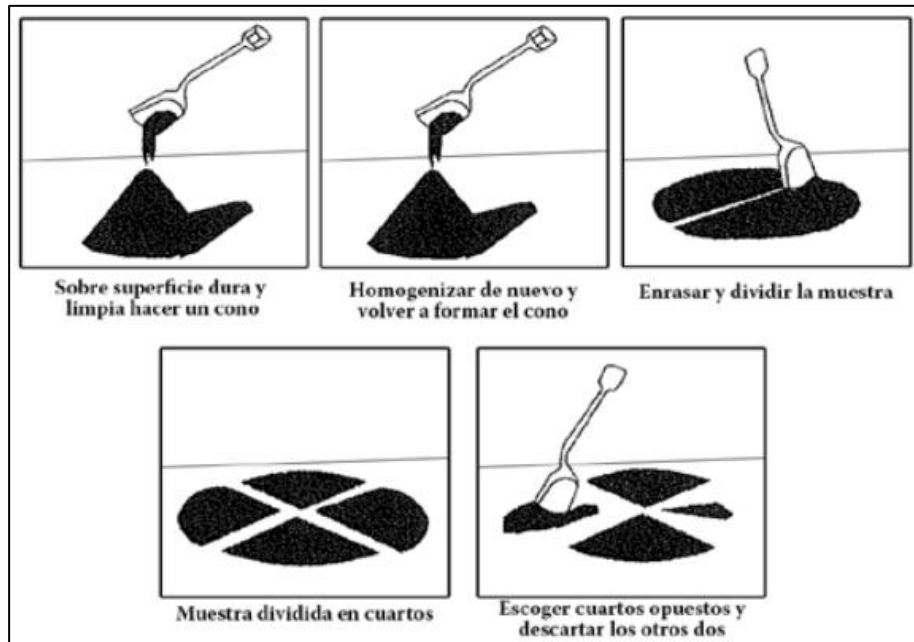
El cuarteo es una metodología (Diagrama 2-1) en la cual se puede caracterizar físicamente una muestra determinada, teniendo como objetivo tener un análisis en una porción homogénea de la muestra (ESQUINCA, 1995).



Fuente: Elaboración propia a partir de AASHTO T 248, 2012

Diagrama 2-1. Proceso de cuarteo.

La muestra compuesta se puede formar en un montón cónico que se extiende en una torta circular, plana. La torta se divide radialmente en cuartos y se combinan dos cuartos opuestos. Los otros dos cuartos se descartan. El proceso, ilustrado en la Figura 2-1, se repite tantas veces como sea necesario para obtener la cantidad requerida para la muestra de laboratorio.



Fuente: AASHTO, 2012.

Figura 2-1. Método de cuarteo tipo B, AASHTO T 248.

Para la realización del método de cuarteo se necesitan los siguientes implementos:

- Balanza
- Bolsas de polietileno
- Palas
- Overoles
- Guantes de carnauba
- Escobas
- Botas de hule
- Cascos de seguridad
- Mascarillas protectoras
- Papelería y varios

Los resultados de este procedimiento revelarán la composición y porcentajes de los componentes de los residuos.

Además, en un recipiente cilíndrico de dimensiones conocidas, es posible obtener la densidad de la muestra en el origen.

Para calcular la densidad se utiliza la siguiente fórmula (Ec. 2.1):

$$\rho = \frac{W}{V} = \frac{W}{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times (H)}$$

(Ec. 2.1)

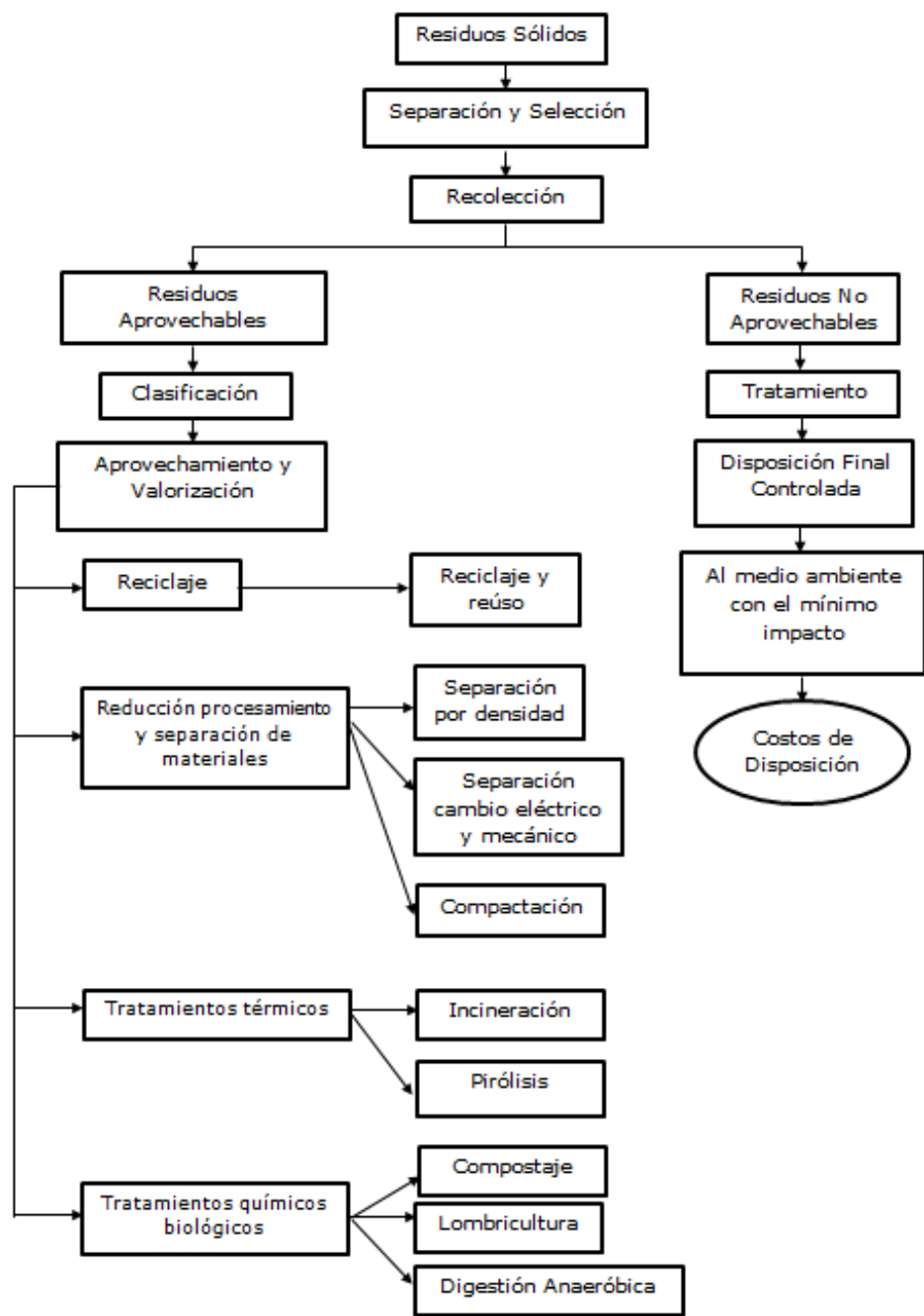
Donde:

- ρ: Densidad de los residuos sólidos (kg/m³)
- W: Peso de los residuos sólidos
- V: Volumen del residuo sólido
- D: Diámetro del cilindro
- H: Altura total del cilindro
- π: Constante (3,1416)

2.3. **TRATAMIENTOS DE RESIDUOS SÓLIDOS**

La eliminación de desechos sólidos es un problema en las zonas urbanas y rurales de muchos países desarrollados y en desarrollo. La recolección y eliminación de Residuos Sólidos Municipales (RSM) es uno de los principales problemas del entorno urbano en la mayoría de los países del mundo en la actualidad. Las soluciones de gestión de RSM deben ser financieramente sostenibles, técnicamente viables, socialmente, legalmente aceptables y ambientalmente amigables (TCHOBANOGLIOUS, 1976).

El Diagrama 2-2 manifiesta los posibles procesos y tecnologías para tratar los residuos orgánicos e inorgánicos.



Fuente: FARFÁN, 2010

Diagrama 2-2. Esquema Alternativas de tratamiento de Residuos Sólidos.

La valorización de los residuos orgánicos de los alimentos es una de las áreas de investigación actuales más importantes. El relleno sanitario convencional, la incineración, el compostaje y las formas de manipular los desechos sólidos son comunes como tecnologías maduras para la eliminación de desechos. Tradicionalmente, las tecnologías más utilizadas para el tratamiento y valorización de la fracción orgánica de los RSU son el Compostaje y la Digestión Anaeróbica (DA) (ABDEL-SHAFY, 2018).

A continuación se detallarán los procesos y tratamientos utilizados con los residuos de tipo aprovechables.

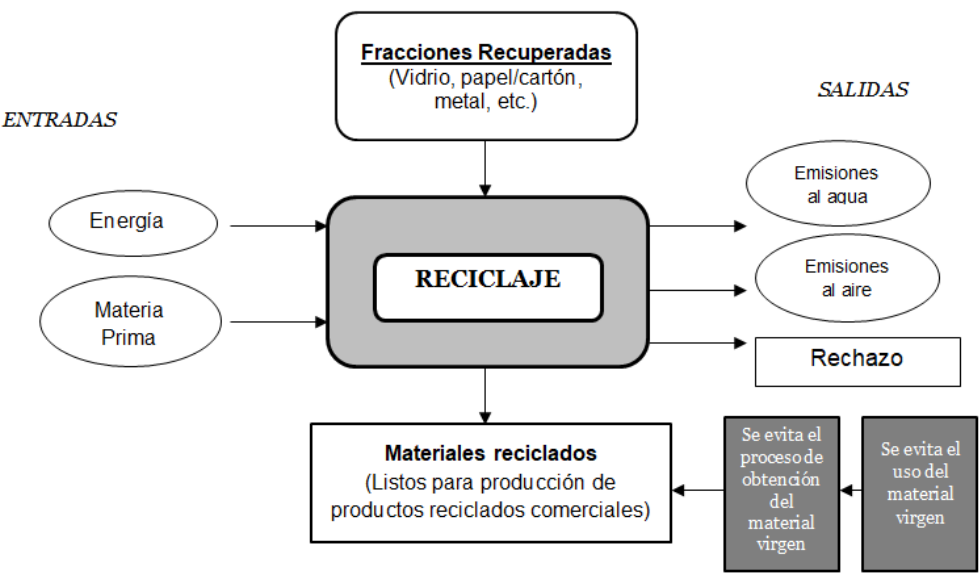
2.3.1. Reciclaje y Reúso

En la gestión de residuos sólidos, se aplican básicamente los siguientes conceptos; reducir, reutilizar y transformar (CUCHÍ, 2007). Consiste en dar un aprovechamiento a los residuos sólidos que se generan y obtener de estos una materia prima que pueda ser incorporada de manera directa a un ciclo de producción o de consumo.

Incorporar el concepto de la reducción consiste en no adquirir productos que se usarán y luego se tirarán a la basura. Además consiste en minimizar tanto el consumo de energía como también el de agua.

La reutilización de los ítems que pudieran terminar como desechos tiene como objetivo alargar la vida útil del objeto y por tanto evitar un mayor volumen de residuos.

El reciclaje constituye una actividad que permite modificar todo el ciclo de vida de los productos, es decir someter materiales usados o desperdicios a un proceso de transformación o aprovechamiento para que puedan ser nuevamente utilizables. (VIRGINIE, 2011). (Diagrama 2-3)



Fuente: Residuos Sólidos: Un enfoque multidisciplinario Volumen II.

Diagrama 2-3. Esquema del proceso de Reciclaje.

2.3.2. Reducción por procesamiento y separación

Estos procedimientos están basados en el aprovechamiento de las propiedades físicas de los residuos.

2.3.2.1. Compactación

Esta técnica busca disminuir el volumen de los residuos sólidos generados aumentando la densidad de ellos compactándola mediante una máquina (Figura 2-2) que ejerce presión (TCHOBANOGLIOUS, 1982). La disponibilidad decreciente del espacio de vertederos y los gastos crecientes por la eliminación de residuos, hacen imperante este tipo de procesos reductores de volúmenes (CEAMSE, 2018). Con la compactación se logra facilitar entre otras las tareas de transporte y almacenamiento de los residuos sólidos, disminuyendo el volumen se evita que haya derrames en los contenedores, reduce la propagación de malos olores, mejora la apariencia de los centros de acopio y finalmente prolonga la vida útil de los rellenos sanitarios (TCHOBANOGLIOUS, 1982).



Fuente: Compactador de basura cartón de carga superior para contenedor de residuos hidráulico

Figura 2-2. Máquina compactadora de residuos.

2.3.2.2. Separación magnética o por campo eléctrico

Las técnicas de separación magnética y por campo eléctrico utilizan las propiedades eléctricas y magnéticas de los elementos residuales, para separar dichos materiales (TCHOBANOGLIOUS, 1976).

El método más común utilizado para eliminar la presencia de metales del material reciclable dispuesto para un uso en particular, consiste en el empleo de sistemas de separación magnética. Se puede apreciar en la Figura 2-3 un electroimán suspendido separando los metales del resto de los residuos.



Fuente: Principales Usos de la Separación Magnética.

Figura 2-3. Separación magnética de residuos.

2.3.3. Tratamientos térmicos

Se considera como tratamiento térmico de los residuos cualquier proceso destinado a la transformación de los residuos mediante la aplicación de energía calorífica.

2.3.3.1. Incineración

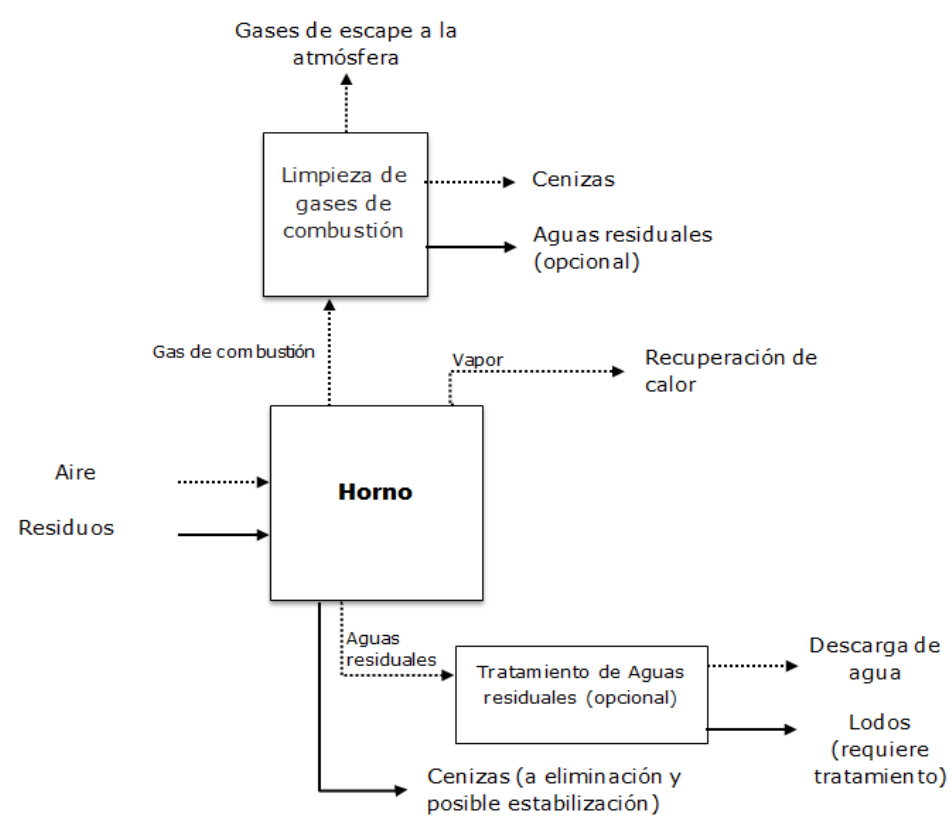
La incineración se puede definir como un proceso térmico al que se someten los residuos para el cual se utilizan hornos incineradores (Figura 2-4).



Fuente: Hornos Incineradores – Hornos Félix

Figura 2-4. Entrada a un horno incinerador.

El Diagrama 2-4 muestra el proceso de incineración de residuos.



Fuente: (TABISH, 2011).

Diagrama 2-4. Flujo simplificado de un incinerador.

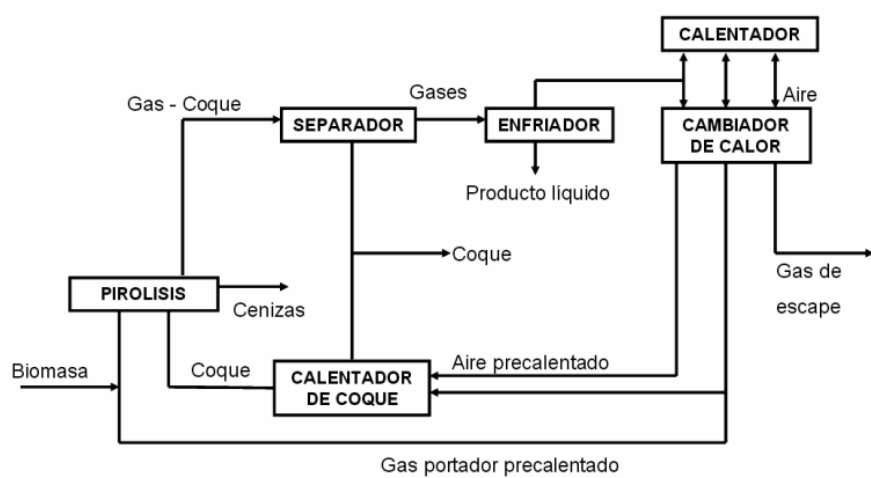
La incineración convierte los desechos en cenizas, gases de combustión y calor. Esta energía calórica puede ser utilizada para generar energía eléctrica. Este proceso tiene como principal característica la reducción del volumen de los residuos en un 90% (MMA, 2011).

2.3.3.2. Pirólisis

Este proceso consiste en romper sustancias orgánicas debido a su inestabilidad térmica, mediante un calentamiento en un ambiente libre de oxígeno por medio de una combinación de desintegración térmica y reacciones de condensación en fracciones gaseosas, líquidas y sólidas (TCHOBANOGLIOUS, 1976).

Este proceso se lleva a cabo en un rango de temperaturas comprendido entre 400 – 800 °C. En este tratamiento se obtiene como productos finales una sustancia sólida carbonosa, líquido y gas.

El Diagrama 2-5 muestra el proceso de pirólisis aplicado a material orgánico (biomasa).



Fuente: Pirólisis Agrowaste.

Diagrama 2-5. Proceso de pirólisis de biomasa.

2.3.4. Tratamientos biológicos

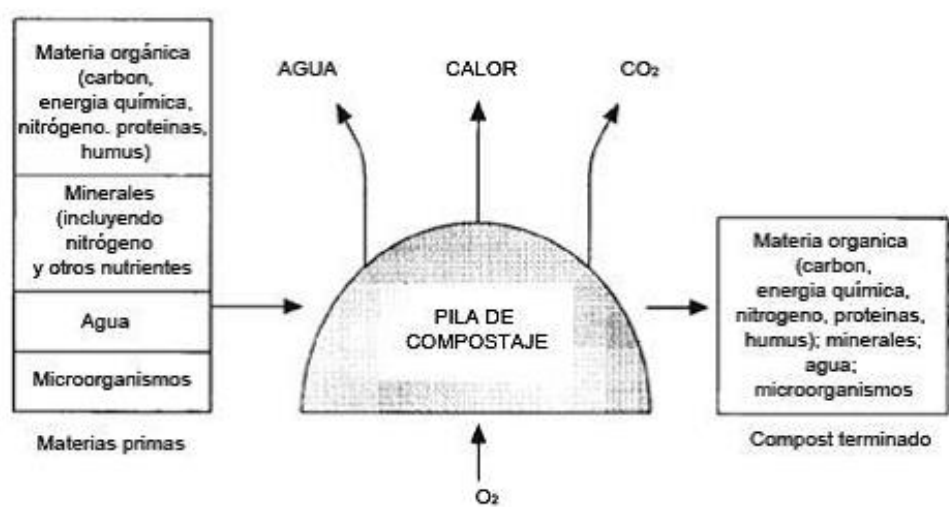
Estos tratamientos consiguen transformar los residuos orgánicos en productos usados como materia prima para otros procesos.

2.3.4.1. Compostaje

El compostaje consiste en la transformación de la materia orgánica para obtener compost, un abono natural; el cual se puede llevar a cabo tanto en presencia como en ausencia de un compostador, lo primordial es otorgar las condiciones correctas para el trabajo de los microorganismos (TCHOBANOGLOUS, 1976). Las bacterias representan el 80 a 90% de la carga microbiológica presente en la pila de compostaje. (JOHANNES JACOBUS, 2012) y es necesaria la correcta aireación de la pila de compostaje.

En la primera fase, aparecen las bacterias y hongos mesófilos. Cuando la temperatura de la pila de compostaje llega a 40°C se aprecia la presencia de hongos y bacterias termófilas. Al sobrepasar los 65°C cesa la actividad microbiana y es en esta etapa cuando comienza la esterilización del residuo debido a las altas temperaturas. Luego comienzan a escasear nutrientes y energía, por lo que desciende la temperatura, y reaparece la población de mesófilos.

El Diagrama 2-6 muestra en qué consiste el compostaje.



Fuente:(SHERMAN, 1999.

Diagrama 2-6. Proceso de compostaje.

El compostaje contribuye a la reducción de los desechos que se llevan a los vertederos y al mismo tiempo se consigue reducir el consumo de abonos sintéticos utilizados para fertilizar. (HUERTA, 2008).

Este proceso entrega grandes beneficios ya que facilita el manejo de residuos sólidos. Es ideal para lugares donde la agricultura es una de sus principales fuentes de ingresos lo que conllevaría a la utilización del compost como abono para las plantaciones.

En la Figura 2-5 se aprecia un cajón acondicionado para la producción de compost a partir de restos de verduras y frutas ingeridas por una familia.



Fuente: www.hablandoenvidrio.com/el-compost-o-como-convertir-tus-residuos-organicos-en-abono-natural/

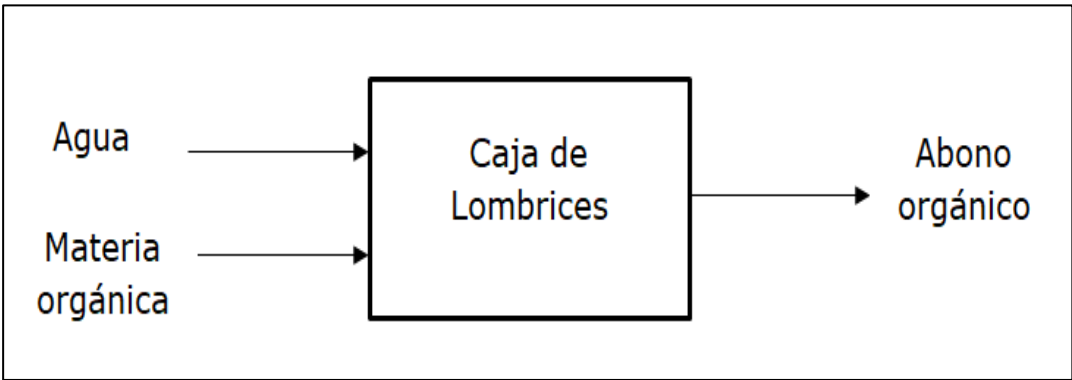
Figura 2-5. Compostaje hecho a partir de residuos domiciliarios.

En este caso las desventajas del compostaje recaen en la separación previa de los residuos que se requiere, además de ser sensible a la contaminación por presencia de materiales como plásticos y metales. Existe también riesgo por emisiones de metano no manejadas apropiadamente.

2.3.4.2. Lombricultura

El cultivo de lombrices se denomina lombricultura y el producto que se obtiene en ese proceso se conoce con el nombre Humus de Lombriz o Vermicompost (CODEXVERDE, 2014), y corresponde a un proceso de digestión aerobia, es decir en presencia de oxígeno.

En una caja de madera es posible llevar a cabo la lombricultura. Para esto es necesario primero producir un compost como se describió en el punto anterior, y luego, cuando ya no se puedan diferenciar los distintos materiales que le dieron origen, se introducen las lombrices. El proceso entero dura entre 2 a 4 meses aproximadamente.



Fuente: Adaptación. Crianza de lombriz roja californiana y cultivo de humus.

Diagrama 2-7. Bloques de elaboración de Lombricompuesto.

Las lombrices de la especie *Eisenia Foetida* son las más utilizadas en el proceso de vermicompostaje debido a su corto ciclo reproductivo y su mayor velocidad y volumen en la producción de lombricompuesto. Además a diferencia de las lombrices de tierra (*Lumbricus terrestris*), la lombriz californiana (*Eisenia Foetida*) tiene dientes y mandíbula que le permiten triturar los desechos orgánicos como restos de frutas y verduras, guano, entre otros. Es importante mantener la humedad ya que por esta condición la lombriz (Figura 2-6) se alimenta mejor.



Fuente: <http://fundacionarboretum.org/es/lombrices-en-el-huerto/>

Figura 2-6. Lombrices especiales para Lombricultura.

Algunas desventajas de la Lombricultura se encuentran la necesidad de una separación previa de los residuos y la posible generación de olores si no se ofrecen condiciones como humedad y buena circulación de aire en la caja de lombrices.

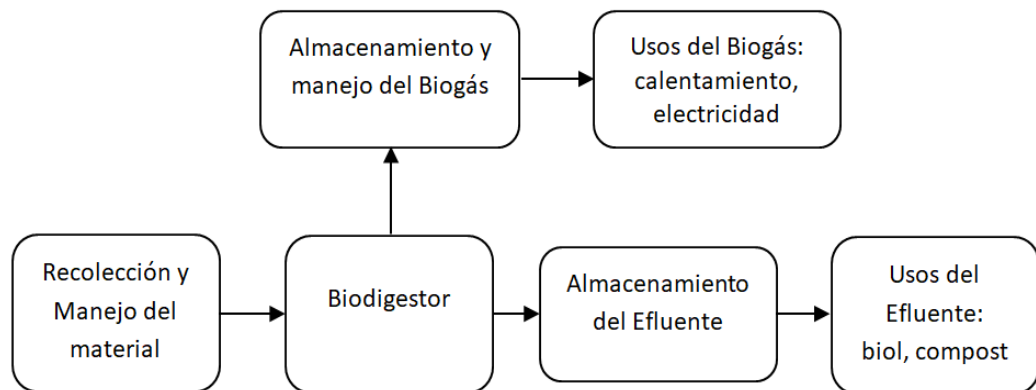
2.3.4.3. Biodigestión o digestión anaerobia

La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que produce una mezcla de gases, principalmente metano y dióxido de carbono, con presencia de otros componentes tales como nitrógeno (N_2), oxígeno (O_2), ácido sulfhídrico (H_2S), vapor de agua y otros en menor proporción conocida como “biogás” y a un “lodo” que incluye a los microorganismos encargados de la degradación del contenido orgánico (VOICU, 2015).

Los siguientes forman parte de los pasos del proceso de digestión anaerobia (Diagrama 2-8) detallado a continuación_(PIZANO, 2018):

- a) Se recibe la materia orgánica
- b) Ingresa al interior del biodigestor
- c) Se agrega agua y se mantiene a una temperatura de entre 25°C y 30°C.
- d) Se espera a que se realice la fermentación en un tiempo que puede iniciar a los 5 días y hasta los 20 días, dependiendo de la temperatura.
- e) Una válvula controla la presión de salida del biogás.

- f) Un filtro elimina un gas que resulta corrosivo producido en el proceso llamado sulfuro de hidrógeno (H₂S).
- g) Un recipiente en la parte posterior recibe el biol y otros residuos del proceso
- h) El biogás que sale por un tubo de plástico o cobre, puede utilizarse como fuente de energía.



Fuente: www.agbioengineering.com

Diagrama 2-8. Proceso de digestión anaerobia en un biodigestor.

Generalmente se aprecian las siguientes partes en un biodigestor (ELIZONDO, 2005) :

- Tanque de carga: la entrada donde se coloca la biomasa.
- Tanque de descarga: la salida, sirve para retirar los residuos que están gastados y ya no son útiles para el biogás, pero que se pueden utilizar como abono (bioabono).
- Cámara de fermentación: el espacio donde se almacena la biomasa durante el proceso de descomposición.
- Cámara de almacén de gas: el espacio donde se acumula el biogás antes de ser extraído.
- Tubería de gas: la salida del biogás. Se puede conectar directamente a una estufa o se puede transportar por medio de la misma tubería a su lugar de aprovechamiento.
- Válvulas: controlan el flujo de gas.

- Trampas: utilizadas para purificar el gas de su contenido de ácido sulfhídrico. También es necesario sacar el agua presente en el gas.

Las ventajas de la biodigestión son la reducción del volumen de residuos que va a disposición final, disminución de olores e impactos locales, puede generarse una planta a pequeña como a gran escala y de esta producir energía a partir de la generación de biogás. Además el lodo generado puede utilizarse como mejorador de suelos y abono. (CORONA, 2007)

Existen desventajas en el uso de la biodigestión que recaen en el tipo de residuo que se puede tratar (materia orgánica) y en los conocimientos que se requieren para su correcto funcionamiento como lo son una adecuada capacitación y un posterior y oportuno mantenimiento del biodigestor (MINENERGÍA, 2011).

En las zonas rurales del mundo es común encontrar los siguientes tipos de biodigestores: Tipo Chino que corresponden a digestores biológicos que son construidos en forma de domo, y no poseen un gasómetro. Trabajan con carga diaria y se encuentran totalmente enterrados (MIHAI, 2017).

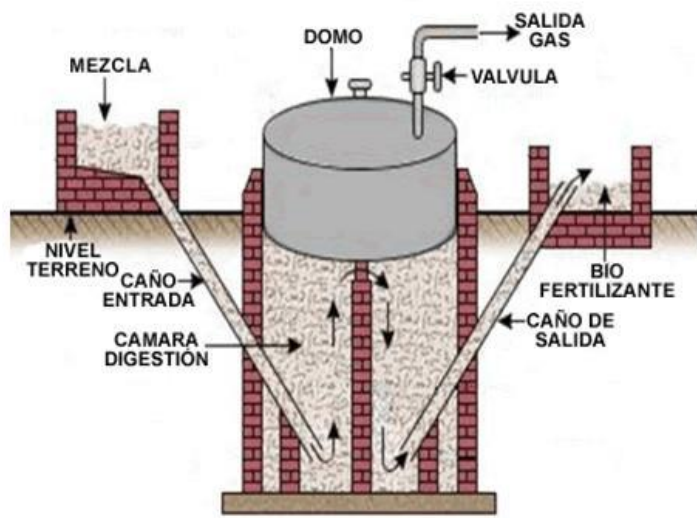
La Figura 2-7 muestra un esquema simple de un biodigestor tipo chino el cual está armado de hormigón.



Fuente: Biogás y Biodigestión.

Figura 2-7. Biodigestor tipo chino.

Los digestores tipo Hindú (Figura 2-8) se caracterizan principalmente por poseer una cúpula flotante para el almacenamiento del biogás generado y, al igual que el tipo chino, se construyen enterrados (MINENERGÍA, 2011).

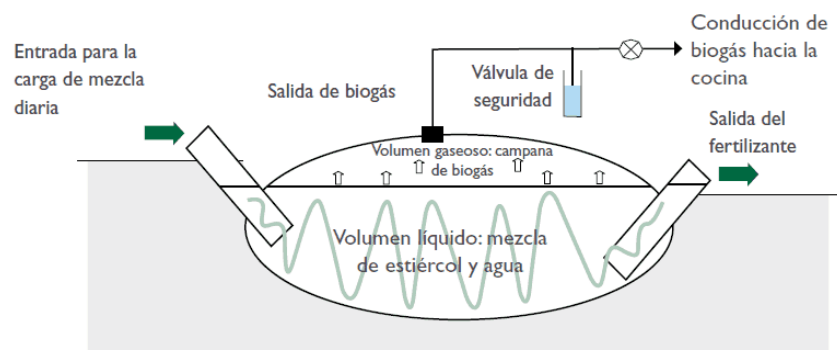


Fuente: CORONA, 2007.

Figura 2-8. Biodigestor tipo hindú.

Y por último el biodigestor tipo horizontal Estos digestores se construyen generalmente a poca profundidad y operan a régimen semi continuo (MINENERGÍA, 2011).

La Figura 2-9 muestra un esquema de un biodigestor horizontal.



Fuente: Biogás y Biodigestión.

Figura 2-9. Biodigestor tipo horizontal.

2.4. ANÁLISIS DEL RIESGO

Todas las actividades de una organización implican riesgos que se deberían gestionar (INN, 2012). La evaluación del riesgo es la parte de la gestión que proporciona un proceso estructurado que identifica la manera en que los objetivos pueden resultar afectados (WORKSAFE, 2011). El objetivo que persigue la Prevención de riesgos laborales es la “Seguridad y la Salud de los Trabajadores” y para ello, existe legislación como D.S. N°594, de 1999, del Ministerio de Salud, que contiene el Reglamento sobre Condiciones Sanitarias y Ambientales Básicas en los lugares de Trabajo que establece una serie de medidas como lo es la obligación del empresario de evaluar los riesgos para una posterior planificación de la acción preventiva y caminar hacia el objetivo anteriormente descrito. La Evaluación de Riesgos es por tanto un medio para conseguir la “Seguridad y la Salud de los Trabajadores”.

El proceso de evaluación de seguridad es consistente con las normas internacionales AS / NZS ISO 31000: 2009 Risk Management – Principles and Guidance (Gestión del Riesgo - Principios y Orientaciones) sobre evaluación de riesgos y requiere que la evaluación de seguridad implique una investigación y análisis de la naturaleza de cada incidente; la probabilidad de que cada incidente cause uno mayor; y el rango de medidas de control de riesgo considerado.

El propósito de la evaluación del riesgo consiste en proveer evidencias basadas en información y análisis para tomar decisiones informadas sobre cómo tratar riesgos particulares y cómo hacer la selección entre distintas opciones (INN, 2012).

La Evaluación de Riesgos se compone de dos partes diferenciadas (UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS, 2003):

- El análisis de riesgos.
- La valoración de riesgos

El análisis del riesgo proporciona las bases para la valoración del riesgo y para tomar las decisiones relativas al tratamiento del riesgo (MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA, 2016). Es considerada una técnica multidisciplinaria que utiliza conceptos desarrollados en varias ciencias en las que se incluyen a la toxicología, epidemiología, ingeniería, psicología, higiene industrial, seguridad ocupacional, seguridad industrial, evaluación del impacto ambiental, etc. (MORALES, 2010).

2.4.1. Método General de Evaluación de Riesgos

La Evaluación de Riesgos comienza con la fase de clasificación de las actividades del trabajo, exigiendo posteriormente toda la información que sea necesaria en cada actividad (UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS, 2003). Establecidas estas premisas, se procede al análisis de riesgos, identificando peligros, estimando riesgos y finalmente procediendo a valorarlos para determinar si son o no son tolerables.

El encargado debe seleccionar las técnicas adecuadas para identificar los peligros y evaluar los riesgos para el desarrollo de cualquier proceso. Existe una gama de técnicas y herramientas disponibles para realizar una Evaluación de Seguridad (WORKSAFE, 2011).

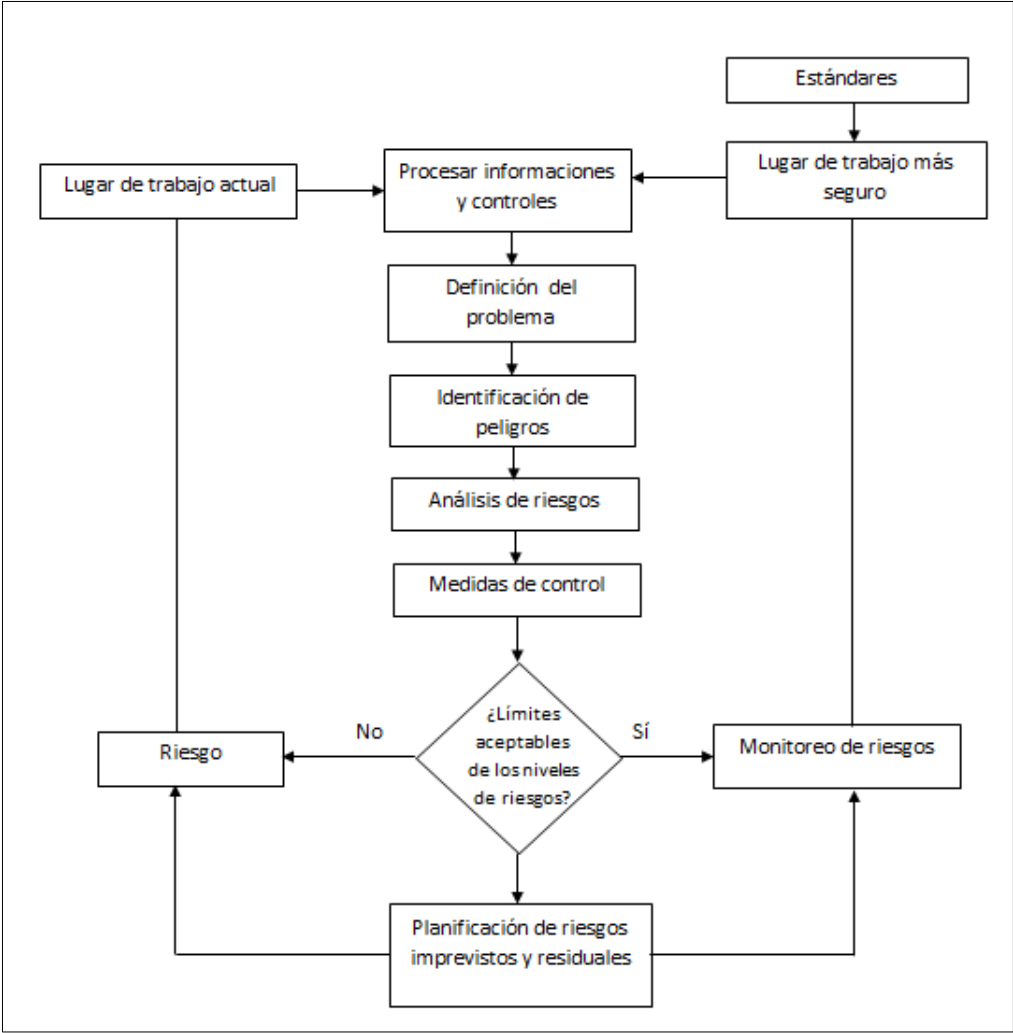
En el ANEXO A se pueden apreciar las diversas técnicas y herramientas utilizadas en la Evaluación de Riesgos según NCh ISO 31010:2013. A continuación se dan a conocer algunas de ellas:

2.4.1.1. Matriz de Riesgos

Una de las herramientas de uso común en la evaluación de riesgos tradicional es la matriz de riesgos (GARVEY, 1998). El propósito de la matriz de riesgos es clasificar dos factores: probabilidad y severidad (OZFIRAT, y otros, 2017). Este tipo de combinación de probabilidad y severidad del peligro es una medida de riesgo cualitativa.

La matriz de riesgo de consecuencia/probabilidad es una técnica de análisis de riesgos ampliamente utilizada, y con frecuencia se utiliza para ayudar a tomar decisiones sobre la tolerabilidad del riesgo (PEACE, 2017). Además se utiliza para jerarquizar riesgos, orígenes de riesgo o tratamientos del riesgo sobre la base del nivel de riesgo (INN, 2013). Los resultados entregados por la matriz ayudan al responsable de tomar una decisión a aceptar un peligro o a organizar la prioridad de estos riesgos evaluados anteriormente. Así, con esta información, es posible documentar un plan de acción para gestionar o mitigar el riesgo (GARVEY, 1998).

El Diagrama 2-9 corresponde a los pasos que se ejecutan para desarrollar una matriz de riesgos.



Fuente: OZFIRAT, 2017

Diagrama 2-9. Pasos en el análisis de la matriz L.

Las puntuaciones de riesgo se obtienen multiplicando la gravedad del riesgo por la probabilidad (Ec. 2.2):

$$R = G \times P$$

(Ec. 2.2)

La Tabla 2-1 clasifica los riesgos mediante el uso de una matriz de puntuación. Los puntajes de riesgo se determinan usando los valores de probabilidad y severidad de la misma tabla. Después de calcular las puntuaciones de riesgo, en la Tabla 2-2 se

entrega la clasificación del riesgo según el puntaje y las respectivas medidas de mitigación del riesgo.

Tabla 2-1. Puntaje del riesgo y gestión.

Probabilidad	Descripción de probabilidad	1 vez cada x años	Severidad				
			(1) Despreciable	(2) Marginal	(3) Crítico	(4) Serio	(5) Catastrófico
(1) Muy raro	Virtualmente imposible	>20	1	2	3	4	5
(2) Raro	Improbable	3-20	2	4	6	8	10
(3) Ocasional	Puede suceder algunas veces, al menos una vez.	1-3	3	6	9	12	15
(4) Probable	Puede suceder varias veces	Una vez cada 6 meses	4	8	12	16	20
(5) Frecuente	Puede suceder a menudo	>una vez cada 6 meses	5	10	15	20	25

Clasificación de riesgos: Bajo (1 – 6), Moderado (8– 2), Alto (15 – 20), No Tolerable (25).

Fuente: OZFIRAT, 2017

Tabla 2-2. Puntaje de riesgo y clasificación.

Resultado	Acción Preventiva
No puede ser tolerado (25)	El trabajo no debe iniciarse hasta que se reduzca el riesgo. Cualquier actividad en curso debe ser detenida inmediatamente. Si el riesgo no se reduce, la actividad debe detenerse inmediatamente.
Riesgo importante (15-20)	El trabajo no debe iniciarse hasta que se reduzca el riesgo. Cualquier actividad en curso debe ser detenida inmediatamente. Luego de aplicar medidas preventivas, el trabajo puede continuar.
Riesgo moderado (8-12)	Deben aplicarse medidas de mitigación de riesgos. Se puede continuar el trabajo.
Riesgo manejable (2-6)	El riesgo es bajo y no se requieren medidas adicionales para reducir el riesgo. Sin embargo, el control existente debe continuar.
Riesgo insignificante (1)	Controles existentes deben continuar.

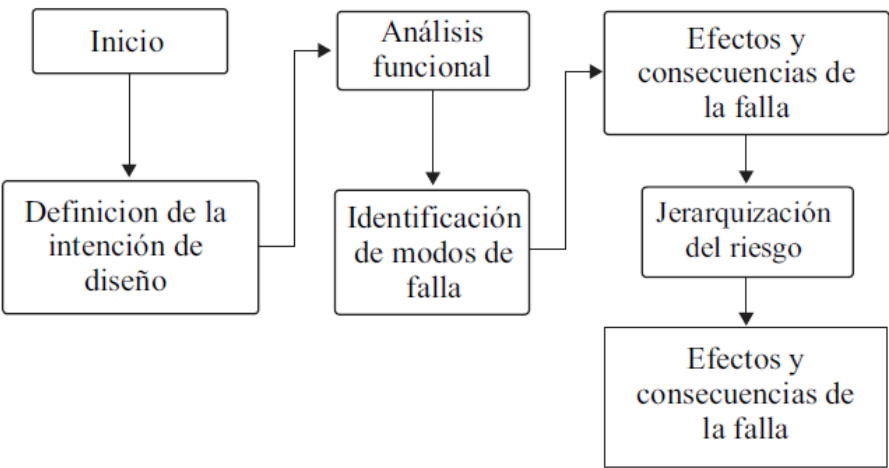
Fuente: OZFIRAT, 2017

2.4.1.2. Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE)

El Análisis de Modos de Fallo y Efectos (AMFE), consiste en establecer las diferentes posibilidades de fallo de un sistema (INSHT, 1994). Los fallos que se consideran tienen un efecto sobre un sistema, y deben ser considerados con el fin de priorizarlos y concentrar los recursos en planes de prevención, supervisión y respuesta.

La aplicación más común de AMFE es en el mejoramiento de productos y procesos ya existentes (SNEE, 2007). También es empleada para la planeación del mantenimiento, ya que permite lograr un entendimiento global del sistema y su funcionamiento. El principal interés del AMFE es el de resaltar los puntos críticos con el fin de eliminarlos o establecer un sistema preventivo para evitar su aparición o minimizar sus consecuencias, con lo que se puede convertir en un riguroso procedimiento de detección de defectos potenciales, si se aplica de manera sistemática (MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES DE ESPAÑA, 2004)

El AMFE es un método cualitativo y semicuantitativo, puede ser utilizado en las etapas de diseño, construcción y operación. (INN, 2013) En la etapa de diseño es útil para la identificación de protecciones adicionales. En la etapa de construcción puede ser utilizado para la evaluación de modificaciones. En la etapa de operación el AMFE es útil para la evaluación de fallos individuales que puedan inducir a accidentes potenciales (INSHT, 1994)



Fuente: (AGUILAR OTERO, 2010)

Diagrama 2-10. Metodología de Análisis de Modos de Falla y sus Efectos (AMFE).

Un sistema, diseño, proceso o servicio generalmente puede tener múltiples modos de falla o causas y efectos (WANG, 2009). En esta situación, cada modo de falla debe evaluarse y priorizarse en términos de sus riesgos para que los modos de falla altamente riesgosos o más peligrosos, puedan corregirse con la máxima prioridad (SNEE, 2007). El AMFE determina el riesgo prioritario de modos de fallo a través del Número Prioritario de Riesgo (NPR) (Ec. 2.3) el cual corresponde a una medida semicuantitativa (INN, 2013) . El NPR resulta de la multiplicación de la probabilidad de ocurrencia (O), la severidad del efecto (S) y la probabilidad de no detectar la falla (D) (SNEE, 2007):

$$NPR = O \times S \times D$$

(Ec. 2.3)

La probabilidad de ocurrencia o frecuencia (O) es la probabilidad de que una causa potencial de fallo (causa específica) se produzca y dé lugar al modo de fallo.

Para determinar la probabilidad de ocurrencia se utiliza la Tabla 2-3. Para evaluar este punto, contar con registros de fallas o incluso datos históricos o estadísticos del proceso, es importante y ayuda a tomar buenas decisiones (MCDERMOTT, 2009). Cuando los datos de fallas reales no están disponibles, el experto debe estimar con qué frecuencia puede ocurrir un modo de falla. Una vez que se han identificado las posibles causas para todos los modos de falla, se puede asignar una clasificación de ocurrencia (WANG, 2009).

Tabla 2-3. Clasificación de la frecuencia / probabilidad de ocurrencia del modo de fallo.

Criterio: Probabilidad de Ocurrencia	Probabilidad de Falla	Valor
---	-----------------------	-------

Cont. Tabla 2-3.

Fallo casi inevitable. Es seguro que el fallo se producirá frecuentemente.	Muy alta	10
		9
El fallo se ha presentado con cierta frecuencia en el pasado, en procesos similares o previos procesos que han fallado.	Alta	8
		7
		6
Defecto aparecido ocasionalmente en procesos similares o previos al actual. Probablemente aparecerá algunas veces en la vida del componente/sistema.	Moderada	5
		4
Fallos aislados en procesos similares o casi idénticos. Es razonablemente esperable en la vida del sistema, aunque es poco probable que suceda	Baja	3
		2
Ningún fallo se asocia a procesos casi idénticos, ni se ha dado nunca en el pasado, pero es concebible	Muy Baja Improbable	1

Fuente: NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos, 2004.

La severidad del efecto (S) está determinada por la importancia o gravedad del efecto del modo de fallo en el proceso. La Tabla 2-4 clasifica la gravedad de los efectos. Además es importante tener en cuenta que debido a que cada falla puede tener varios efectos diferentes, y cada efecto puede tener un nivel diferente de severidad; es el efecto y no el fallo lo que se califica (MCDERMOTT, 2009).

Tabla 2-4. Clasificación de la gravedad del modo de fallo.

Criterio: Gravedad del efecto sobre el proceso	Efecto	Valor
Clasificación de severidad muy alta cuando un potencial modo de fallo afecta la operación segura del sistema sin previo aviso.	Peligroso sin previo aviso	10

Cont. Tabla 2-4.

Clasificación de severidad muy alta cuando un potencial modo de fallo afecta la operación segura del sistema con previo aviso	Peligroso con previo aviso	9
Sistema inoperable con fallas destructivas sin comprometer la seguridad	Muy alto	8
Sistema inoperable con daño en equipamiento	Alto	7
Sistema inoperable con daño menor	Moderado	6
Sistema inoperable sin daño	Bajo	5
Sistema operable con degradación significativa del rendimiento	Muy bajo	4
Sistema operable con cierta degradación del rendimiento	Menor	3
Sistema operable con mínima interferencia	Muy menor	2
Efecto despreciable	Sin efecto	1

Fuente: WANG, 2009

La detectabilidad será entendida como la probabilidad de que una falla o el efecto de una falla sea detectado (D). La clasificación de la facilidad de detección del modo de fallo se encuentra en la Tabla 2-5. Este paso identifica los controles existentes que pueden detectar una falla o el efecto de una falla. Si no hay controles actuales, la probabilidad de detección será baja y el elemento recibirá una clasificación alta, como un 9 o 10 (MCDERMOTT, 2009).

Tabla 2-5. Clasificación de la probabilidad de detección del modo de fallo.

Criterio: Probabilidad de detección por control del proceso	Probabilidad de Detección	Valor
El mecanismo de control no puede detectar la causa de la falla	Incertidumbre absoluta	10
Probabilidad muy remota de que el mecanismo de control detecte la causa de la falla	Muy remota	9
Probabilidad remota de que el mecanismo de control detecte la causa de la falla	Remota	8

Cont. Tabla 2-5

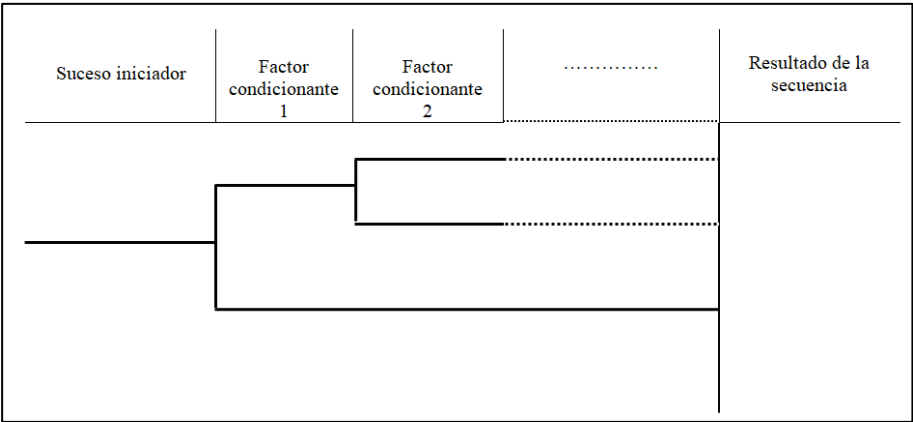
Probabilidad muy baja de que el mecanismo de control detecte la causa de la falla	Muy baja	7
Probabilidad baja de que el mecanismo de control detecte la causa de la falla	Baja	6
Probabilidad moderada de que el mecanismo de control detecte la causa de la falla	Moderada	5
Probabilidad moderadamente alta de que el mecanismo de control detecte la causa de la falla	Moderadamente alta	4
Probabilidad alta de que el mecanismo de control detecte la causa de la falla	alta	3
Probabilidad muy alta de que el mecanismo de control detecte la causa de la falla	Muy alta	2
El mecanismo de control detectará la causa de la falla	Casi seguro	1

Fuente: WANG, 2009.

2.4.2.3.Árbol de Eventos

El análisis ETA (Event Tree Analysis) es un método inductivo que describe la evolución de un evento iniciador sobre la base de la respuesta de distintos sistemas tecnológicos o condiciones externas. (Figura 2-10)

Este análisis se puede aplicar cualitativa y cuantitativamente. Se puede utilizar cuantitativamente para la estimación de la probabilidad de que ocurra un escenario (FULLER, 2004), y de forma cualitativa para visualizar los distintas consecuencias que resultan de los diversos tratamientos previstos para mitigar el suceso iniciador.

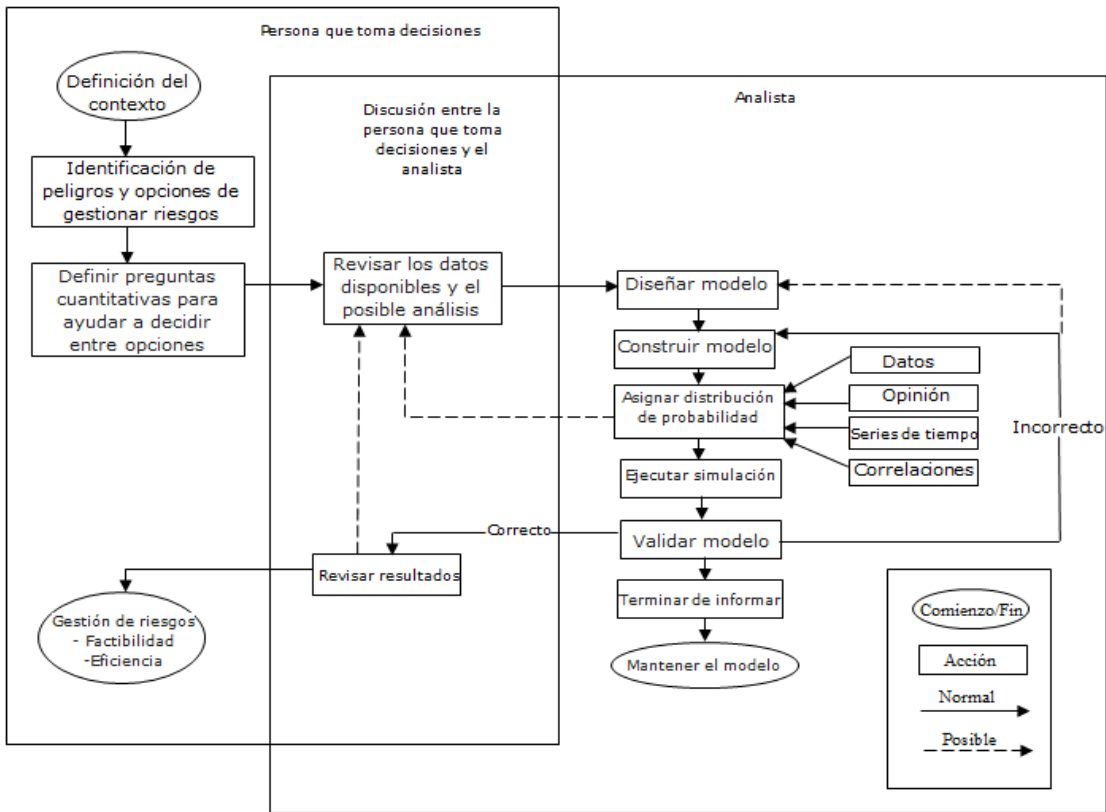


Fuente: Guía Técnica; Métodos Cualitativos para el Análisis de Riesgos.

Figura 2-10. Método del Árbol de Sucesos, esquema general.

2.4.2. Proceso de Análisis de Riesgos

El Diagrama 2-11 muestra el típico flujo de actividades en un análisis de riesgos que va desde la definición del contexto a la toma de decisiones (VOSE, 2008).



Fuente: Adaptación VOSE, 2008

Diagrama 2-11. Proceso de Análisis de Riesgo.

2.5. ASPECTOS LEGALES

Dentro de la normativa legal se encuentra legislación relacionada a la gestión de residuos y relacionada a energía

2.5.1. Leyes y Reglamentos Relacionados con la Gestión de Residuos Sólidos

- La Constitución Política de Chile, en su capítulo tres, artículo 19°, N° 8, señala: “El derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación. Es deber del Estado velar que este derecho no sea afectado y tutelar la preservación de la naturaleza”.
- Ley Núm. 19.300 de 1994 sobre Bases Generales del Medio Ambiente del Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Reconoce el derecho de las personas de vivir en un ambiente libre de contaminación.
- Ley Núm. 20.417 de 2010. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Crea el Ministerio, el Servicio de Evaluación Ambiental y la Superintendencia del Medio Ambiente.
- Decreto Supremo Núm. 189/2008 del Ministerio de Salud. Aprueba reglamento sobre condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios.
- Decreto Núm. 69/2006 del Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. Aprueba reglamento que contiene las condiciones generales para la fijación de la tarifa de aseo que las municipalidades cobrarán por el servicio de extracción usual y ordinaria de residuos sólidos domiciliarios.
- Política de Gestión Integral de Residuos Sólidos aprobada por el Consejo de Administración de la Comisión Nacional del Medio Ambiente (CONAMA) en 2005, establece el estándar para el manejo de residuos sólidos en Chile.

- Decreto Supremo Núm. 95 de 2002. Ministerio Secretaría General de la Presidencia. Modifica las reglas del proceso de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA).
- Ley Núm. 20.920 de 2016. Ministerio del Medio Ambiente. Establece marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje.

2.5.2. Leyes y Normas Técnicas relacionadas a Energía

- Decreto con Fuerza de Ley Núm. 4 de 1959. Ministerio de Hacienda. Ley General de Servicios Eléctricos (LGSE) es el marco legal que regula las concesiones y permisos eléctricos, derechos de acceso a propiedad, sistemas de transporte de energía eléctrica, desarrollo de los servicios de electricidad y suministro de energía eléctrica.
- Artículo 149 del Decreto con Fuerza de Ley Núm 4 de 1959. Ministerio de Hacienda. Establece que las fuentes de generación no convencionales, y las pequeñas fuentes de generación que se sincronizan con un sistema eléctrico a través de instalaciones pertenecientes a empresas de distribución, tendrán derecho a:
 - Venta de energía evacuada al sistema al costo marginal instantáneo; o,
 - Suscribir un contrato con clientes comerciales e industriales grandes en un acuerdo de compra de energía.
- Ley Núm. 19.940 de 2004. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. Regula Sistemas de Transporte de Energía Eléctrica, Establece un nuevo régimen de tarifas para sistemas eléctricos medianos e introduce las adecuaciones que indica a la Ley General de Servicios Eléctricos. Establece el primer incentivo directo para la generación de energía renovable (en concreto en el art. 71-7). La ley exonera parcialmente o completamente los generadores que producen electricidad a partir de fuentes no convencionales de pagar un peaje de transmisión.

- Ley Núm. 20.257 de 2008. Ministerio de Economía, Fomento y Reconstrucción. Redefine las fuentes no convencionales de energía consideradas renovables. Bajo esta ley la fracción biodegradable de los residuos se clasificó como biomasa, por lo tanto, una fuente renovable de energía.
- Decreto Supremo Núm. 119 de 2017. Ministerio de Energía. Aprueba Reglamento de Seguridad de las Plantas de Biogás e Introduce Modificaciones al Reglamento de Instaladores de Gas.
- Decreto 201 de 2010. Ministerio de Energía. Declara Norma Oficial De La República De Chile la Norma Chilena Nch3213.Of2010, sobre Biometano.

**CAPÍTULO 3: ANÁLISIS DE RIESGOS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS
DOMICILIARIOS**

3. ANÁLISIS DE RIESGOS DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS DOMICILIARIOS

A continuación, el siguiente contenido abarcará todo lo realizado para cumplir con los objetivos del presente trabajo de título.

3.1. DETERMINACIÓN DE LA MUESTRA EN LA ZONA RURAL DE PUTAENDO

En este ítem se determinará la muestra con la que se trabajará en la zona rural de Putaendo de acuerdo a las condiciones que se plantearon en el Alcance.

3.1.1. Información Municipal

Para reunir la información necesaria para definir una muestra representativa se utilizaron diferentes técnicas como reuniones con personal de la Municipalidad y cuestionarios realizados en las zonas visitadas.

Se efectuaron diversas entrevistas con entes de la Municipalidad de la comuna de Putaendo. Se concertaron encuentros con DIDECO (Dirección del Desarrollo Comunal), con PLADECO (Plan del Desarrollo Comunal) y con trabajadores con cargos asociados a la recolección de residuos.

El propósito principal de estas reuniones radicó en la obtención de información del recorrido de recolección de basura realizado por la empresa a cargo. Además se solicitó información sobre el costo que le significa a la Municipalidad la gestión actual de residuos. En el área urbana de Putaendo, se observa que la recolección de basura tiene una mayor importancia ya que su periodicidad es mayor y está encargada a un servicio externo. Por otro lado, la recolección de los residuos en todas las zonas rurales está a cargo de la misma municipalidad.

3.1.2. Cuestionario

Se efectuó un cuestionario (ANEXO B) a familias del sector rural de Putaendo, con el propósito de obtener información de carácter social, económico y ambiental de la comunidad. Este cuestionario se encuentra basado en algunos ya realizados por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo.

Se realizó un muestreo por conveniencia en los sectores rurales de Putaendo. El cuestionario realizado contiene preguntas para establecer los antecedentes básicos sobre la generación de los residuos sólidos. Fue importante determinar la forma de manejo en origen, capacidad de almacenamiento, segregación y tiempos de residencia., para así conseguir una recopilación de información importante para el desarrollo de una solución.

A continuación se presentan fragmentos del cuestionario efectuado; y con una breve descripción de las secciones contenidas y el objetivo de estas.

La primera sección del cuestionario se enfoca en la obtención de información general para conocer la realidad del encuestado y de esta forma conocer un poco más sobre el contexto en el que se desarrolla el trabajo realizado. (Figura 3-1)

DATOS GENERALES

i) Ocupación Económica de entrevistado:

(Dueño/a de casa, Obrero, Agricultor, Ganadero, Comerciante, Profesional, Jubilado, etc.)

ii) Nivel de educación del jefe de familia (persona que aporta el ingreso principal del hogar):

(a) Sin instrucción

()

(b) E. básica Incompleta

()

(c) E. básica Completa

()

(d) E. Media Incompleta

()

(e) E. Media Completa

()

(f) Técnica Incompleta

()

(g) Técnica Completa

()

(h) Universidad Incompleta

()

(i) Universidad Completa

()

(j) Estudios de Post Grado

()

iii) ¿Con cuánto vive al mes?

iv) Tipo de servicios con que cuenta:

a) Luz

()

b) Agua

()

c) Alcantarillado

()

d) Teléfono

()

e) Cable

()

f) Internet

()

g) Gas

()

Fuente: Autor, 2018.

Figura 3-1. Primera parte del cuestionario.

La Figura 3-2 expone la continuación de la primera parte del cuestionario. Es necesaria la información sobre los servicios básicos con los que cuentan los entrevistados ya que existen métodos para realizar una valoración energética de los residuos domiciliarios. En un caso de estos, la información podría ser relevante para conocer los beneficios económicos a los que estarían expuestos los usuarios de la tecnología o proceso seleccionado.

v) ¿Cuánto gasta en electricidad, gas y agua?

vi) ¿Cuánto le dura el cilindro de gas?

vii) Si no cuenta con alcantarillado ¿Qué hace con las aguas residuales domésticas (baño, cocina, lavado)?

Fuente: Autor, 2018.

Figura 3-2. Datos generales sobre servicios básicos.

La Figura 3-3 abarca una pregunta con la que se podría tener un primer acercamiento con la realidad respecto a los residuos con los que más lidia el encuestado en su hogar.

viii) ¿Qué es lo que más bota al tacho de basura en casa?

a)	Sobras de alimentos	()
b)	Papeles	()
c)	Latas	()
d)	Plásticos	()
e)	Otros	() ¿Cuál? _____

¿Qué es lo que más bota al tacho de basura en casa? (por observación)

Fuente: Autor, 2018.

Figura 3-3. Datos generales sobre residuos del encuestado.

La Figura 3-4 presenta la sección sobre el almacenamiento y recolección de residuos sólidos y proporciona información sobre la cantidad de desechos que se generan en el hogar del entrevistado y cuál es el tiempo estimado que permanece en el lugar.

La pregunta número IX se realiza con el objeto de conocer la calidad de disposición de los residuos en el hogar y si el recipiente es adecuado para la cantidad o tipo de residuos. (Figura 3-4)

La pregunta número X entrega información sobre la cantidad de desechos diarios que se generan en la vivienda. Datos necesarios para una correcta elección de tecnología para tratar residuos. (Figura 3-4)

La pregunta número XI otorga datos, que en conjunto con la información de la pregunta IX, revelan el estado de la disposición en el hogar y si resulta en un posible riesgo de aparición de vectores biológicos, por ejemplo. (Figura 3-4)

SOBRE EL ALMACENAMIENTO Y RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

ix) ¿En qué tipo de envase/recipiente/tacho tiene la basura en su casa?

(a) Caja

()

(b) Cilindro

()

(c) Tacho de plástico

()

(d) Bolsa Plástica

()

(e) Costal

()

(f) Otro

()

¿Cuál? _____

x) ¿En cuántos días se llena el tacho de basura en su casa?

xi) ¿En qué lugar de la casa tiene el tacho de basura?

Fuente: Autor, 2018.

Figura 3-4. Segunda parte del cuestionario.

La Figura 3-5 expone preguntas para conocer la realidad sobre quién realiza la recolección de los desechos domiciliarios en el sector y la periodicidad con que es efectuada.

La pregunta número XIII demuestra una realidad del sector más rural de Putaendo desconocida; la recolección efectuada por el camión de basura resultó ser casi nula. (Figura 3-5)

xiii) ¿Quién recoge la basura de su casa?

(a) Municipio

()

(b) Empresa

()

(c) Desconocidos

()

(d) Recolectores

()

(e) Otro

()

¿Cuál? _____

xiii) ¿Cada cuánto tiempo retiran la basura de su casa? (Camión recolector).

(a) Todos los días

()

(b) Cada 1 día

()

(c) Cada 2 o 3 días

()

(d) Muy pocas veces

()

(e) Nunca

()

Fuente: Autor, 2018.

Figura 3-5. Continuación segunda parte cuestionario.

La evidencia de esta situación descrita por los entrevistados se encuentra en los recipientes de hormigón dispuestos al costado de la carretera (Figura 3-6), además de los microbasurales que se pudieron observar en los alrededores de los sectores visitados. (Figura 3-8)



Fuente: Autor. Putaendo 2017.

Figura 3-6. Contenedor de basura, sector El Manzano

Las respuestas a las preguntas expuestas en la Figura 3-7 exponen la realidad del proceso que se lleva con los residuos en esta localidad. La quema de basura se presenta como una de las respuestas más repetidas. Además el lugar evidenciaba microbasurales a lo largo del camino recorrido.

xiv) ¿Cómo entrega su basura al servicio de recolección?

(a) Al personal del camión

()

(b) La dejo en la vereda de mi casa

()

(c) La dejo en la esquina de la cuadra

()

(d) Lo dejo en un contenedor habilitado

()

(e) Otro:

xv) ¿Se acumula la basura en su casa?

xvi) Cuando se acumula varios días la basura en su casa ¿Qué se hace con esta basura?

(a) Se quema

()

(b) Se entierra

()

(c) Se bota a la calle

()

(d) Se lleva al botadero más cercano

()

(e) Se entrega a un recolector

()

(f) Otro

Fuente: Autor, 2018.

Figura 3-7. Preguntas de la segunda parte del cuestionario.

SOBRE LOS RECURSOS DISPONIBLES

xxiii) ¿Cuenta con algún tipo de animal a su cuidado?

(a) Sí () ¿Cuáles? _____

(b) No ()

xxiv) ¿Tiene claro dónde cagan sus animales? ¿Dónde? La caca de los animales, ¿qué se hace con ella?

a) Sí () ¿Qué hace? _____

b) No ()

xxv) ¿Tiene acceso a otra fuente de agua que no sea potable?

a) Sí () ¿Cuál? _____

b) No ()

xxvi) Si respuesta a la pregunta anterior fue "Sí" ¿Con qué periodicidad la puede ocupar?

Fuente: Autor, 2018.

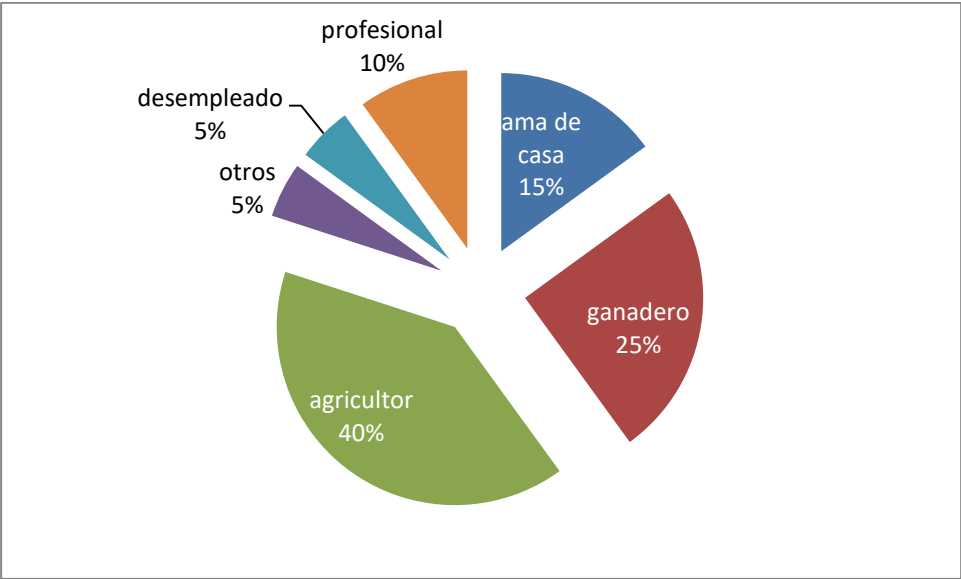
Figura 3-11. Preguntas para conocer los recursos disponibles.

3.1.2.1.Resultados del cuestionario

A continuación se entregan los resultados del cuestionario aplicado representados en gráficos.

i. Datos generales de los entrevistados

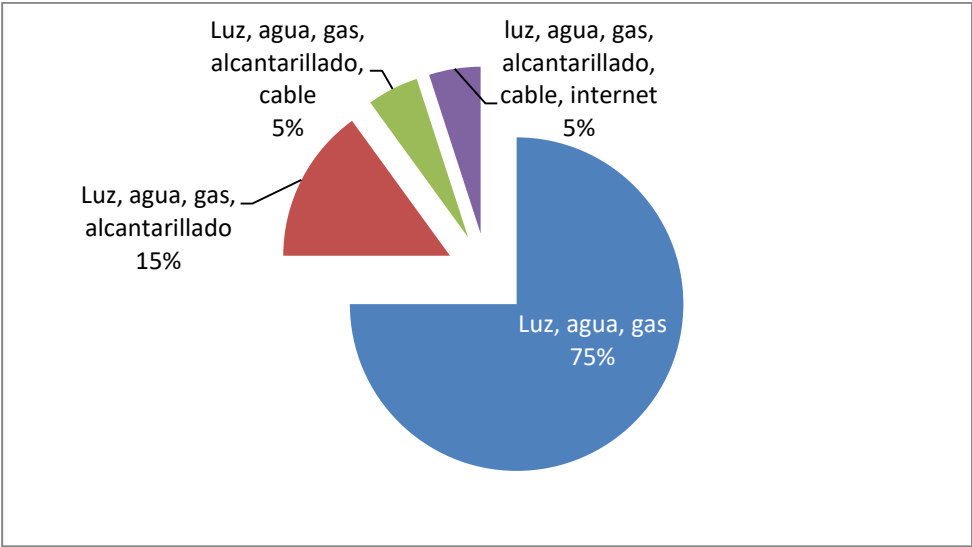
Con la finalidad de conocer a quiénes se entrevistaba, se consultó cuál es la actual ocupación económica del entrevistado, resultando que el 40% son agricultores, en tanto que el 25% se dedica a la ganadería, el 15% corresponde a amas de casa, 10% son profesionales, un 5% son desempleados y un valor igual corresponde a otros. (Gráfico 3-1)



Fuente: Autor, 2019.

Gráfico 3-1. Pregunta 1 Ocupación económica del entrevistado.

En cuanto a los servicios básicos disponibles en la zona rural de Putaendo, resulta que el 75% de viviendas rurales cuentan con servicios básicos de agua, luz y gas, sin alcantarillado, mientras que un 15% cuenta con 4 servicios disponibles (luz, agua, gas y alcantarillado). Es necesario aclarar que el agua es llevada a las personas por medio de un camión que los provee semanalmente con los litros necesarios por grupo familiar. Además el gas solo está disponible en balones y no cañerías. La luz es obtenida de paneles solares que las familias disponen gracias a convenios con la municipalidad. (Gráfico 3-2)

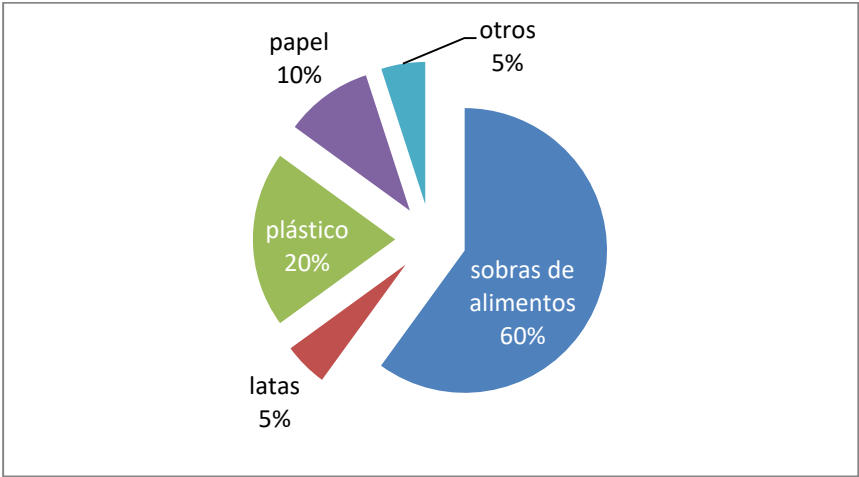


Fuente: Autor, 2018.

Gráfico 3-2. Pregunta 4¿Con qué tipo de servicios cuenta?

ii. **Respecto a la generación de residuos**

Para conocer sobre la generación de residuos sólidos en las viviendas, se preguntó al entrevistado que es lo que más arroja al tacho de basura, siendo un 60% de sobras de alimentos, un 20% afirmó arrojar plásticos, el 10% arroja papel, un 5% bota latas y otro 5% otro tipo de residuos, presumiéndose que sea material inerte.

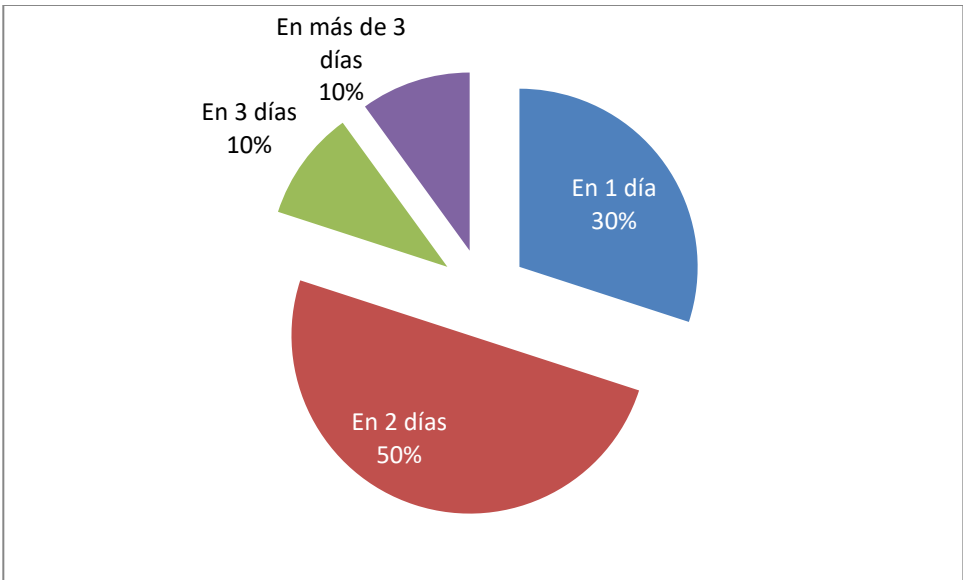


Fuente: Autor, 2018.

Gráfico 3-3. Pregunta 8 ¿Qué es lo que más bota al tacho de la basura?

iii. Sobre el almacenamiento y recolección de residuos

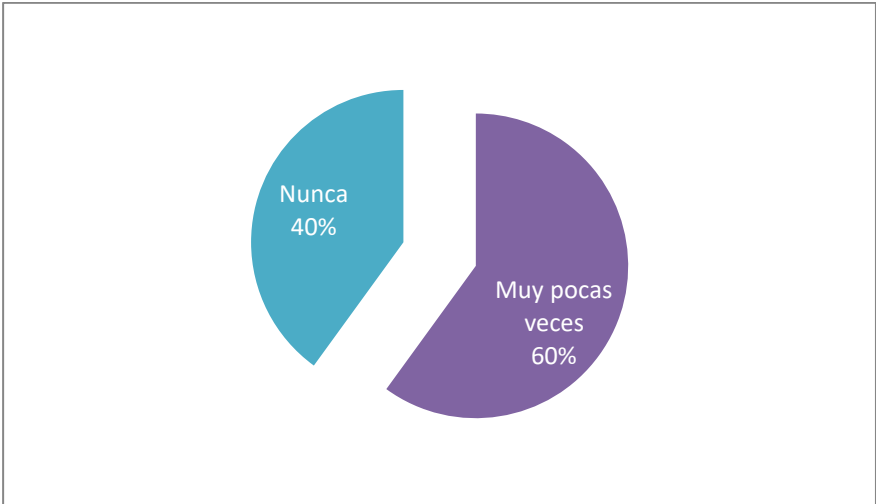
Para conocer el tiempo de almacenamiento de los residuos sólidos en las viviendas, se preguntó a los entrevistados en cuánto tiempo se llena su tacho o bolsa de basura. La mayoría de los entrevistados (50%) aseveró que sus recipientes se llenan en 1 día, mientras que 30% afirmó que su recipiente de residuos sólidos se llena en 2 días; esta información es de utilidad para determinar las frecuencias de recolección necesarias.



Fuente: Autor, 2018.

Gráfico 3-4. Pregunta 10. ¿En cuántos días se llena el tacho de basura de su casa?

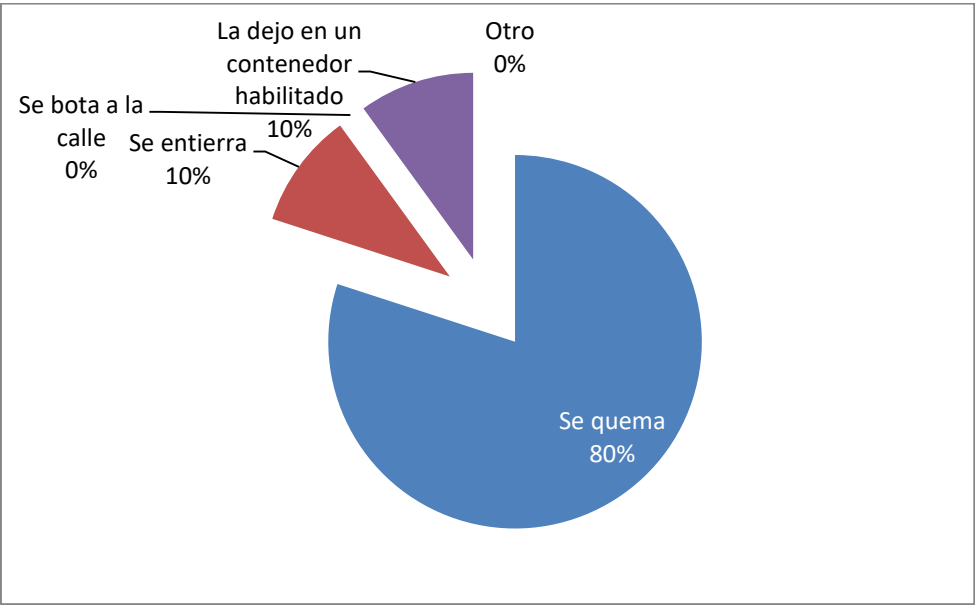
Para conocer la frecuencia de recolección de residuos sólidos percibida, se preguntó a los entrevistados cada cuánto tiempo recogen los residuos sólidos de su vivienda; ante esto, el 60% aseguró que muy pocas veces reciben el servicio de recolección de residuos sólidos, y el 40% de los encuestados nunca reciben este servicio



Fuente: Autor, 2018.

Gráfico 3-5. Pregunta 13 ¿Cada cuánto tiempo recogen la basura de tu casa?

También se consultó a los entrevistados, qué acción toman al acumularse varios días la basura en sus casas, el 80% de ellos afirmaron quemar los residuos, un 10% lo deposita en contenedores habilitados y el 10% restante los entierra.



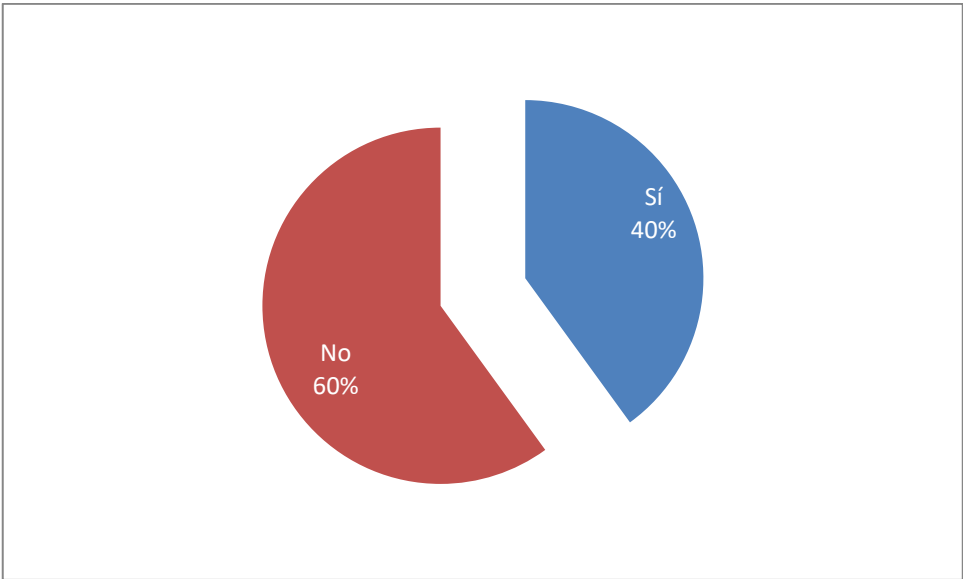
Fuente: Autor, 2018.

Gráfico 3-6. Pregunta 16 ¿Qué hace con la basura cuando se acumula?

iv. Sobre la segregación y reúso de los residuos sólidos

Otro punto importante está relacionado con la conciencia y prácticas ambientales de la población, desde la separación de sus residuos sólidos hasta su reaprovechamiento.

En el gráfico 3-7, se muestra los porcentajes de acuerdo a los hábitos de aprovechamiento de los residuos sólidos de los entrevistados, un 60% declaró que no aprovecha las sobras de comida.



Fuente: Autor, 2018.

Gráfico 3-7. Pregunta 20 ¿Le da otro uso a las sobras de comida?

3.1.3. Caracterización de perfiles

Luego de realizar las entrevistas en terreno a 20 familias en distintos lugares rurales de Putaendo, se confirma que existen dos tipos muy marcados de familias distinguidos debido a su cercanía a la ciudad y a la periodicidad en la recolección de sus desechos.

Por un lado, existen las familias rurales de aislamiento extremo que tienen una recolección casi nula de sus residuos y por otra parte existen familias que forma parte de un sector rural más poblado con una periodicidad de recolección de desechos iguala a una vez cada dos semanas.

3.1.3.1. Perfil 1

Corresponde a pequeñas comunidades agrupadas en unas cuantas viviendas que cuentan con luz gracias a la existencia de paneles solares que brindan energía eléctrica; el agua es entregada por recorridos de camiones aljibes una vez a la semana y su consumo de GLP contenido en un cilindro de gas es de uno cada dos meses. El alcantarillado no existe en estos sectores, el baño se conforma de una letrina o pozo negro, además el paso del camión recolector de basura es una vez cada un año. La actividad económica principal se centra en la venta de quesos de cabra y es por este motivo que cada familia cuenta con alrededor de 150 a 200 cabras.

Este perfil está presente en las localidades de El Manzano y Las Minillas (Figura 3-12).



Fuente: Autor, .Putando 2017.

Figura 3-12. Perfil 1. Sector las Minillas Putaendo.

Según los entrevistados, se pueden encontrar microbasurales en los alrededores de los predios (Figura 3-13).



Fuente: Autor. Putaendo 2017.

Figura 3-13. Basura doméstica sector las Minillas, Putaendo.

El Perfil 1, debido a la baja frecuencia de recolección de residuos que ese sector posee, trata los desechos mediante la quema de estos y también el entierro.

3.1.3.2. Perfil 2

Corresponde a un sector más poblado que el anterior, por este motivo la densidad poblacional de este perfil es mayor al Perfil 1. Cada vivienda tiene un terreno delimitado y acotado por lo que la tenencia de animales se reduce en unos cuantos. Destaca además que estas familias poseen una recolección periódica de basura, pero la variabilidad en esta periodicidad, que va desde 2 a 3 veces por mes hace que la acumulación de basura en las casas sea un problema recurriendo a la quema de residuos al igual que Perfil 1. Las familias encuestadas de este sector cuentan con agua potable y electricidad de forma permanente. Su consumo de GLP contenido en un cilindro de gas, es de uno cada mes.

La Figura 3-14 muestra la ubicación de los perfiles, identificando al Perfil 1 como P1 y al Perfil 2 como P2.



Fuente: Google Maps.

Figura 3-144. Ubicación geográfica de los perfiles en el sector rural de Putaendo.

La Tabla 3-1 muestra una comparación entre el Perfil 1 y Perfil 2, compilados gracias a la información recopilada.

Tabla 3-1. Análisis comparativo de Perfiles en Zonas Rurales de Putaendo.

	Perfil 1	Perfil 2
Total población rural	9.315	
% de la población rural	1 %	55 %
Electricidad	Paneles solares	Red
Agua	Camión aljibe	Agua potable Camión aljibe
Gas	0,5 cilindro/mes	1 cilindro/mes
Saneamiento	Letrinas	Letrinas Alcantarillado
Actividad económica	Ganadería (venta queso de cabra)	Agricultura
Ingreso mensual	\$215.000	\$285.000
Principal preocupación	Muerte de cabras	Acumulación de basura
Recolección de basura	Nula	1 vez al mes

Fuente: Autor, 2018.

El perfil al que se dirigirá la solución será al Perfil 2, principalmente debido a que abarca una mayor cantidad de población, además cuenta con una mayor cantidad de recursos y en el lugar se pueden llevar acabo todas las tecnologías expuestas anteriormente.

3.2.CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS DOMICILIARIOS EN LA ZONA RURAL DE PUTAENDO

Todo lo tratado en el punto anterior también constituye parte de la caracterización de residuos ya que la muestra es importante para saber dónde se va a trabajar.

El contenido de los residuos puede separarse según sus características físicas.

La fracción de materia orgánica presente en los residuos domiciliarios es crucial para comprender la selección de tecnología para el correcto tratamiento de RSD.

3.2.1. Aplicación método de Cuarteo

Con el objetivo de conocer la composición física de los residuos sólidos, es necesario llevar a cabo el siguiente método de cuarteo para así obtener una muestra representativa.

3.2.2. Procedimiento

Se realizaron las actividades descritas en el proceso de método de cuarteo (Diagrama 2-1). La basura se esparció en un manto (Figura 3-15) para luego tomar sus cuatro esquinas y formar un saco (Figura 3-16). Se procedió a moverlo de arriba hacia abajo con tal de lograr homogeneidad (Figura 3-17).



Fuente: Autor. Putaendo 2017.

Figura 3-15. Pila de desechos.



Fuente: Autor. Putaendo 2017.

Figura 3-16. Levantamiento del manto por sus cuatro esquinas.

Posteriormente se deja el manto en el suelo donde la pila de basura se debe aplanar para formar un disco. Seguidamente el disco se divide en cuadrantes con una cruz concéntrica, y dos cuadrados opuestos son palados y barridos hacia fuera limpios y rechazados. Los otros dos cuadrantes se conservan para una muestra.



Fuente: Autor. Putaendo 2017.

Figura 3-17. Movimiento del saco de arriba hacia abajo para homogenizar.

La Figura 3-18 muestra el resultado del método una vez repetido el procedimiento y así alcanzar una muestra apropiada y manejable.



Fuente: Autor. Putaendo 2017.

Figura 3-15. División por cruz concéntrica.

3.2.3. Resultados

Luego de realizar el método de cuarteo se pudo definir la composición física de los residuos sólidos la cual, en su mayoría, correspondía a residuos orgánicos con un 70% del total constituyente.

Tabla 3-2. Composición en porcentaje de los residuos.

Tipo de residuo sólido	Porcentaje (%)
Materia orgánica	71,1
Papel	6,1
Cartón	1
Plásticos	10,2
Bolsas	8,2
Vidrio	1,1
Metales	2,2
Otros	0,1
TOTAL	100

Fuente: Autor, 2018.

La Tabla 3-3 señala qué elementos considera cada tipo de residuo sólido mencionado.

Tabla 3-3. Clasificación de residuos sólidos.

Tipo de residuos sólidos	Detalle
1. Materia orgánica	Considera restos de alimentos, cáscaras de frutas y vegetales, excrementos de animales menores, huesos y similares.
2. Papel	Considera papel blanco tipo bond, papel periódico, otros.
3. Cartón	Considera cartón marrón, cartón blanco, cartón mixto
4. Plástico PET	Considera botellas de bebidas, gaseosas, aceites.
5. Bolsas	Considera a aquellas bolsas entregadas por el comercio (supermercados, almacenes, etc.).
6. Vidrio	Considera vidrio blanco, vidrio marrón, vidrio verde.
7. Metal	Considera latas de atún, leche, conservas, fierro, envases de gaseosa en lata, marcos de ventana, etc.
8. Otros	Considera aquellos restos que no se encuentran dentro de la clasificación por tipo de residuo.

Fuente: (ESQUINCA, 1995)

Seguidamente se calcula la densidad de la basura dividiendo el peso de la basura por el volumen del recipiente (Ec. 3.1). La densidad de los desechos que se encontraron en los receptáculos de concreto de la zona con mayor población.

$$\rho = \frac{W}{V} = \frac{W}{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \times (H)}$$

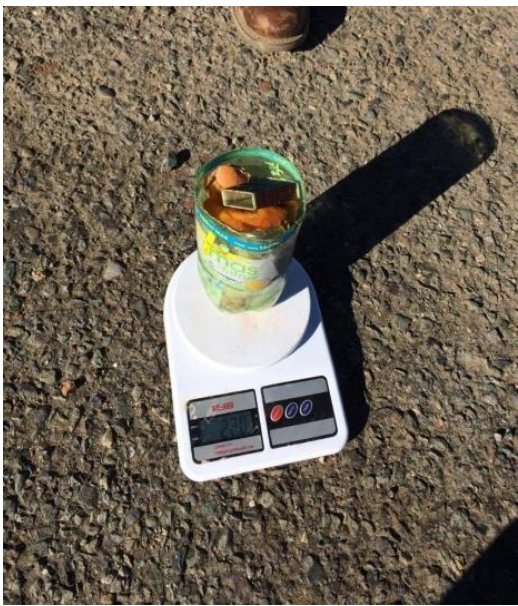
(Ec. 3.1)

El cálculo de la densidad se realizó con materiales encontrados en el lugar con mayor población. Como resultado por parte del método de cuarteo realizado en el lugar para una masa de 3025 g, se obtuvo la muestra representativa.

La tara de la mitad de una botella de plástico fue de 13 g y el diámetro de esta misma corresponde a 8 cm; los residuos dentro de la botella, en la balanza, marcan un total de 220 g, por lo que el peso de los residuos corresponde a los 220 g menos los 13 g de la tara de la botella, es decir a 207 g (Figura 3-20). La densidad quedaría calculada de la siguiente forma (Ec. 3.2):

$$\rho = \frac{W}{V} = \frac{207}{\pi \left(\frac{8}{2}\right)^2 \times (17)} = 0.242 \text{ g/cm}^3$$

(Ec. 3.2)



Fuente: Autor. Putaendo 2017.

Figura 3-16. Medición de densidad en campo. Residuos de la porción reducida en volumen obtenida del cuarteo.

La densidad de los residuos sólidos podría determinar el número de unidades para el transporte municipal en función de la capacidad de estos, además sirve de base para proyectar las necesidades de espacio para el diseño de rellenos sanitarios.

3.3. SELECCIÓN DE TECNOLOGÍA PARA TRATAMIENTO DE MATERIA ORGÁNICA

La Tabla 3-4 muestra a continuación un análisis comparativo, el cual permitió decidir cuál es la tecnología más adecuada a la situación que se está analizando.

Tabla 3-4. Análisis comparativo de las distintas tecnologías posibles a usar.

TRATAMIENTO o PROCESO	TIPO DE RESIDUO	SE OBTIENE ENERGÍA	OPERACIÓN	COSTO	IMPACTO M.A.
Reciclaje					
Reciclaje	Orgánico e Inorgánico	No	Complejo	Bajo	Positivo
Reducción Proc. y Sep.					
Compactación	Orgánico e Inorgánico	No	Muy Compleja	Alto	Positivo
Separación Magnética	Inorgánico	No	Muy Compleja	Alto	Positivo
Tratamientos Térmicos					
Incineración	Orgánico e Inorgánico	Si	Muy Compleja	Alto	Negativo
Pirólisis	Orgánico	Si	Muy Compleja	Alto	Positivo
Tratamientos biológicos					
Compostaje	Orgánico	No	Poco Compleja	Bajo	Positivo
Lombricultura	Orgánico	No	Poco Compleja	Bajo	Positivo
Biodigestión aneróbica	Orgánico	Si	Compleja	Medio	Positivo

Fuente: Autor, 2018.

De acuerdo a los aspectos comparados en la Tabla 3-3, se escoge trabajar con un tratamiento de tipo biológico, específicamente con un biodigestor. Además la Tabla 3-2, muestra el porcentaje de materia orgánica de los residuos a utilizar. De esta forma, la digestión anaeróbica, como método de tratamiento de residuos, permite disminuir la cantidad de residuos orgánicos, generando bioabono y al mismo tiempo, producir energía en forma de biogás para su posible uso doméstico.

3.3.1. Costos de Construcción de un Biodigestor en Perfil 2

El Perfil 2 cuenta con una mayor cantidad de familias y casas, por lo que será posible utilizar los residuos orgánicos generados para su descomposición mediante la digestión anaeróbica.

Los principales materiales para la construcción de los biodigestores prototipos a instalar, son el reactor donde se produce la digestión anaeróbica, las cámaras de carga donde se mezclan el agua con la materia orgánica a ingresar y la cámara de descarga donde se retira el bioabono y el sistema de gas que incluye el lugar del almacenamiento del gas y el sistema de cañerías (Piping). La sección de materiales varios corresponde a válvulas y acoples faltantes.

La mano de obra necesaria para la construcción de un sistema de biodigestión considera un tiempo equivalente a 4 o 5 días de trabajo de 2 personas que tengan un sueldo de \$300.000 cada uno. (Tabla 3-5)

La Tabla 3-5 muestra los costos (valores sin IVA) asociados a un sistema de biodigestión de 2500 L diseñado según las condiciones del lugar.

Tabla 3-5. Costos construcción sistema de biodigestión.

MATERIALES	COSTO (\$)
Fosa séptica	235.167
Estanques carga	18.500
Estanque descarga	18.500
Sistema de gas	30.000
Materiales varios	150.000
M. O. Construcción	600.000

Cont. Tabla 3-5.

TOTAL 1 biodigestor	1.052.167
----------------------------	-----------

Fuente: Autor, 2019.

Un biodigestor, de estas características, tendría un costo en materiales de alrededor de \$1500 USD.

3.3.2. Beneficios

Producto de la digestión anaeróbica se generará bioabono (o biol) que puede ser comercializado y biogás que puede presentar un ahorro energético para las familias.

3.3.2.1 Comercialización Bioabono

La generación de Bioabono puede ser un uso eficiente en los predios del lugar, pudiendo ser un producto que puede comercializarse. Los precios de los fertilizantes líquidos en el mercado varían desde los \$3.000 hasta los \$15.000.

La Tabla 3-7 muestra la venta o ahorro generado a lo largo del tiempo por un biodigestor si se comercializara el Biol (fertilizante orgánico) a un precio de \$1.000/L.

Tabla 3-6. Biabono a producir y su equivalencia en pesos.

Tiempo	Biabono generado (L)	Equivalente \$
1 día	30	30.000
1 semana	210	210.000
1 mes	900	900.000
6 meses	5.400	5.400.000
1 año	10.800	10.800.000
2 años	21.600	21.600.000
3 años	32.400	32.400.000
4 años	43.200	43.200.000
5 años	54.000	54.000.000

Cont. Tabla 3-6.

10 años	108.000	108.000.000
---------	---------	-------------

Fuente: Autor, 2019.

3.3.2.2 Ahorro energético biogás

En el mercado el precio de un cilindro de gas de 15 kilogramos equivalente a \$15.000 y por lo tanto el precio de referencia será 1000 \$/kg de gas.

La Tabla 3-6 presenta un ahorro energético (ahorro en cilindros de GLP) para la construcción del biodigestor con las condiciones antes mencionadas.

Tabla 3-7. Ahorro energético de gas de biodigestor.

Ahorro energético biodigestor		
Tiempo	Biogás generado (m^3)	Equivalente GLP (kg)
1 día	0,8	0,36
1 semana	5,6	2,52
1 mes	24	10,8
6 meses	144	64,8
1 año	288	129,6
2 años	576	259,2
3 años	864	388,8
4 años	1152	518,4
5 años	1440	648
10 años	2880	1.296

Fuente: Autor, 2019.

3.4. ANÁLISIS DE RIESGOS DE LA TECNOLOGÍA SELECCIONADA

El siguiente punto abarcará un análisis de riesgos dirigido al uso de un biodigestor para el procesamiento de la fracción orgánica de los residuos que corresponde a un 70% del total.

3.4.1. Aplicación del Método del Árbol de Sucesos

Un árbol de sucesos o eventos es desarrollado con el fin de visualizar lo que actualmente acontece en un ambiente específico y comparar las consecuencias de esta situación con los efectos producidos en un escenario diferente que implique cambios fundamentales.

La zona rural de Putaendo demuestra una realidad donde la basura es quemada regularmente por sus habitantes.

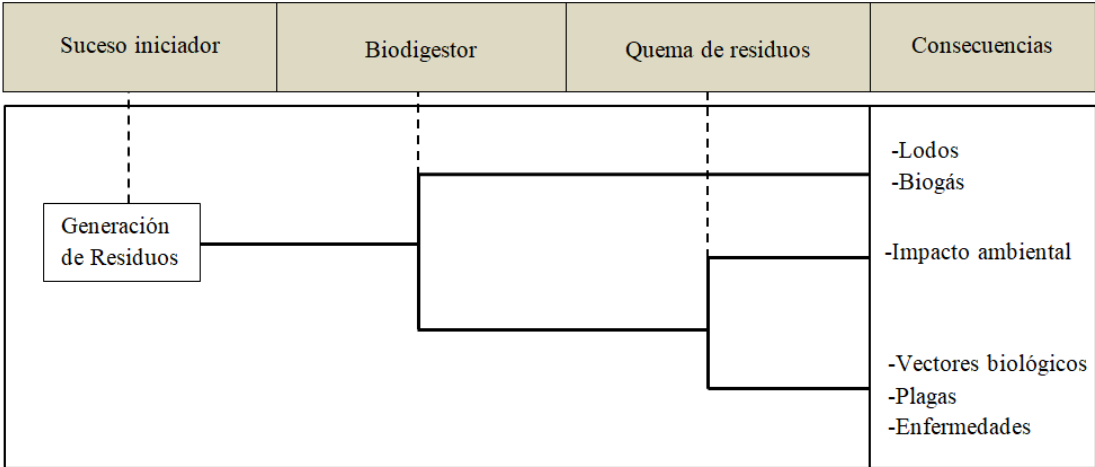
El suceso iniciador, en este caso, se considera la generación de residuos como un evento de potencial evolución negativa por lo que se requiere aplicar una respuesta a partir de distintos sistemas tecnológicos o condiciones externas.

Las consecuencias derivadas del uso de un biodigestor contemplan la generación de bioabono; utilizado como fertilizante y mejorador de suelos, y biogás; utilizado en las estufas de gas para cocinar.

Al seguir la secuencia en el árbol de eventos, luego de descartar el uso del biodigestor, si la comunidad no opta por el uso del biodigestor, el paso siguiente corresponde a la quema de residuos. Las consecuencias contemplan un largo listado de impactos al medio ambiente; tanto a la atmósfera como al agua y seres vivos.

Por último se aprecian los resultados de un escenario donde los vectores biológicos, las plagas y enfermedades se apoderan del entorno en que se suscita el evento iniciador.

La Figura 3-21 detalla lo anteriormente expuesto.



Fuente: Autor, 2018.

Figura 3-17. Árbol de sucesos. Generación de residuos en la zona rural de Putaendo.

3.4.2. Análisis Modal de Fallo y Error

Las formas en que este proceso puede fallar corresponden a los modos de falla. Cada modo de falla tiene un efecto potencial, y algunos efectos son más probables que otros. La gravedad de cada efecto, la probabilidad de ocurrencia y detección de cada causa conforman el Número Prioritario de Riesgo. Mientras más elevado sea el NPR se debe poner más atención a ese posible modo de falla y sus causas.

El siguiente es un Análisis de Modos de Fallas y Efectos, realizado a la tecnología que se seleccionó y que corresponde a un biodigestor. El proceso de digestión anaerobia que allí ocurre, ha sido desglosado para obtener las etapas que lo integran y, a su vez, identificar los componentes de la tecnología y su función dentro del proceso.

Tabla 3-8. AMFE de un Biodigestor.

Etapa del proceso	Compone nte y función	Falla potencial				Evaluación				Acciones propuestas
		Modo de falla potencial	Efecto de falla potencial	Causa de falla potencial	Nº falla a	S	O	D	N P R	

Cont. Tabla 3-8.

Recepción materia orgánica	recipiente de carga; contenedor donde se deposita la biomasa	quiebre del recipiente de carga	derrame de material	carga inadecuada	1	2	3	3	18	Seguir indicaciones de carga. Control visual. periódico
				Material del recipiente incorrecto	2		2	7	28	
Ingreso al biodigestor	tubo de entrada; permite el traslado de la biomasa desde pila de carga a la cámara de fermentación	material no entra al digestor	no hay producción de biogás	obstrucción del ducto	3	7	7	6	294	Limpieza de tubo
	Válvula; controla el flujo de material	material ingresa descontroladamente a la cámara de fermentación	cantidad de entrada supera el máximo	Desperfecto	4	4	2	7	56	Mantenimiento periódico
Descomposición de la materia orgánica	Cámara de digestión	duración excesiva de la biomasa sin fermentar dentro del digestor	baja eficiencia	condiciones ambientales no óptimas	5	1	5	1	5	Aislamiento para bajas temperaturas
			baja cantidad de biogás			3			15	
Transporte de Biogás	tubería de gas; transporta el biogás desde la cámara de fermentación al gasómetro	gas no llega al gasómetro	no se almacena el biogás	fuga	6	10	8	7	560	Cambio de tuberías.
				Tubería defectuosa	7		4	7	280	
	válvula de agua; permite el flujo de agua que se condensa	el agua no sale de la tubería	llama amarilla	avería	8	7	4	7	196	Reemplazo de válvula
			llama de gas inestable y parpadeante		9	8			224	

Cont. Tabla 3-8.

	filtros de gas; disminuye presencia de H2S (ácido sulfhídrico)	biogás con exceso de H2S	corrosión en las instalaciones	filtro inadecuado	11	9	2	2	36	Elección de filtro correcto
	manómetro; medición de la presión ejercida por el gas	Manómetro no indica presión	no se está generando gas	Las bacterias no trabajan todavía correctamente .	12	7	5	4	140	Se debe procurar un ambiente sin oxígeno. Mantenimiento y chequeo de fugas
	gasómetro ; almacena el biogás	no almacena el biogás	Pérdida de presión del gasómetro	instalación incorrecta	13	8	5	3	120	Medición de presión. Pruebas de instalación
				Fuga	14		5	6	240	
Recepción de Bioabono	tubo de salida; dirige el material de la cámara de fermentación al recipiente de descarga	No se traslada el efluente	Afecta la producción de gas	Obstrucción del paso	15	6	7	6	252	Limpieza de ducto
	recipiente de descarga, contiene los lodos	Escape de lodos	Contaminación de aguas	Rotura	16	7	2	5	70	Control visual

3.5. VALORIZACIÓN ECONÓMICA

A continuación, se detallará y analizará los costos de inversión y operación para un análisis de riesgos de un estudio sobre tratamiento de residuos domiciliarios, además de exponer los beneficios que entregaría la implementación de esta tecnología.

3.5.1. Costos de inversión

También llamados costos pre-operacionales, corresponde a los esfuerzos económicos llevados a cabo para poner un proyecto en funcionamiento.

Para concretar este trabajo, se incurrió en costos de materiales para realizar el cuarteo y los elementos de protección personal (EPP). Además, un costo de inversión en tiempo, puesto que el trabajo se encuentra inmerso dentro de un Programa de Memorias Multidisciplinarias donde se imparten distintos tipos de cursos dirigidos a la orientación de los estudiantes en el desarrollo de sus trabajos de título.

Tabla 3-9. Costos de Inversión del Cuarteo.

DESCRIPCIÓN	COSTO (\$)
MATERIALES	
Balanza	4.800
Manto	1.790
Pala	4.990
EPP	
Guantes	890
Mascarillas	2.690
TOTAL	15.160

Fuente: Autor, 2018.

Es necesario contemplar las clases impartidas y realizar una valoración económica a este aspecto ya que sin la preparación debida y las herramientas otorgadas por estos espacios, el proyecto no hubiese sido posible realizarlo en el marco y las condiciones en que se está trabajando.

Se destinaron 2 días a la semana durante 10 meses, con un total de 147 horas cronológicas utilizadas en el desarrollo de las clases correspondientes al programa.

Tabla 3-10. Clases contenidas en el programa de Memorias Multidisciplinarias.

NOMBRE DE LA CLASE	HORAS CRONOLÓGICAS
Vigilancia Tecnológica	3
Design Thinking	12
Modelo Negocio	9
Scrum	12
Plan de Negocio	12
Patentamiento	6
Marketing	12
Creación Legal Empresas	3
Trabajo en Equipo y Liderazgo	12
Conducta Emprendedora	12
Comunicación Oral	12
Comunicación Escrita	12
Presentaciones Efectivas	6
Responsabilidad Social e inclusión	12
Comunicación Escrita 2	6
Negociación	6
TOTAL	147

Fuente: Autor, 2018.

3.5.2. Costos de operación

Los costos de operación de este proyecto, tales como el traslado al lugar y las horas trabajadas corresponden a los siguientes descritos en la Tabla 3-10. Es necesario precisar que el valor utilizado de hora-hombre equivale a 0,8 UF.

Tabla 3-11. Costos de Operación del proyecto.

DESCRIPCIÓN	COSTO (\$)
TRASLADO	
Viña del Mar - San Felipe	4400
San Felipe - Viña del Mar	4400
San Felipe – Putaendo	1200
Putaendo - San Felipe	1200
HORAS-HOMBRE (HH)	

Cont. Tabla 3-11.

5	110.373*
TOTAL	121.573

Fuente: Autor, 2018.

*\$110.373 equivalen a 4 UF (Unidad de Fomento).

CONCLUSIONES

Putando registra sectores rurales que carecen de una atención por parte de la Municipalidad en cuanto a la recolección de residuos domiciliarios. Al realizar las entrevistas en terreno, se pudo apreciar la realidad del sector; cubículos de concreto situados en estas zonas, desbordados con desechos. Mediante la caracterización de residuos se pudo conocer con detalle qué se está depositando en los contenedores de recogida y en función de ello, tomar medidas que beneficien al habitante. En este caso, la gran parte de los desechos, específicamente un 70% correspondía a materia orgánica (restos de comida). Esta información permite ir construyendo soluciones que aseguren una gestión integral de los residuos, ya sea a partir de convenios con sistemas de gestión y con recicladores, la incorporación de la separación en origen bajo ordenanzas municipales así como también la promoción de educación ambiental.

Los datos recogidos en el lugar posibilitaron barajar un número de alternativas dirigidas al tratamiento de estos residuos, de forma tal que las condiciones que existen sean las que de mejor forma se acomoden a este proceso. Factores como el clima, la composición de los residuos, y el estilo de vida de las personas, son relevantes al momento de decidir. Se realizó una comparación entre distintos tratamientos para concluir que, un biodigestor es el dispositivo que, a través de la digestión anaeróbica, transformaría la materia orgánica en biogás y bioabono. Ambos productos generados en este proceso, podrían significar un aprovechamiento en términos de energía y monetarios; sustituir el uso de gas licuado por el biogás, por lo que su uso en una comunidad conllevaría beneficios así ambientales como económicos.

En un biodigestor se desarrolla el proceso de fermentación de materia orgánica por medio de bacterias que descomponen este tipo componente. Para que el proceso se desenvuelva de manera correcta, la identificación de los peligros que rodean el uso de un biodigestor disminuirá la probabilidad de que este falle. Así, herramientas de análisis de riesgos como Árbol de Eventos y Análisis de Modos de Fallos y Efectos dirigen el trabajo preventivo respecto a los efectos de los posibles fallos permitiendo priorizar las acciones encaminadas a eliminar o reducir la probabilidad de que sucedan, en este caso actividades de mantenimiento, asegurando que las intervenciones sean las correctas para que la calidad final del producto sea la requerida.

El análisis de riesgos de un estudio sobre tratamiento de residuos domiciliarios en la zona rural de Putando conlleva una revisión de un proceso, donde se debe priorizar

que la tecnología encargada tenga un correcto funcionamiento para evitar fallos con el fin de que el producto sea el óptimo. Así este sistema utilizará desechos orgánicos aprovechables generados en el sector, obteniendo biogás y bioabono que beneficiarán a una comunidad. Con las características y condiciones necesarias, es posible replicar este tipo de tratamiento y así encaminar a las municipalidades del país a una gestión de residuos que contemple la valorización de residuos.

RECOMENDACIONES

Se deberá contar con un Manual de Operación que describa cada una de las actividades y procedimientos a desarrollar para la operación del sistema de biodigestión. Se detallarán procedimientos e instructivos de arranque, operación y finalización de equipos para una correcta operación de los mismos.

Dentro del Manual de Operación, deberán estar descritas las medidas de seguridad, mismas que deberán estar en concordancia con lo establecido en estas especificaciones y con las normas vigentes aplicables en la materia, incluyendo además los procedimientos para atender condiciones de riesgos laborales y accidentes potenciales durante la operación del sistema, por ejemplo, en caso de incendios o explosiones, en caso de intoxicación por gases, contener listados de equipo de seguridad personal, entre otros.

Según el AMFE, se deben priorizar y considerar importante los fallos que tengan un NPR alto, pero más aún, cuando los niveles de rango de gravedad y detectabilidad sean superiores a 8 de acuerdo con tablas de clasificación.

Se debe tener especial atención a todas las acciones y prácticas que consideren el uso de biogás debido a la mezcla de gases que lo conforman y como la concentración de estos puede significar condiciones que se reflejen en daño, ya sea a las personas o a las instalaciones.

Se deberán incluir procedimientos de mantenimiento de las diferentes componentes, sistemas y equipos contemplados en el sistema, considerando esquemas de

acciones preventivas y correctivas, estableciendo los periodos y tipo de mantenimiento de cada uno de los eslabones de la biodigestión.

BIBLIOGRAFÍA

1. **AASHTO T 248. 2012.** *Reducing samples of aggregate to testing size.* American Association of State Highway and Transportation Officials. 2012.
2. **ABDEL-SHAIFY, Hussein I., MANSOUR, Mona S.M. 2018.** Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. *Egyptian Journal of Petroleum.* 2018.
3. **ADENIRAN, A.E., NUBI A.T., ADELOPO, A.O. 2008.** Solid waste generation and characterization in the University of Lagos for a Sustainable waste management. *Waste Management.* 2008, Vol. 28.
4. **AGUILAR OTERO, José R., TORRES ARCIQUE, Rocío, MAGAÑA JIMÉNEZ, Diana. 2010.** *Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (AMFEC) para la planeación del mantenimiento empleando criterios de riesgo y confiabilidad.* 2010.
5. **AIDIS, IDRC. 2005.** *Directrices para la Gestión Integrada y Sostenible de Residuos Sólidos Urbanos en América Latina y el Caribe.* Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. São Paulo : AIDIS, 2005.
6. **ALBORES P., PETRIDIS K., DEY P.K. 2016.** *Analysing efficiency of Waste to Energy Systems: Using Data Evelopment Analysis in Municipal Solid Waste Management.* Birmingham : s.n., 2016.
7. **ANDRÉ, Laura, PAUSS, André, RIBEIRO, Thierry. 2018.** *Solid anaerobic digestion: State-of-art, scientific and technological hurdles.* Enero de 2018. Vol. 247.
8. **ARIAS, J. 1978.** *Digestión anaerobia de desechos orgánicos: Prioridad estratégica para el ecodesarrollo. Reunión Nacional sobre Energía no Convencional.* Palmira : s.n., 1978.
9. **ARMIJO DE VEGA, Carolina, OJEDA Benitez, Sara, RAMÍREZ Bareto, Ma. Elizabeth. 2008.** Solid waste characterization and recycling potential for a university campus. *Waste Management.* 2008, Vol. 28.
10. **AS / NZS ISO 31000: 2009. 2009.** *Evaluación de riesgos.* 2009.
11. **BANAR, Müfide, ÖZKAN, Aysun. 2008.** Characterization of the Municipal Solid Waste in Eskisehir City, Turkey. *Environmental Engineering Science .* 2008, Vol. 25, 8.
12. **BCN. 2010.** Biblioteca del Congreso Nacional. *Clima y vegetación Región de Valparaíso.* [En línea] 2010. [Citado el: 20 de Enero de 2019.] <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region5/clima.htm>.

13. —. **2010.** Biblioteca del Congreso Nacional de Chile. *Región de Valparaíso - Chile Nuestro País*. [En línea] 2010. [Citado el: 10 de Diciembre de 2018.] <https://www.bcn.cl/siit/nuestropais/region5>.
14. **BORGONOVO, E., CAPPELLI, V., MACCHERONI, F., MARINACI, M. 2017.** *Risk analysis and decision theory: A bridge*. 2017.
15. **CANTONI RABOLINI, Nélida Mónica. 2009.** *Técnicas de muestreo y determinación del tamaño de la muestra en investigación cuantitativa*. 2009. 1669-1555.
16. **CASAL J, MATEU E. 2003.** Los sesgos y su control. 2003, págs. 15-22.
17. **CEAMSE. 2018.** CEAMSE Tecnología Ecológica. [En línea] 2018. [Citado el: 20 de Julio de 2018.] <http://www.ceamse.gov.ar>.
18. **CEARS. 2011.** *Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos Región de Valparaíso*. Centro de Economía y Administración de Residuos Sólidos, Universidad Técnica Federico Santa María. Valparaíso : s.n., 2011. Informe final consolidado.
19. **CENTRO DE ANÁLISIS DE POLÍTICAS PÚBLICAS. 2016.** *Estado del Medio Ambiente en Chile Comparación 1999 - 2015*. Santiago : MAVAL IMPRESORES, 2016.
20. **CEPAL. 2016.** *Evaluaciones del desempeño ambiental: Chile 2016*. COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE, Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). Santiago : Naciones Unidas, 2016.
21. **CHANDRAPPA, R., BROWN, J. 2012.** *Solid Waste Management Principles and Practice*. 2012.
22. **CODEXVERDE. 2014.** CodeXverde. [En línea] 22 de Agosto de 2014. [Citado el: 20 de Julio de 2018.] <http://www.codexverde.cl>.
23. **COMPETENCIAS TRANSVERSALES USM. s.a..** Competencias Transversales USM. [En línea] s.a. [Citado el: 30 de Marzo de 2019.] <http://competenciastransversales.usm.cl/index.php/memorias-multidisciplinarias>.
24. **CONICYT. 2010.** *Diagnóstico de las capacidades y oportunidades de desarrollo de la ciencia, la tecnología e innovación*. Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica. 2010.
25. **CONSEJO NACIONAL DE LA CULTURA Y LAS ARTES. 2015.** *Región de Valparaíso - Síntesis Regional*. Departamento de Estudios, Consejo Nacional de la Cultura y las Artes. 2015.
26. **CORONA, Iván. 2007.** *Biodigestores*. Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 2007. Monografía para obtener el título de Ingeniero Industrial.
27. **CUCHÍ, A., SAGRERA, A. 2007.** *Reutilización y Reciclaje de los Residuos del Sector de la Construcción*. Barcelona : Ediciones Ambienta, 2007.

28. **DUDOVSKIY, John. 2011.** Research Methodology. *Research Methodology*. [En línea] 2011. [Citado el: 3 de Julio de 2018.] www.research-methodology.net.
29. **ECOAMERICA. 2006.** *Primer catastro. Sitios de disposición final gestión y tratamientos de residuos sólidos domiciliarios e industriales*. Santiago : s.n., 2006.
30. **EDUCAR CHILE . 2010.** Educar Chile. [En línea] 2010. [Citado el: 10 de Diciembre de 2018.] <http://www.educarchile.cl>.
31. **ELIZONDO, Dagoberto. 2005.** *El Biodigestor*. 2005.
32. **ESQUINCA, Froilán, ESCOBAR, José Luis, HERNÁNDEZ, Agustín, VILLALOBOS, Juan José. 1995.** *Caracterización y generación de los Residuos Sólidos de Tuxtla Gutiérrez, Chiapas*. Chiapas : s.n., 1995.
33. **FARFAN PAVEZ, Rosa. 2010.** *Proposal for management usable waste and management of household solid waste in Inio's Town Quellon's commune*. Santiago : s.n., 2010. Tesis pregrado.
34. **FUENTELESAZ, C. 2004.** *Cálculo del tamaño de la muestra*. 2004.
35. **FULLER, Colin W., VASSIE, Luise H. 2004.** *Health and Safety Management*. 2004. 0273684825.
36. **GAJARDO ALARCÓN, Ninoska Loreto. 2013.** *Estudio de la producción de biogás en función de la temperatura, en un biodigestor tipo chino*. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile. Santiago : s.n., 2013. Memoria de Título.
37. **GARVEY, Paul, LANSLOWNE, Zachary. 1998.** *Risk matrix: an approach for identifying, assesing and ranking program risks*. 1998.
38. **GOBIERNO REGIONAL REGIÓN DE VALPARAÍSO. 2012.** *Estrategia Regional de Desarrollo - Región de Valparaíso 2020*. 2012.
39. —. **2004.** Gobierno Regional Región de Valparaíso. *Clima Regional*. [En línea] 2004. [Citado el: 20 de Enero de 2019.] <http://www.gorevalparaiso.cl/clima.php>.
40. **HOORNWEG, Daniel, BHADA-TATA, Perinaz. 2012.** *What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management*. Washington : World Bank, 2012.
41. **HUERTA, O.,LÓPEZ, M., MOLINA, N., SOLIVA, M., MARTÍNEZ, X. 2008.** *Planta de co- compostaje de la fracción orgánica de RSU y restos vegetales*. 2008.
42. **ICARITO. 2000.** Icarito. *Valparaíso: clima templado mediterráneo*. [En línea] 2000. [Citado el: 20 de Enero de 2019.] <http://www.icarito.cl/2010/06/85-6793-9-4-quinta-region-valparaiso.shtml/>.
43. **INE. 2018.** *Síntesis de resultados CENSO 2017*. Instituto Nacional de Estadísticas. 2018.
44. **INIA. 2016.** *Evaluación preliminar de una factibilidad técnica y económica para implementar plantas de biogás en una muestra de predios de lecherías*

seleccionadas en las regiones Los Ríos y Los Lagos. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. 2016. Informe de Avance.

45. **INN. 2012.** *NCh ISO-31000 Gestión del riesgo - Principios y orientaciones.* 2012.
46. —. **2013.** *NCh-ISO 31010.* Santiago : s.n., 2013.
47. —. **2013.** *NCh-ISO 31010 Gestión del Riesgo - Técnicas de Evaluación del Riesgo.* 2013.
48. **INSHT. 1994.** *GUÍA TÉCNICA Métodos Cualitativos para el Análisis de Riesgos.* 1994.
49. —. **1999.** *NTP 328: Análisis de riesgos mediante el árbol de sucesos.* 1999.
50. **ISO / IEC 31010.** *Gestión de riesgos - Técnicas de evaluación de riesgos.*
51. **JOHANNES JACOBUS, Christiaan Potgieter. 2012.** *Compostability of municipal and wastewater sludge: physical, chemical and biochemical transformations and end-product characteristics.* University of Pretoria. 2012.
52. **Klug, Michael. 2012.** *Pirólisis, un proceso para derretir la biomasa.* Lima : s.n., 2012.
53. **LÓPEZ, Ignacio. 2015.** *Enciclopedia Financiera. Enciclopedia Financiera.* [En línea] 1 de Enero de 2015. [Citado el: 3 de Julio de 2018.] www.encyclopediainanciera.com.
54. **LÓPEZ, Pedro. 2004.** *Población muestra y muestreo.* 2004.
55. **LORENZO, Yaniris, OBAYA, Ma Cristina. 2005.** *La Digestión Anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I.* 2005. págs. 35-48.
56. **MACROCAP. 2009.** *PLADECO PUTAENDO 2010-2014.* Putaendo : s.n., 2009.
57. —. **2009.** *PLAN DE DESARROLLO COMUNAL DE PUTAENDO 2010 – 2014.* 2009.
58. **MARTÍN-CRESPO, M^a Cristina, SALAMANCA, Ana Belén. 2007.** *El muestreo en la investigación cualitativa.* 2007.
59. **MARTÍNEZ-SALGADO. 2012.** *El muestreo en investigación cualitativa. Principios básicos y algunas controversias.* 2012. págs. 613-619.
60. **MCDERMOTT, Robin E., MIKULAK, Raymond J., BEAUREGARD, Michael R. 2009.** *The Basics of FMEA.* Segunda. Nueva York : s.n., 2009.
61. **MIHAI, Florin-Constantin. 2017.** *Solid Waste Management in Rural Areas.* Zagreb : InTech, 2017.
62. **MINENERGÍA. 2011.** *Manual de Biogás.* Ministerio de Energía. Santiago : s.n., 2011. ISBN 978-95-306892-0 .

63. **MINISTERIO DE TRABAJO Y ASUNTOS SOCIALES DE ESPAÑA. [s.a.].** *NTP 330: Sistema simplificado de evaluación de riesgos de accidente.* [s.a.].
64. —. **2004.** *NTP 679: Análisis modal de fallos y efectos.* AMFE. 2004.
65. **MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA. 2018.** Ministerio para la Transición Ecológica. *Gobierno de España.* [En línea] 2018. [Citado el: 30 de Julio de 2018.] <https://www.miteco.gob.es>.
66. **MINISTERIO SECRETARÍA GENERAL DE LA PRESIDENCIA. 2016.** *Implantación, Mantenimiento y Actualización del Proceso de Gestión de Riesgos en el Sector Público.* Santiago : s.n., 2016.
67. **MMA. 2018.** *Cuarto Reporte del Estado del Medio Ambiente.* 2018.
68. —. **2016.** <http://portal.mma.gob.cl>. <http://portal.mma.gob.cl/nueva-politica-nacional-busca-reducir-en-cerca-de-30-la-generacion-de-basura-en-chile/>. [En línea] lunes 29 de enero de 2016.
69. —. **2011.** *Informe del Estado del Medio Ambiente.* Santiago : AMF, 2011.
70. —. **2011.** *Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea para Incineración de Residuos.* Malaga : s.n., 2011. ISBN: 978- 84- 491-1147-1.
71. —. **2017.** *Tercer Reporte del Estado del Medio Ambiente.* Ministerio del Medio Ambiente. 2017. Reporte.
72. **MORALES, Walter. 2010.** *Análisis de riesgos.* Facultad de Ingeniería Seguridad e Higiene Industrial, Universidad de San Carlos de Guatemala. 2010.
73. **MOSTACEDO, Bonifacio, FREDERICKSEN, Todd. 2000.** *Manual de Métodos Básicos de Muestreo y Análisis en Ecología Vegetal.* Santa Cruz : BOLFOR, 2000.
74. **MUÑOZ JOFRÉ, Jaime. 1999.** *Metodología de Caracterización de Residuos Sólidos Urbanos y Bases Para el Desarrollo de un Laboratorio. Tesis Para Optar al Grado de Ingeniero Constructor.* Valparaíso : Pontificia Universidad Católica de Valparaíso, 1999.
75. **OZFIRAT, M. Kemal, y otros. 2017.** Integration of risk matrix and event tree analysis a natural stone plant case. *Sadhana.* 2017, Vol. 42, 10.
76. **PEACE, Christopher. 2017.** *The risk matrix: uncertain results?* Wellington : s.n., 2017.
77. **PIZANO, Rodolfo. 2018.** *ProyectoFSE.* [En línea] 6 de Agosto de 2018. [Citado el: 10 de Diciembre de 2018.] <http://www.proyectoFSE.mx/>.
78. **RADA, Elena Cristina, CIOCA, Lucian. 2017.** *Optimizing the Methodology of Characterization of Municipal Solid Waste in EU Under a Circular Economy Perspective.* Beirut : s.n., 2017.
79. **RINCÓN V., Jonathan, MURILLO N., Zamir. 2017.** *Modelo de negocio para la construcción de un biodigestor que permita disponer 7500 toneladas*

mensuales de residuos sólidos orgánicos de la ciudad de Bogotá, empleándolos en la generación de gas y abono orgánico. Bogotá : s.n., 2017.

80. **RODRÍGUEZ, L., BORROTO, M., VEGA, O. 2014.** *Lombricultura, una alternativa en el manejo de los residuos orgánicos.* Ciego de Ávila : Universidad de Ciego de Ávila. Centro Reprodutor de Entomófagos y Entomopatógenos de Cacahual, 2014.
81. **ROTHENBERGER, Silke, ZURBRÜGG, Christian, ENAYETULLAH, Iftekhar, SINHA, A. H. Md. Maqsood. 2006.** *Decentralised Composting for Cities of Low- and Middle- Income Countries.* Dhaka : Waste Concern, 2006.
82. **SANMARTÍN, Gladis, ZHIGUE, Rosalía, ALAÑA, Tania. 2017.** *El Reciclaje: Un nicho de innovación y emprendimiento con enfoque ambientalista.* 2017.
83. **SECRETARÍA DE DESARROLLO URBANO Y ECOLOGÍA. 1992.** *NORMA MEXICANA NMX-AA-15-1985.* D.F. México : Diario Oficial de la Federación, 1992.
84. **SHERMAN, Rhonda. 1999.** *Large - Scale Organic Materials Composting.* s.l. : NORTH CAROLINA COOPERATIVE EXTENSION SERVICE, 1999.
85. **SNEE, Ronald, RODEBAUGH, William F. 2007.** *Failure Modes and Effects Analysis.* 2007.
86. **SUBDERE. 2018.** *Informe I "Diagnóstico de la situación por comuna y por región en materia de RSD y asimilables".* Santiago : s.n., 2018.
87. **SUR PROFESIONALES CONSULTORES. 2015.** *Actualización Plan Comunal de Desarrollo de la Comuna de Putaendo.* 2015.
88. **TABISH, Syed Amin. 2011.** *Health Care Waste Management. Planning, Organisation & Management of Hospitals & Nursing Homes.* s.l. : JayPee Brothers Medical , 2011.
89. **TAHERDOOST, Hamed. 2017.** *Determinig Sample Size; How to Calculate Survey Sample Size.* 2017.
90. **TCHOBANOGLIOUS, George, KREITH, Frank. 2002.** *Handbook of Solid Waste Management.* New York : McGRAW- HILL, 2002.
91. **TCHOBANOGLIOUS, George, THEISEN, Hilary, VIGIL, Samuel A. 1976.** *Gestión Integral de Residuos Sólidos. Gestión Integral de Residuos Sólidos.* s.l. : McGraw-Hill, 1976.
92. **TCHOBANOGLIOUS, George, THEISSEN, Hilary, ELIASSEN, Rolf. 1982.** *Desechos sólidos - Principios de ingeniería y administración.* Mérida : s.n., 1982.
93. **UNITED NATIONS. 2017.** *World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables.* Department of Economic and Social Affairs, United Nations. New York : s.n., 2017. Working Paper. ESA/P/WP/248.

94. **UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS. 2003.** *Técnicas Preventivas. Evaluación de Riesgos.* Universitat de les Illes Balears. 2003. pág. 6.
95. **VÁZQUEZ, Alethia, ESPINOSA, Rosa Ma., BELTRÁN, Margarita, VELASCO, Maribel. 2016.** *El Reciclaje de Plásticos.* 2016.
96. **VIRGINIE, Manuel. 2011.** *Los Caminos del Reciclaje.* s.l.: NUEVOS EMPRENDIMIENTOS EDITORIALES, 2011. 9788493683252.
97. **VIVANCO, Manuel. 2005.** *Muestreo Estadístico. Diseño y Aplicaciones.* Santiago : Universitaria, 2005.
98. **VOICU, Gheorghe, DINCA, Mirela, PARASHCIV, Gigel, MOICEANU, Georgiana. 2015.** *A Review Regarding the Biogas Production Through Anaerobic Digestion of Organic Waste.* 2015.
99. **VOSE, David. 2008.** *Risk Analysis A Quantitative Guide.* West Sussex, Chichester : John Wiley & Sons, Ltd, 2008.
100. **WANG, Ying-Ming, CHIN, Kwai-Sang, KWAI, Gary Ka, YANG, Jian-Bo. 2009.** Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean. *Expert Systems with Applications.* 36, 2009, págs. 1195–1207.
101. **WORKSAFE. 2011.** *Safety Assessment for a Major Hazard Facility.* 2011.
102. **ZAMAN, Atiq Uz, HASAN SWAPAN, Mohammad Shahidul. 2016.** *Performance evaluation and benchmarking of global waste management systems.* Western Australia : s.n., 2016.
103. **ZHAO, Nuo, ZHAO, Tingdi, TIAN, Jin. 2009.** *Reliability Centered Preliminary Hazard Analysis.* Fort Worth : s.n., 2009.

ANEXOS

ANEXO A: HERRAMIENTAS DE EVALUACIÓN DE RIESGOS

Herramientas y técnicas	Proceso de evaluación del riesgo					Ver
	Identificación del riesgo	Análisis del riesgo			Valoración del riesgo	
		Consecuencia	Probabilidad	Nivel de riesgo		
Tormenta de ideas	MA ¹⁾	NA ²⁾	NA	NA	NA	B.1
Entrevistas estructuradas o semiestructuradas	MA	NA	NA	NA	NA	B.2
Delphi	MA	NA	NA	NA	NA	B.3
Listas de verificación	MA	NA	NA	NA	NA	B.4
Análisis preliminar de peligros	MA	NA	NA	NA	NA	B.5
Estudios de peligros y de operatividad (HAZOP)	MA	MA	A ³⁾	A	A	B.6
Análisis de peligros y de puntos críticos de control (HACCP)	MA	MA	NA	NA	MA	B.7
Evaluación de riesgos ambientales	MA	MA	MA	MA	MA	B.8
Estructura "¿y si ...?" (SWIFT)	MA	MA	MA	MA	MA	B.9
Análisis de escenario	MA	MA	A	A	A	B.10
Análisis de impacto en el negocio	A	MA	A	A	A	B.11
Análisis de la causa raíz	NA	MA	MA	MA	MA	B.12
Análisis de modos y efectos de fallas	MA	MA	MA	MA	MA	B.13
Análisis del árbol de fallas	A	NA	MA	A	A	B.14
Análisis del árbol de eventos	A	MA	A	A	NA	B.15
Análisis de causa-consecuencia	A	MA	MA	A	A	B.16
Análisis de causa y efecto	MA	MA	NA	NA	NA	B.17
Análisis de capas de protección (LOPA)	A	MA	A	A	NA	B.18
Árbol de decisiones	NA	MA	MA	A	A	B.19
Análisis de fiabilidad humana	MA	MA	MA	MA	A	B.20
Análisis bow tie	NA	A	MA	MA	A	B.21
Mantenimiento centrado en la fiabilidad	MA	MA	MA	MA	MA	B.22
Análisis del circuito de fuga	A	NA	NA	NA	NA	B.23

ANEXO B: CUESTIONARIO

Cuestionario para diagnóstico de manejo de residuos sólidos domiciliarios en zonas rurales

1.

Nombre del encuestador:	
Zona:	Clima:
Población Total:	
Nombre completo del entrevistado:	
Dirección:	
Hogares por terreno:	

2. DATOS GENERALES

i) **Ocupación Económica de entrevistado:**
(Dueño/a de casa, Obrero, Agricultor, Ganadero, Comerciante, Profesional, Jubilado, etc.)

ii) **Nivel de educación del jefe de familia (persona que aporta el ingreso principal del hogar):**

- | | | | |
|--------------------------|-----|----------------------------|-----|
| (a) Sin instrucción | () | (f) Técnica Incompleta | () |
| (b) E. básica Incompleta | () | (g) Técnica Completa | () |
| (c) E. básica Completa | () | (h) Universidad Incompleta | () |
| (d) E. Media Incompleta | () | (i) Universidad Completa | () |
| (e) E. Media Completa | () | (j) Estudios de Post Grado | () |

iii) **¿Con cuánto vive al mes?**

iv) **Tipo de servicios con que cuenta:**

- | | |
|-------------------|-----|
| a) Luz | () |
| b) Agua | () |
| c) Alcantarillado | () |
| d) Teléfono | () |
| e) Cable | () |
| f) Internet | () |
| g) Gas | () |

v) ¿Cuánto gasta en electricidad, gas y agua?

vi) ¿Cuánto le dura el cilindro de gas?

vii) Si no cuenta con alcantarillado ¿Qué hace con las aguas residuales domésticas (baño, cocina, lavado)?

viii) ¿Qué es lo que más bota al tacho de basura en casa?

- a) Sobras de alimentos ()
- b) Papeles ()
- c) Latas ()
- d) Plásticos ()
- e) Otros () ¿Cuál? _____

3. SOBRE EL ALMACENAMIENTO Y RECOLECCIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

ix) ¿En qué tipo de envase/recipiente/tacho tiene la basura en su casa?

- (a) Caja ()
- (b) Cilindro ()
- (c) Tacho de plástico ()
- (d) Bolsa Plástica ()
- (e) Costal ()
- (f) Otro () ¿Cuál? _____

x) ¿En cuántos días se llena el tacho de basura en su casa?

xi) ¿En qué lugar de la casa tiene el tacho de basura?

xiii) ¿Quién recoge la basura de su casa?

- (a) Municipio ()
- (b) Empresa ()
- (c) Desconocidos ()
- (d) Recolectores ()
- (e) Otro () ¿Cuál? _____

xiii) ¿Cada cuánto tiempo retiran la basura de su casa? (Camión recolector).

- (a) Todos los días ()
- (b) Cada 1 día ()
- (c) Cada 2 o 3 días ()
- (d) Muy pocas veces ()
- (e) Nunca ()

xiv) ¿Cómo entrega su basura al servicio de recolección?

- (a) Al personal del camión ()
- (b) La dejo en la vereda de mi casa ()
- (c) La dejo en la esquina de la cuadra ()
- (d) La dejo en un contenedor habilitado ()
- (e) Otro: _____

xv) ¿Se acumula la basura en su casa?

xvi) Cuando se acumula varios días la basura en su casa ¿Qué se hace con esta basura?

- (a) Se quema ()
- (b) Se entierra ()
- (c) Se bota a la calle ()
- (d) Se lleva al botadero más cercano ()
- (e) Se entrega a un recolector ()
- (f) Otro _____

xvii) ¿Tienen otra forma de eliminar la basura? ¿Qué se hace con esta basura? ¿Cuándo hacen eso (para qué casos)? ¿Con cuánta frecuencia?

xviii) Cuando entrega sus residuos a un recolector ¿Sabe usted donde los bota?

xix) ¿Se acumula basura en las calles por acá cerca? ¿Dónde? ¿Por qué cree que existen acumulaciones de basura en su localidad o calle?

- (a) No sabe ()
 (b) No existe ese problema ()
 (c) Porque no hay recolección ()
 (d) Por negligencia de la población ()

4. SOBRE LA SEGREGACIÓN Y REÚSO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

xx) ¿Qué hace con las sobras de comida? ¿Qué hace con ella?

xxi) ¿Qué se hace con las botellas de plástico vacías?

- (a) Se botan al tachó ()
 (b) Se venden ()
 (c) Se regalan ()
 (d) Otro uso () ¿Cuál? _____

xxii) ¿Qué se hace con las botellas de vidrio vacías?

- (a) Se botan al tachó ()
 (b) Se venden ()
 (c) Se regalan ()
 (d) Otro uso () ¿Cuál? _____

5. SOBRE LOS RECURSOS DISPONIBLES

xxiii) ¿Cuenta con algún tipo de animal a su cuidado?

- (a) Sí () ¿Cuáles? _____
 (b) No ()

xxiv) ¿Tiene claro dónde cagan sus animales? ¿Dónde? La caca de los animales, ¿qué se hace con ella?

- a) Sí () ¿Qué hace? _____
 b) No ()

xxv) ¿Tiene acceso a otra fuente de agua que no sea potable?

- a) Sí () ¿Cuál? _____
 b) No ()

xxvi) Si respuesta a la pregunta anterior fue "Sí" ¿Con qué periodicidad la puede ocupar?
