

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
VALPARAÍSO-CHILE**



**“Desarrollo de ingeniería conceptual y básica
para la implementación de la tecnología de
biodigestión en zonas rurales”**

FABIAN ANDRES AMPUERO SEGUEL

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL MECÁNICO**

**PROFESOR GUÍA: DR. ING. PEDRO SARIEGO PASTEN
PROFESOR CORREFERENTE: ING. RENE VALDENEGRO OYANEDER**

SEPTIEMBRE 2018

AGRADECIMIENTOS

A mi madre y mi padre por ser unos ejemplos de persona para mí y mi hermano, por trabajar duro cada día más de la cuenta para mantener a nuestra familia y por darme el apoyo para concluir esta etapa en mi vida.

A todo el equipo de las Memorias Multidisciplinarias, los cuales me dieron de un principio el enfoque y las herramientas para iniciar este trabajo.

Al Profesor David Saldivia por comenzar este trabajo de investigación conmigo y participar dentro de las actividades que el programa de las memorias multidisciplinarias solicitaba.

Al profesor Pedro Sarego por su disposición, por acoger mi investigación realizada, por ayudarme a terminarla y presentarla como mi trabajo de titulación.

A la gente de la comuna de Putaendo donde tuve un excelente recibimiento al momento de realizar encuestas y análisis con sus residuos.

Por último, a todos mis amigos y conocidos que fueron parte de este proceso.

RESUMEN

En este trabajo de título se estudió el desarrollo de ingeniería básica y conceptual para la implementación de un proyecto que soluciona y de autogestión a sectores rurales específicos de Putaendo en base a sus residuos domiciliarios.

Para esto, se seleccionó un lugar adecuado donde realizar el levantamiento de información y se estudió el perfil de usuario al cual se pretende dar una ayuda sostenible y gestionar una solución apropiada.

Se estudiaron las alternativas del problema considerando las tecnologías de solución en base a las tecnologías de tratamiento de residuos, seleccionando la más acorde al perfil y enfatizando sus variables, con el fin de llegar a una propuesta óptima y al alcance de las condiciones y recursos de la zona.

En ese orden se desarrolló un diseño de un prototipo funcional, contemplando su instalación, operación y beneficios que otorga. Además de establecieron los principales costos de inversión y operación que este proyecto implica.

Se concluyó que la tecnología de biodigestión es factible en zonas rurales como Putaendo y otros, tanto del punto de vista técnico como económico.

Además, los factores sociales y culturales del territorio hacen del todo aconsejable desarrollar completamente la solución en estudio.

ABSTRACT

In this title work, the development of basic and conceptual engineering for the implementation of a project that solves and self-managed specific rural sectors of Putaendo based on their household waste was studied.

For this, an appropriate place was selected where to carry out the information gathering and the user profile to which it is intended to give a sustainable help and to manage an appropriate solution was studied.

The alternatives of the problem were studied, considering the solution technologies based on the waste treatment technologies, selecting the one most in line with the profile and emphasizing its variables, in order to arrive at an optimal proposal and within the reach of the conditions and resources of area.

In that order a design of a functional prototype was developed, contemplating its installation, operation and benefits granted. In addition, they established the main investment and operation costs that this project implies.

It was concluded that biodigestion technology is feasible in rural areas such as Putaendo and others, both from a technical and economic point of view.

In addition, the social and cultural factors of the territory make it absolutely advisable to fully develop the solution under study.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	
RESUMEN.....	II
ABSTRACT	III
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS	XVII
SIMBOLOGÍA.....	XX
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
2.1 Objetivo general.....	2
2.2 Objetivos específicos	2
3. LA PROBLEMÁTICA	3
3.1 Desafío	3

3.2	Ecosan.....	4
3.3	Zona escogida: Putaendo.....	5
3.3.1	Ubicación.....	6
3.3.2	Clima.....	7
3.3.3	Suelos.....	9
3.3.4	Demografía.....	9
3.3.5	Hidrología.....	9
3.3.6	Sectores Urbanos y Rurales.....	10
4.	CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	12
4.1	Metodologías de levantamiento de información.....	12
4.1.1	Encuesta.....	12
4.1.2	Reuniones Municipalidad.....	12
4.1.3	Método de cuarteo.....	13
4.2	Resultados obtenidos.....	15

4.2.1	Perfiles según recolección de basura	15
4.2.1.1	Perfil 1:	15
4.2.1.2	Perfil 2:	17
4.2.2	Gastos municipales	20
4.2.3	Caracterización de la basura	20
4.2.4	Análisis general de zonas encuestadas	22
5.	ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS	23
5.1	Alternativas de tratamientos y tecnologías de residuos sólidos	23
5.1.1	Reciclaje	26
5.1.2	Reducción, procesamiento y separación.....	27
5.1.2.1	Compactación	27
5.1.2.2	Separación por cambio eléctrico o magnético	28
5.1.3	Tratamientos térmicos	29
5.1.3.1	Incineración	29

5.1.3.2	Pirolisis	30
5.1.4	Tratamientos biológicos y químicos	30
5.1.4.1	Compostaje:.....	30
5.1.4.2	Lombricultura	32
5.1.4.3	Biodigestión o digestión anaerobia	34
5.2	Análisis comparativo de las tecnologías.....	35
6.	BIODIGESTIÓN COMO SOLUCION A LA PROBLEMÁTICA.....	37
6.1	Digestión anaeróbica	37
6.1.1	Etapas de la digestión anaeróbica:	38
6.1.1.1	Hidrolisis:	38
6.1.1.2	Acidogénesis:	38
6.1.1.3	Acetogenesis:.....	39
6.1.1.4	Metanogénesis:	39
6.1.2	Las principales bacterias involucradas en todas las etapas	40

6.1.2.1	Bacterias que participan de la hidrólisis	42
6.1.2.2	Bacterias que participan de la acidogénesis.....	42
6.1.2.3	Bacterias que participan de la acetogénesis	42
6.1.2.4	Bacterias que participan de la metanogénesis.....	43
6.1.3	Productos de la digestión anaeróbica	43
6.1.3.1	Biogás:	43
6.1.3.2	Lodos:	43
6.2	Biomasa.....	44
6.2.1	Composición de la materia orgánica	45
6.2.2	Clasificación según su apariencia física	47
6.2.3	Producción de biomasa.....	48
6.3	Biogás	50
6.3.1	Comparación del biogás con respecto a otros gases.....	51
6.3.2	Usos del biogás:.....	52

6.3.3	Parámetros significativos en la producción de biogás	54
6.3.3.1	Tiempo de retención hidráulico (TRH):	54
6.3.3.2	Temperatura:	55
6.3.3.3	Relación carbono nitrógeno:	56
6.3.3.4	Sólidos totales:	58
6.3.3.5	Nivel del pH:	59
6.4	Bioabono.....	61
6.4.1	Uso como acondicionador:.....	61
6.4.2	Uso como biofertilizante:.....	61
6.4.2.1	Biofertilizante en forma líquida	62
6.4.2.2	Biofertilizante en forma sólida	62
6.4.3	Comparación del bioabono con el compost	62
6.5	Biodigestores	63
6.5.1	Tipos de biodigestores	64

6.5.1.1	Digestores discontinuos	64
6.5.1.2	Digestores Semi continuos.....	65
6.5.1.3	Digestores Continuos:.....	65
6.5.2	Componentes de los biodigestores	65
6.5.2.1	Reactor	65
6.5.2.2	Entrada del afluente.	66
6.5.2.3	Salida del efluente.....	66
6.5.2.4	Extracción de lodos.....	66
6.5.2.5	Sistema de gas.....	66
6.5.2.6	Sistema de calentamiento del digestor	67
6.5.3	Modelos populares en el medio rural	67
6.5.3.1	Tipo Chino	67
6.5.3.2	Tipo Hindú	68
6.5.3.3	Tipo Horizontal.....	69

7.	DISEÑO PRELIMINAR DE LA SOLUCIÓN	70
7.1	Disponibilidad de recursos	70
7.2	Memoria de cálculo y parámetros de diseño	71
7.2.1	TRH:.....	72
7.2.2	Agua necesaria	73
7.2.3	Carga diaria	74
7.2.4	Biogás por producir.....	75
7.2.5	Biol producido.....	76
7.2.6	Volumen biodigestor.....	76
7.2.7	Temperatura en el biodigestor.....	77
7.2.8	Ahorro energético	77
7.3	Materiales y construcción del biodigestor	79
7.4	Operación del sistema de digestión anaeróbica.....	81
7.5	Layout de la instalación.....	82

8. ESTUDIO ECONÓMICO BÁSICO DE LA SOLUCIÓN.....	84
8.1 COSTOS	84
8.1.1 Costos de inversión.....	84
8.1.2 Costos de operación.....	86
8.2 BENEFICIOS	89
8.2.1 Ahorro energético biogás	89
8.2.2 Comercialización Biol	90
8.3 INDICADORES ECONÓMICOS	91
8.3.1 Flujo de caja	91
8.3.2 VAN	93
8.3.2.1 VAN opción A	93
8.3.2.2 VAN opción B	94
8.3.2.3 VAN opción C	94
8.3.3 TIR.....	95

8.3.3.1 TIR opción A.....	95
8.3.3.2 TIR opción B	95
9. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS	97
10. REFERENCIAS.....	100
ANEXOS	106
ANEXO A: Encuesta realizada en sectores rurales de Putaendo	106
ANEXO B: Ficha técnica fosa séptica horizontal 2500 L.....	111
ANEXO C: Cotización bidones 60 litros	112
ANEXO D: Ficha técnica bidón 60 litros	113
ANEXO E: Cotización de materiales varios para construcción.....	114
ANEXO F: Cotización Fosa Séptica Horizontal 2500 L.....	115
ANEXO G: Detalle Flujo de caja opción A con tasa 3% y 12%	116
ANEXO H: Detalle Flujo de caja opción B con tasa 3% y 12%.....	118
ANEXO I: Detalle Flujo de caja opción C con tasa 3% y 12%	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Distribución Urbano-Rural Putaendo.....	10
Tabla 4.1 Análisis comparativo de Perfiles en Zonas Rurales de Putaendo.....	22
Tabla 5.1 Análisis comparativo de las distintas tecnologías posibles a usar.....	35
Tabla 6.1 Bacterias involucradas en todas las etapas de la digestión anaeróbica	40
Tabla 6.2 Naturaleza de los distintos residuos	45
Tabla 6.3 Composición química de diversos residuos	46
Tabla 6.4 Compuesto y Producción.....	47
Tabla 6.5 Clasificación residuos según su apariencia física.....	48
Tabla 6.6 Producción de residuos.....	49
Tabla 6.7 Principales características del biogás	50
Tabla 6.8 Comparación metano con respecto a otros gases	51
Tabla 6.9 Capacidad del uso del biogás como combustible.....	53
Tabla 6.10 Tiempo de retención para distintos climas	54

Tabla 6.11 Relación carbono nitrógeno de distintos sustratos	57
Tabla 6.12 Porcentaje de sólidos totales para distintos sustratos.....	58
Tabla 6.13 Comparación de principales parámetros compost bioabono.....	62
Tabla 6.14 Análisis microbiológicos compost bioabono	63
Tabla 7.1 Disponibilidad de residuos.....	71
Tabla 7.2 Tiempo de retención para distintos tipos de fermentación	72
Tabla 7.3 Cantidad de agua requerida para biodigestores pequeña escala	74
Tabla 7.4 Producción de biogás de distintos residuos	75
Tabla 8.1 Costos construcción sistema de biodigestión.....	85
Tabla 8.2 Gastos adicionales de la inversión del proyecto	85
Tabla 8.3 Costos de inversión del Proyecto	86
Tabla 8.4 Costos de operación para un sistema de biodigestión.....	87
Tabla 8.5 Costos de operación del Proyecto opción A	88
Tabla 8.6 Costos de operación del Proyecto opción B.....	88

Tabla 8.7 Costos de operación del Proyecto opción C	88
Tabla 8.8 Ahorro energético de gas de biodigestor a diseñar.....	89
Tabla 8.9 Biol a producir y su equivalencia en pesos	90
Tabla 8.10 Equivalencia en pesos de la generación de Biol de todo el proyecto.....	91
Tabla 8.11 Tasa de Descuento para Proyectos Sociales	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Logo Fundación Ecosan	5
Figura 3.2 Mapa de la región de Valparaíso	6
Figura 3.3 Climograma Putaendo	8
Figura 3.4 Río Putaendo.....	10
Figura 3.5 Distribución porcentual Urbano Rural Putaendo.....	11
Figura 4.1 Proceso Metodo de cuarteo.....	13
Figura 4.2 Esquema método de cuarteo	14
Figura 4.3 Sector las Minillas Putaendo	16
Figura 4.4 Basura doméstica sector las Minillas, Putaendo.....	17
Figura 4.5 Sector Los Patos, Putaendo.....	18
Figura 4.6 Distribución Urbano- Rural con perfiles asociados.....	19
Figura 4.7 Párrafo extraído de licitación ofrecida por Municipalidad de Putaendo ...	20
Figura 4.8 Aplicación de método de cuarteo en Putaendo.....	21

Figura 4.9 Balanza usada para cálculo de densidad de basura	21
Figura 5.1 Esquema Alternativas de tratamiento de Residuos Sólidos	25
Figura 5.2 Máquina compactadora de residuos	28
Figura 5.3 Separación magnética de residuos	28
Figura 5.4 Entrada a un horno incinerador	29
Figura 5.5 Compostaje hecho a partir de residuos domiciliarios	31
Figura 5.6 Lombrices especiales para Lombricultura	33
Figura 5.7 Esquema de sistema de digestión anaeróbica	34
Figura 6.1 Esquema de la Digestión Anaeróbica	44
Figura 6.2 Reacción química de la producción de biogás	50
Figura 6.3 Reacción química al momento de usar el metano	52
Figura 6.4 Producción de gas en función de la temperatura.....	55
Figura 6.5 Actividad bacteriana en función del Ph	60
Figura 6.6 Esquema planta de biogás	64

Figura 6.7 Esquema biodigestor tipo chino.....	68
Figura 6.8 Esquema biodigestor tipo hindú	68
Figura 6.9 Esquema biodigestor tipo horizontal	69
Figura 7.1 Reactor para el sistema de biodigestión	79
Figura 7.2 Cámaras de carga y descarga del sistema de biodigestión	80
Figura 7.3 Materiales varios para el sistema de biodigestión	80
Figura 7.4 Distribución de los principales componentes del biodigestor	83

SIMBOLOGÍA

DIDECO = Dirección de Desarrollo Comunal

PLADECO = Plan de Desarrollo Comunal

TRH = Tiempo de Retención Hidráulico

W = Agua Necesaria

C = Carga del sistema de Biodigestión

G = Gas por producir del sistema de Biodigestión

B = Biol por producir del sistema de Biodigestión

V_d = Volumen reactor del Biodigestor

V_g = Volumen adicional del gas para el sistema de Biodigestión

VAN = Valor Actual Neto

TIR = Tasa Interna de Retorno

1. INTRODUCCIÓN

Los residuos pueden ser considerados exclusivamente como un concepto humano ya que en la naturaleza no existe tal realidad, como por ejemplo para el Parlamento Europeo el término residuo es considerado para cualquier “sustancia u objeto del cual su poseedor se desprenda o tenga la intención u obligación de desprenderse” [1]. Los desechos producidos por un proceso natural son de alguna forma aprovechados por otro ciclo propio de la naturaleza y por los organismos. El concepto se emplea como sinónimo de basura por hacer referencia a los desechos que el hombre ha producido [2].

Para combatir la generación de residuos el reciclaje es una alternativa más de las que contribuye al balance y equilibrio en ambiente natural. Esto es denominado el ciclo de vida de los ecosistemas y asegura la estabilidad y sostenibilidad en los sistemas nativos. Por otro lado, existen sistemas hechos por el hombre que hacen hincapié en el valor económico de los materiales y la energía, y donde la producción y el consumo son la actividad económica dominante [2]. Tales sistemas son inmensamente destructivos para el medio ambiente ya que, aparte de necesitar una gran cantidad de capital natural y energía, los desechos son devueltos al medio en una forma que provocan daños [3].

En el caso particular de la digestión anaeróbica, esta es una tecnología de solución a los residuos, amigable con el medio ambiente la cual aprovecha los desechos orgánicos y genera productos beneficiosos para zonas rurales como el biogás y bioabono [4]. Y es materia de estudio en el siguiente trabajo

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es generar una propuesta de autogestión sostenible para familias rurales en base a la generación de sus residuos, en la comuna de Putaendo.

2.2 Objetivos específicos

Para cumplir el propósito antes señalado se deben abordar los siguientes objetivos específicos:

- Identificar el perfil de usuario al que se desea enfocar la solución evaluando la necesidad de autogestión de sus residuos.
- Caracterizar la problemática general, los residuos y el consumo energético en el lugar donde abordar la solución.
- Evaluar las posibles tecnologías o tratamientos existentes como solución a la problemática.
- Planificar y diseñar un prototipo funcional acorde a la muestra seleccionada.
- Establecer los principales costos y beneficios asociados al diseño de la solución.

3. LA PROBLEMÁTICA

La presencia de residuos es una indicación de un consumo excesivo y que los materiales no están siendo utilizados de manera eficiente. Esto provocará una reducción en la capacidad de la Tierra para suministrar nuevas materias primas en el futuro cercano [3]. La capacidad del medio natural para absorber y procesar estos materiales también está bajo tensión. Los valiosos recursos en forma de materia y energía se pierden durante la eliminación de los desechos, lo que requiere una mayor carga sobre los ecosistemas para proporcionarlos [4]. El principal problema es el gran volumen de residuos que se están produciendo y cómo se trata con él [3].

Generalmente en zonas rurales, la gestión de recolección de residuos no es muy periódica, lo cual hace que las personas en aquellos sectores le den solución a esta problemática en base a sus recursos o simplemente no se le da solución generando basurales en lugares no correspondientes [5].

3.1 Desafío

El desafío planteado por la fundación ECOSAN, enmarcado dentro del Programa “Memorias Multidisciplinarias” de la Universidad Técnica Federico Santa María, se centra en la población rural de Chile, personas que se encuentran ajenos a los servicios de alcantarillado o recolección periódica de residuos domiciliarios. Esto no es resuelto debido a la intermitencia o ausencia de servicios municipales y por la falta de conocimientos, entre otros motivos [6].

Es por esto, que la acumulación de desechos provoca un problema de contaminación y salubridad que debe ser solucionado para mejorar la calidad de vida de estas familias

las cuales pertenecen a un nicho reducido y no son atractivas para las empresas del rubro.

Actualmente la población rural no resuelve este problema, y optan por alternativas para reducir el volumen de sus desechos mediante la quema y el entierro de estos. De esta manera, se debe generar una propuesta de autogestión sostenible para familias rurales, enfocado en el manejo de estos residuos domiciliarios.

El desafío para trabajar fue: *¿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?* [6].

El desafío se abarcó mediante una propuesta de investigación con un trabajo en conjunto con la fundación.

3.2 Ecosan

La Fundación Ecosan aborda el desarrollo sostenible desde el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente, como pilares interdependientes que se refuerzan mutuamente. Entiende un modelo de saneamiento sostenible de forma holística, que, en orden para ser sostenible, además debe ser socialmente aceptable, tecnológicamente apropiado y económicamente viable [7]. Comprende el manejo sanitario del agua potable, las aguas residuales y excretas, los residuos sólidos y su reducción, reutilización y/o reciclaje, el comportamiento higiénico, entre otros que reduzcan los riesgos para la salud, prevengan la contaminación y favorezcan el uso sostenible de los recursos [7].

La Fundación ECOSAN posee una línea de productos y servicios orientada a la gestión de residuos humanos. El principal usuario se define como una familia rural de zonas dispersas, de preferencia de escasos recursos o con un alto interés por el respeto al medio ambiente [7]. En la historia de vida de la Fundación, ha reconocido este usuario otro aspecto no resuelto, la gestión de residuos domésticos, generado desde el cuarto de cocina y por las actividades de granja para consumo personal. Esto no es resuelto por la intermitencia o ausencia de servicios municipales y por la falta de conocimientos, entre otros motivos. Se plantea diseñar y testear una propuesta que resuelva la autogestión sostenible, familiar o comunitaria, de los residuos domésticos con foco en el usuario de la fundación [7].



Figura 3.1 Logo Fundación Ecosan [7].

3.3 Zona escogida: Putaendo

La Fundación ECOSAN solicitó realizar un análisis e investigación con un material de trabajo recopilado en terreno, siendo de libre elección, con la única condición de que sea 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.

3.3.1 Ubicación

La ciudad de Putaendo se encuentra en la V región y pertenece a la Provincia de San Felipe de Aconcagua, es la comuna más grande de la provincia y se caracteriza por tener un gran porcentaje de población rural. 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 [8].



Figura 3.2 Mapa de la región de Valparaíso [8]

3.3.2 Clima

El valle de Putaendo al igual que todas las comunas de San Felipe posee un clima mediterráneo, con un invierno muy marcado con muchas precipitaciones y un verano prolongado y seco [9]. El período de lluvias está concentrado entre los meses de mayo y agosto, con magnitudes entre los 250 y 450 mm anuales [9]. El período seco es de 8 meses. En invierno cae el 70% de las precipitaciones anuales y durante los meses de verano solamente el 2 % [9].

Las perturbaciones ciclónicas que originan las precipitaciones traen asociados vientos de componente no en los niveles intermedios y altos del valle, intensificado las precipitaciones en las laderas expuestas en esta dirección [9].

La humedad del aire está principalmente influenciada por la distancia al océano y el relieve característico de la zona. Teniendo veranos con humedad relativa homogénea, entre 55 y 65%, mientras que en invierno oscila entre 60% en su sector oriental y 80% en el occidental [9].

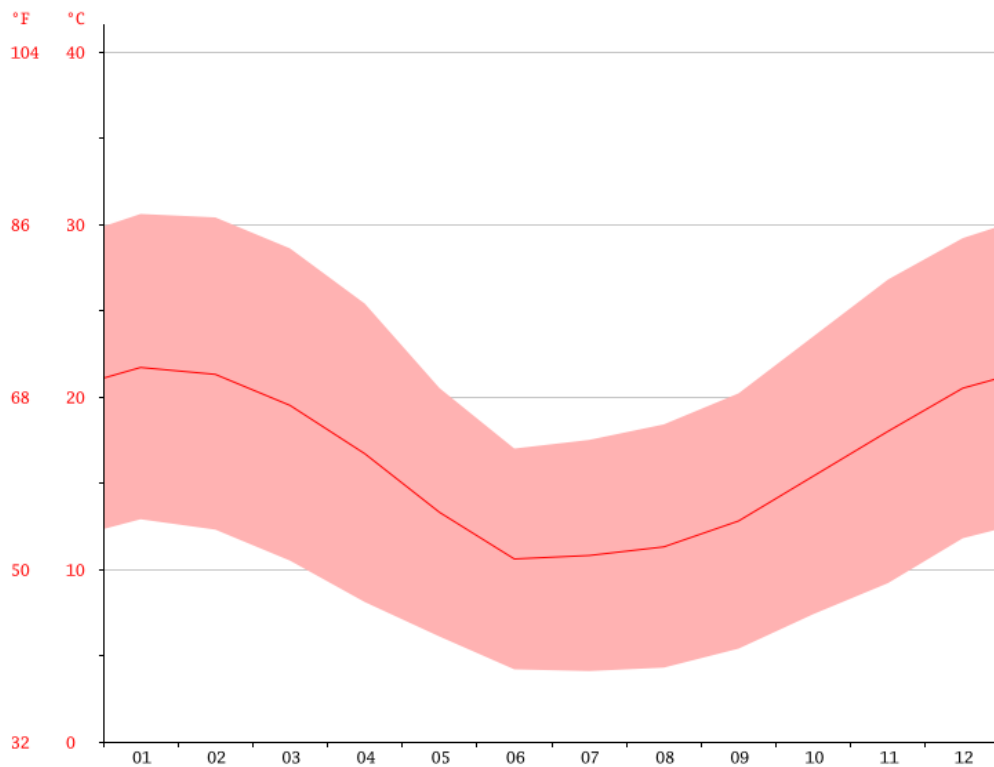


Figura 3.3 Climograma Putaendo [10]

La temperatura del aire, también determinada por el relieve y la distancia al océano, y presenta las siguientes características:

- Temperatura media anual de 16° C
- Oscilación anual que supera los 12° C.
- Las temperaturas máximas diarias en verano superan los 32° C. mientras que en invierno llegan a 17 ° C.
- Las temperaturas mínimas registradas en invierno son cercanas a los 2,5 ° C., con una oscilación de 8° C [10].

3.3.3 Suelos

En la zona se han desarrollado suelos con un mayor potencial frutícola y agrícola. Se han formado por sedimentos depositados en forma de planicies aluviales o corrientes de barro, que han sido posteriormente remodelados por los ríos [11]. Estos suelos se caracterizan, en general, por presentar perfiles profundos, bien estructurados, de texturas moderadamente finas a finas, de topografía plana a suavemente ondulada, bien drenados y con buena capacidad de retención de humedad [11].

3.3.4 Demografía

La comuna de Putaendo poseía en 2002 una población total de 14.649 personas, de las cuales 7.344 eran hombres y 7.305 mujeres. La población urbana ascendía a los 7.214 individuos, agrupándose todos ellos en la localidad homónima, mientras que los que vivían en la ruralidad correspondían a 7.435 personas [11]. En cuanto a la religión, la comuna destaca por ser en su mayoría católica, alcanzando el 83,1% del total, debido principalmente a la notable asimilación que tuvieron las costumbres españolas en la zona. Por su parte, el conjunto complementario está integrado principalmente por el credo evangélico y la dualidad ateo-agnóstica, representado el 5,87% y el 4,99% respectivamente, siendo el porcentaje restante una miscelánea de varias religiones de representatividad menor [11].

3.3.5 Hidrología

El río Putaendo nace de la confluencia de los ríos Rocín e Hidalgo, con aportes del Estero Chalaco, a la altura del Resguardo Los Patos. El río se orienta de norte a sur para desembocar en el Aconcagua, tramo este último que se caracteriza por ser altamente permeable, siendo una zona de recarga del acuífero [9].



Figura 3.4 Río Putaendo [12].

3.3.6 Sectores Urbanos y Rurales

La comuna de Putaendo tiene 16.754 habitantes [13]. El sector rural abarca el 54% total de la población de Putaendo, es decir aproximadamente la mitad de la comuna. Siendo las localidades de Las Minillas y El Manzano los lugares más alejados de la zona urbana y los sectores de: Los Patos, Casa Blanca, Población Hidalgo, Rinconada de Guzmanes los más cercanos [13].

Tabla 3.1 Distribución Urbano-Rural Putaendo [13].

	Subsector	Zona	Habitantes 2012
Putaendo centro	Putaendo Urbano	Urbano	6715
	Brasil	Rural	
	Sahonde	Rural	
	Juan Rozas	Rural	

Quebrada de Herrera	Quebrada Herrera	Rural	1375
	Las Compuertas	Rural	
	Calle Ortiz	Rural	
Las Coimas	Las Coimas	Rural	1198
Rinconada de Silva	Rinconada de Silva	Rural	1751
	La Orilla	Rural	
	Tabolango	Rural	
Granallas	Granallas	Rural	1002
Rinconada de Guzman	Rinconada de Guzmanes	Rural	798
Piguchén	Piguchen	Rural	809
	Población Hidalgo	Rural	
Lo Vicuña	Lo Vicuña	Rural	1375
	El Tartaro	Rural	
	Casa Blanca	Rural	
	Los Patos	Rural	
	El Manzano	Rural	90
	Las Minillas	Rural	

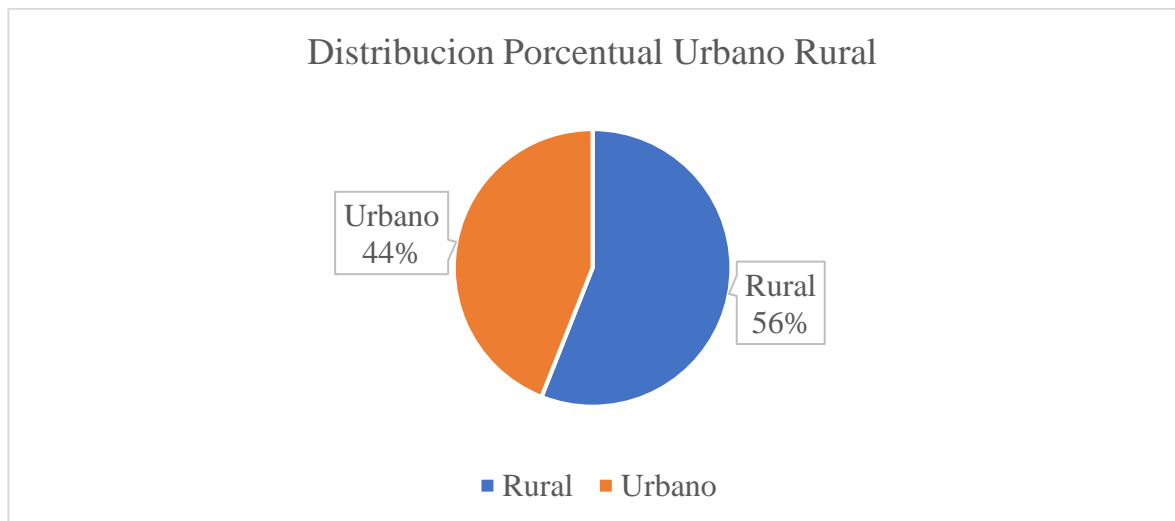


Figura 3.5 Distribución porcentual Urbano Rural Putaendo

4. CARACTERIZACIÓN DEL PROBLEMA

4.1 Metodologías de levantamiento de información

Como propósito de investigación, la fundación ECOSAN solicitó realizar un levantamiento de información en terreno contemplando metodologías de trabajo que dieran a conocer datos útiles en el desafío tales como: datos generales de la localidad, datos generales del municipio, datos generales de las familias y datos generales de los residuos.

4.1.1 Encuesta

Se efectuó una encuesta (Anexo A) con el propósito de tener información de carácter social económica y ambiental de una fuente real y reciente de los lugares por analizar y así tener una observación no directa de la situación, sino por medio de lo que manifiestan los entrevistados. Esta encuesta se encuentra basada en algunas ya realizadas por el ministerio de vivienda y organismo. Se realizó en una muestra significativa de los sectores rurales de Putaendo y contiene un cuestionario con preguntas normalizadas de carácter social, económico y ambiental, para así conseguir una recopilación de datos importantes para el desarrollo de una solución.

4.1.2 Reuniones Municipalidad

Se efectuaron diversas entrevistas con entes de la municipalidad de la comuna de Putaendo, teniendo encuentros con DIDECO (Dirección del Desarrollo Comunal), con

PLADECO (Plan del Desarrollo Comunal) y con gente de la municipalidad con cargos asociados a los gastos debidos a la recolección de residuos.

- Fabián Muñoz (Administrador Municipal)
- Marcia Rojas (Directora DiDeco)
- Dario Cuevas (Pladeco)

4.1.3 Método de cuarteo

El método es una metodología en la cual se puede caracterizar físicamente una muestra determinada. Teniendo como objetivo tener un análisis en una porción homogénea de la muestra [14].

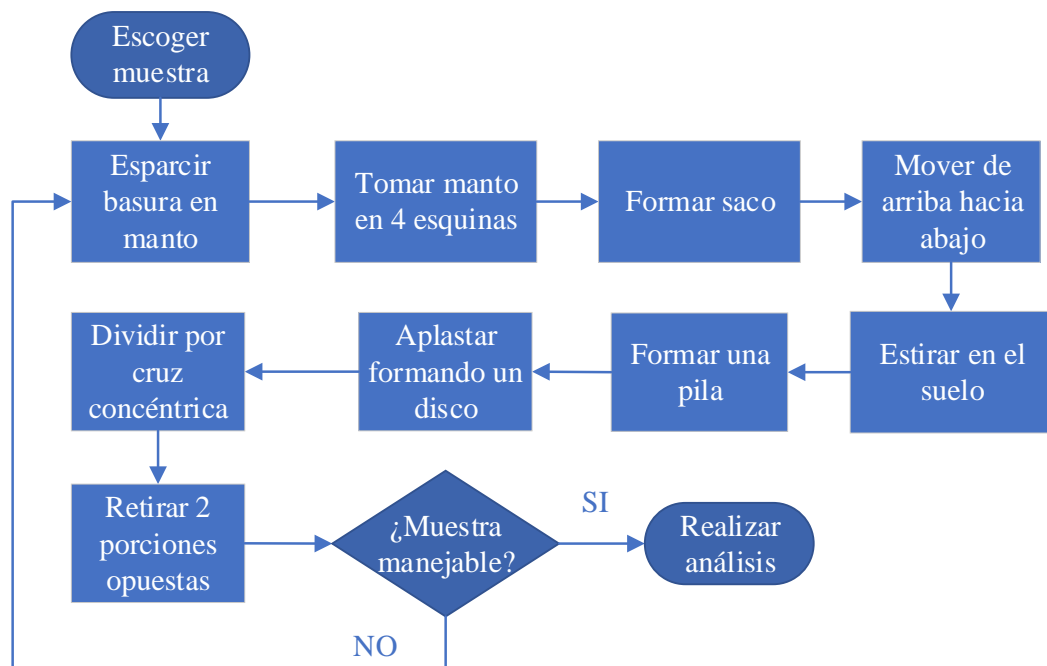


Figura 4.1 Proceso Metodo de cuarteo

El Procedimiento para realizar esta técnica es:

- Se toma una cantidad de los residuos sólidos por analizar y se vacía formando un montón o pila sobre un área plana horizontal.
- El montón de los residuos sólidos se traspalea hasta homogeneizarlos, se divide en cuatro partes iguales A, B, C, D y se eliminan las partes opuestas A y C o B y D. repitiendo este procedimiento hasta llegar a una muestra manejable
- Con las partes eliminadas del primer cuarteo se realizan análisis físicos, químicos y biológicos y con el resto se determina la densidad de la basura [14].

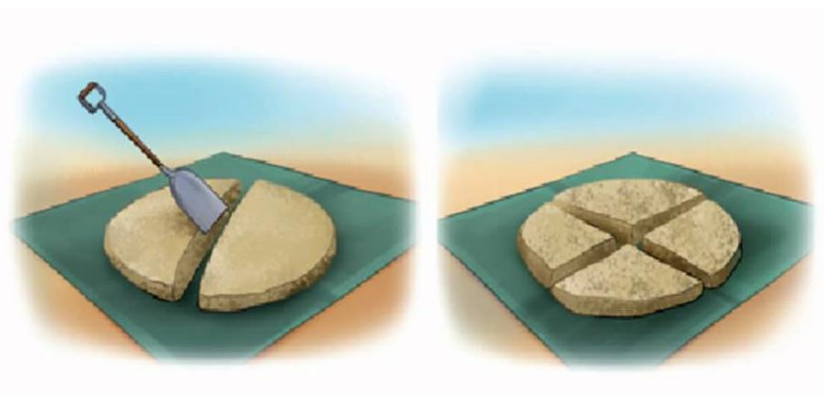


Figura 4.2 Esquema método de cuarteo [14].

Implementos:

- Báscula de piso
- Bolsas de polietileno
- Palas
- Guantes
- Escobas
- Mascarillas protectoras
- Papelería y varios

4.2 Resultados obtenidos

Luego de realizar las encuestas en terreno a 20 familias en distintos lugares rurales de Putaendo, se confirma que existen dos tipos muy marcados de familias distinguidos por su cercanía a la ciudad y la periodicidad en la recolección de sus desechos. Por un lado, existen las familias rurales de aislamiento extremo que tienen una recolección anual o 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.

Se logró obtener datos económicos fundamentales de parte de la municipalidad, en relación con la importancia que esta le da a la recolección de basura y el dinero dispuesto a invertirse en la gestión de los residuos

También se realizó una caracterización de los residuos en las zonas encuestadas mediante el método de cuarteo

4.2.1 Perfiles según recolección de basura

Como resultado de las encuestas, como se mencionó anteriormente se confirma que existen dos tipos de perfiles de familias, un perfil con una baja recolección de sus residuos y otro perfil con una recolección prácticamente nula de sus residuos.

4.2.1.1 Perfil 1:

Este perfil está presente en las localidades de El Manzano y Las Minillas. Este perfil de familia presenta pequeñas comunidades agrupadas en unas cuantas viviendas que cuentan con los servicios básicos gracias a la existencia de paneles solares que brinda

energía eléctrica además de vertientes naturales que proporcionan el agua para el consumo humano y animal.

El alcantarillado no existe en estas comunidades, el baño se conforma de una letrina o pozo negro, además el paso del camión recolector de basura es una vez cada un año.

Por otra parte, su 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, las cuales en el día recorren libres los distintos cerros del sector para luego en las noches pernoctar en los corrales que las familias han habilitado para ese fin.



Figura 4.3 Sector las Minillas Putaendo

Luego de las entrevistas realizadas se concluye que la dolencia de las familias no se encuentra tanto en la generación de basura propia, pues tiene planes que permiten su

incineración, entierro y en algunos casos también sirven como alimento para los animales que poseen cuando se trata de basura orgánica. Pero si tienen una dolencia en la muerte de su principal fuente económica (las cabras) que según su propia investigación se debe a la mala alimentación de estas, ya que se mueren la mayor parte de las veces al buscar alimentos en la basura que está contenida en bolsas de nylon.

Por otro lado, su consumo de glp (cilindro de gas) es de uno cada dos meses.



Figura 4.4 Basura doméstica sector las Minillas, Putaendo

4.2.1.2 Perfil 2:

Este perfil de familias se presenta para las localidades de: Los Patos, Casa Blanca, Población Hidalgo, Rinconada de Guzman. El perfil de estas familias se centra en que son una comunidad más poblada que la anterior, es por este motivo que la densidad poblacional de este perfil es mayor. A diferencia del perfil anterior 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.

Las familias encuestadas de este sector cuentan con agua potable y electricidad de forma permanente, no así el alcantarillado que no está ni siquiera en los planes municipales para el desarrollo del sector.

Por otro lado, su consumo de glp (cilindro de gas) es de uno cada mes.



Figura 4.5 Sector Los Patos, Putaendo

Al contrario, con el perfil anterior, estas familias tienen pocas y casi nulas posibilidades de enterrar o quemar la basura producida en su domicilio ya que una quema de basuras

provoca la inmediata contaminación del vecino además de los reclamos fundamentados de este. Otra opción que se puede barajar, pero no se realiza es el poder enterrar los residuos domésticos, esto no ocurre pues, como se mencionó anteriormente, los terrenos son acotados y por lo tanto enterrar la basura genera una contaminación al terreno que está muy cercano a las casas.

La distribución está dada por el siguiente gráfico:

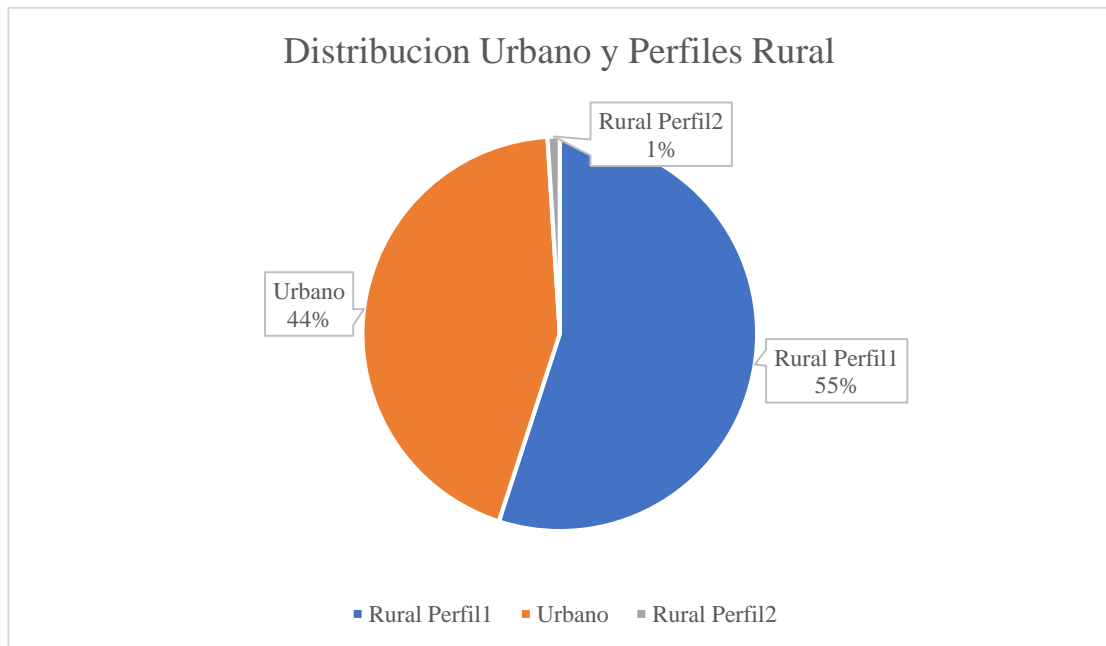


Figura 4.6 Distribución Urbano- Rural con perfiles asociados

En donde el 55% de la población total de Putaendo pertenece a perfil 2 determinado por las encuestas, además solo el 1% de la población pertenece al perfil 1. El 44% restante es considerado como población urbana.

4.2.2 Gastos municipales

Según la información otorgada por la municipalidad de Putaendo con relación a la recolección de los residuos domiciliarios se observa que en el área urbana se presenta una mayor importancia ya que tiene una mayor periodicidad 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.

Presupuesto Disponible y Plazo del Contrato de los Servicios

El presupuesto disponible anual año 1 es la suma de \$ 120.496.528.- Impuesto incluido. (Ciento veinte millones cuatrocientos noventa y seis mil quinientos veintiocho pesos, Impuesto incluido).
La contratación de los servicios señalados en las respectivas Especificaciones Técnicas tendrá una duración a de CINCO (5) años a contar de la fecha de firma del contrato mas treinta días.

Figura 4.7 Párrafo extraído de licitación ofrecida por Municipalidad de Putaendo

El presupuesto municipal anual destinado a la recolección de residuos fue de \$120.496.528.

4.2.3 Caracterización de la basura

También se pudo realizar una caracterización de los residuos en las zonas encuestadas mediante el método de cuarteo.



Figura 4.8 Aplicación de método de cuarteo en Putaendo

Como resultado por parte del método de cuarteo realizado en el lugar donde se presentaba más población. Para una masa de 3025 gramos, se obtuvo que la muestra representativa de residuos correspondiente a 198 gramos tenía un 70% de materia orgánica correspondiente a restos de alimentos y un 30 % de materia inorgánica correspondiente a papeles, cartones y vidrios. Además de determinar la densidad de la basura en el valor de 0,28 [gramos/cm³].



Figura 4.9 Balanza usada para cálculo de densidad de basura

4.2.4 Análisis general de zonas encuestadas

Tabla 4.1 Análisis comparativo de Perfiles en Zonas Rurales de Putaendo

	Perfil 1	Perfil 2
Densidad poblacional	Muy baja	Baja
% de la población total	1 %	55 %
Electricidad	Paneles solares	Red
Agua	Vertiente 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)	Agronomía
Ingreso mensual	\$215.000	\$285.000
Principal preocupación	Muerte de cabras	Acumulación de basura
Recolección de basura	Nula	1 vez al mes

El perfil donde se diseñará la solución será el perfil 1, principalmente debido a que abarca una mayor cantidad de población, además cuenta con una más cantidad de recursos y en el lugar se pueden llevar acabo todas las tecnologías a evaluar en el siguiente capítulo.

5. ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS

Se requerirá de una tecnología o tratamiento como solución para una mejor gestión de residuos sólidos. Por lo tanto, se debe analizar los posibles tratamientos y tecnologías existentes para llevar a cabo la más indicada en la zona afectada.

5.1 Alternativas de tratamientos y tecnologías de residuos sólidos

Para el manejo de residuos sólidos que pueden ser aprovechables existen 4 posibles tratamientos o tecnologías: Reciclaje, Reducción procesamiento y separación, Tratamientos térmicos y Tratamientos químicos biológicos [15]. Con frecuencia se ofrecen tecnologías que prometen terminar con el problema de la basura. Sin embargo, por lo general estas soluciones tecnológicas sólo se encargan de algunos componentes de los residuos sólidos domiciliarios, sin indicar al usuario qué hacer con los restantes componentes [15].

La adopción de una o más alternativas deberá tener un fuerte respaldo técnico, social, ambiental y económico que justifique la decisión. Para diseñar así una solución sostenible acorde a las condiciones de cada localidad. En general, en cada aspecto debe considerarse lo siguiente [15]:

Aspectos ambientales: la respuesta tecnológica del servicio de aseo debe reflejar la disminución o control del impacto ambiental, por medio del establecimiento de métodos y tecnologías que no representen riesgo a la salud de las personas ni al medio ambiente.

Aspectos técnicos: debe asegurarse el adecuado desarrollo de las tecnologías, de acuerdo con los recursos locales, tanto humano como físico, estableciendo el nivel de servicio en armonía con las características de la localidad [15].

Aspectos socioculturales: la participación de la comunidad en la gestión integral de residuos sólidos contribuye con el éxito de las tecnologías; esta participación está dirigida a la disminución en su producción, el reuso, la separación, y el empleo de subproductos recuperados [15].

Aspectos económicos y financieros: la evaluación de los costos e ingresos asociados a cada tecnología por medio de un análisis económico y financiero determina su sostenibilidad en términos económicos [15].

El siguiente esquema muestra el camino hacia la disposición final de los residuos. Considera residuos orgánicos e inorgánicos y sus posibles tecnologías para tratamientos.

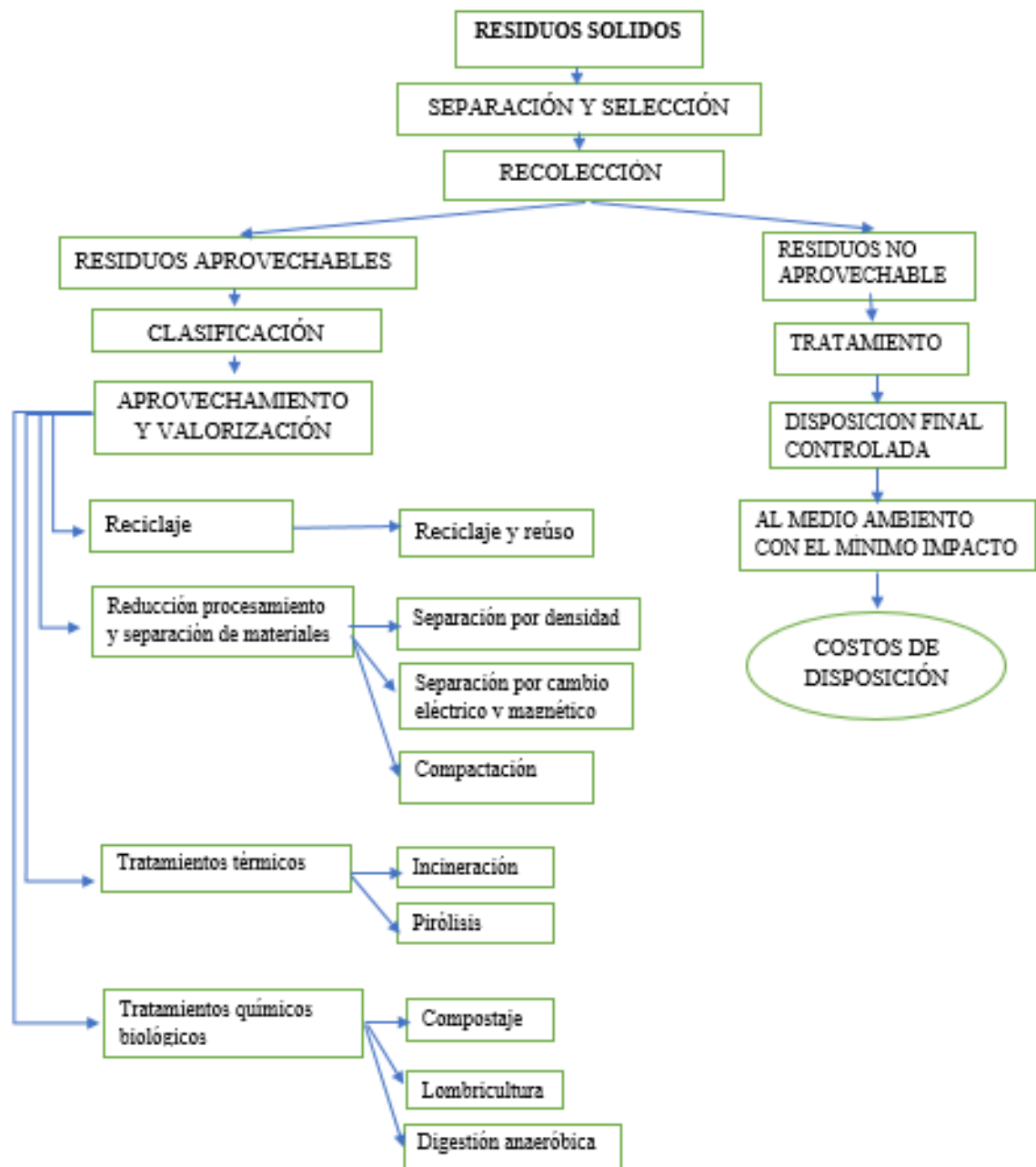


Figura 5.1 Esquema Alternativas de tratamiento de Residuos Sólidos [15]

5.1.1 Reciclaje

El reciclaje es el tratamiento más conocido aplicado a la gestión de residuos sólidos, se basa en reducir, reutilizar y transformar [16].

Reducir la cantidad de residuos generados innecesariamente. Esto se puede lograr, con soluciones a grandes escalas, educando y creando conciencia sobre la importancia de reducir el uso de materiales no reutilizables, de esta forma bajan las cantidades de estos desechos que demoran años en su degradación. Otra alternativa, es empezar hacer pequeñas acciones, que se van sumando al mismo fin, como es empezar a reemplazar el uso de bolsas plásticas por género [16].

Reutilizar los elementos que varias veces se consideran como desechos sacándole el mayor provecho posible. Para lograr reutilizar materiales que pueden ser contaminantes, es necesario realizar como primera medida, un beneficio social, tanto en talleres comunitarios o un beneficio económico, para dar el incentivo necesario para movilizarse en este aspecto [16].

Transformar la materia prima considerada como desecho en algo útil distinto a la función inicial que este objeto cumplía. Para este factor, se necesita una mayor capacitación para las personas, una entidad interesada en el medio ambiente y un plan de reciclaje óptimo, que puede generar un beneficio económico e incentivo para su realización [16].

5.1.2 Reducción, procesamiento y separación

Esta tecnología está basada en aprovechar las propiedades físicas de los residuos [15].

5.1.2.1 Compactación

Esta tecnología se debe realizar posterior a un proceso de separación y lo que se busca con ella es disminuir el volumen de los residuos sólidos generados aumentando la densidad de ellos compactándola mediante presión. La disponibilidad decreciente del espacio de vertederos y los gastos crecientes por la eliminación de residuos, debido a las medidas de protección ambiental, muestran que la compactación de residuos sólidos está ganando cada vez más importancia, y es considerada como la fase más relevante en este tipo de problemas [17]. Con la compactación se logra facilitar entre otras las tareas de transporte y almacenamiento de los residuos sólidos, reduciendo 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 [17].



Figura 5.2 Máquina compactadora de residuos

5.1.2.2 Separación por cambio eléctrico o magnético

El método consiste en acercar un imán a la mezcla a fin de generar un campo magnético, que atraiga al compuesto ferroso dejando solamente al material no ferroso en el contenedor. Un ejemplo es el azufre mezclado con limaduras de hierro [18].



Figura 5.3 Separación magnética de residuos

5.1.3 Tratamientos térmicos

5.1.3.1 Incineración

La incineración es la combustión completa de los residuos sólidos. La incineración se lleva a cabo hornos mediante oxidación química en exceso de oxígeno. Mayoritariamente se usa este tratamiento para la destrucción de alguna información, eliminar residuos hospitalarios y para residuos [19]. Los productos de la combustión son cenizas, gases, partículas tóxicas y algunas con efectos cancerígenos, también energía calórica, que puede utilizarse para generar energía eléctrica. La principal característica de este tratamiento es que reduce el volumen de los residuos en un 90% [19].



Figura 5.4 Entrada a un horno incinerador

5.1.3.2 Pirolisis

La pirólisis es un proceso térmico donde la materia prima se descompone por la acción del calor, en ausencia de oxígeno mediante una fuente externa. 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 (char), líquido y gas [20]. Las proporciones relativas de los mismos dependerán de la temperatura a la que sean expuestos los residuos, el tiempo de exposición y la propia naturaleza de los residuos a tratar. Una exposición prolongada a temperaturas moderadas maximizará la producción de char, mientras que la pirólisis “flash” proporcionará un producto líquido en torno al 80% en peso [20].

5.1.4 Tratamientos biológicos y químicos

5.1.4.1 Compostaje:

El compostaje es un proceso de transformación de la materia orgánica para obtener compost, un abono natural. Esta transformación se lleva a cabo en cualquier lugar mediante un compostador, sin ningún tipo de mecanismo, ningún motor ni ningún gasto de mantenimiento [21]. La basura diaria que se genera en los hogares contiene comúnmente un 70 % de materia orgánica, que puede ser rehusada y retornada a la tierra en forma de humus para las plantas y cultivos [21].

De esta manera se contribuye a la reducción de las basuras que se llevan a los vertederos o a las plantas de valorización. Al mismo tiempo se consigue reducir el consumo de abonos químicos [21].



Figura 5.5 Compostaje hecho a partir de residuos domiciliarios

Ventajas:

- Ideal para poblaciones pequeñas, ya que se hace más fácil manejar los residuos sólidos.
- Se puede operar de forma manual.
- 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.
- Disminuye volúmenes de residuos en rellenos sanitarios
- El proceso genera un producto que permite acondicionar suelos

Desventajas:

- Se requiere de separación previa de los residuos
- Generación de olores

- El proceso es sensible a la contaminación por presencia de materiales como plásticos y metales por lo que es necesaria una separación cuidadosa
- Riesgo por emisión de metano no apropiadamente manejadas

5.1.4.2 Lombricultura

Se llama lombricultura a las diversas operaciones relacionadas con la cría y producción de lombrices. Las lombrices específicamente la especie *Eisenia Foetida*, comúnmente conocida como lombriz roja californiana se puede utilizar para el tratamiento de residuos orgánicos tales como los restos de frutas y verduras, guano etc. [22]. La lombriz ingiere estos residuos reciclándolos y transformándolos en un excelente abono orgánico, llamado Humus de Lombriz o Lombricompuesto. El criadero de las lombrices se comienza en las cunas o canteros. El alimento húmedo requiere una etapa previa de preparación, pH cercano al óptimo, una temperatura entre 20° y 30°C y humedad alrededor del 70% [22].

Después de tres meses aproximadamente se trasladan las lombrices al lecho para la producción de humus. Este puede ser de madera con perforaciones en el fondo para eliminar el exceso de agua o sin fondo directo sobre la tierra. Las lombrices se van alimentando desde abajo hacia arriba del lecho, por lo que de abajo hacia arriba se va observando el avance de producción de humus [22]. Es importante mantener la humedad ya que por esta condición la lombriz se alimenta mejor. Su boca no tiene mandíbulas ni dientes. En la parte superior de la apertura bucal se sitúa el prostomio, un repliegue en forma de labio. Después de 3 a 4 meses ya se puede comenzar a cosechar el humus. Para hacerlo hay que sacar las lombrices del lecho. Se recomienda dejar de alimentarlas cuando corresponda y dejar una trampa de comida [22].



Figura 5.6 Lombrices especiales para Lombricultura

Ventajas:

- Es recomendada para poblaciones pequeñas por la disponibilidad del área.
- Es un tratamiento económico en relación con otras tecnologías en las que se necesitan equipos costosos
- Puede ser desarrollada por las mismas personas, sin mano de obra extra

Desventajas:

- Se requiere de separación previa de los residuos
- Generación de olores
- Requiere mucho cuidado el mantener a las lombrices

5.1.4.3 Biodigestión o digestión anaerobia

La digestión anaeróbica o también llamada digestión anaerobia es un proceso en el cual a partir de la materia orgánica se genera una mezcla de gases con alto contenido de metano y un subproducto de lodos llamado bioabono. Es un proceso biológico complejo y de degradación, donde los sustratos ya sean residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas se convierten en productos útiles [23].

La digestión anaeróbica se caracteriza por realizarse en ausencia de oxígeno y es posible gracias a los microorganismos metanogénicos que desempeñan la función de enzimas respiratorias y, junto con las bacterias no metanogénicas, constituyen una cadena alimentaria que guarda relación con las cadenas enzimáticas de células aeróbicas [23].



Figura 5.7 Esquema de sistema de digestión anaeróbica

Ventajas:

- Reduce el volumen de residuos que va a disposición final
- Requiere poco espacio
- Puede generarse una planta a pequeña como a gran escala
- Son reducidos olores e impactos locales
- Producción de energía a partir de generación de biogás
- Lodo generado puede usarse como mejorador de suelo.
- Lodo generado se puede utilizar como abono

Desventajas:

- Tratamiento enfocado solo a la materia orgánica
- Requiere capacitación
- Requiere mantenimiento

5.2 Análisis comparativo de las tecnologías

La tabla 5.1 muestra a continuación un análisis comparativo, el cual permitió decidir cuál es la tecnología más adecuada a la situación que se está analizando.

Tabla 5.1 Análisis comparativo de las distintas tecnologías posibles a usar

TRATAMIENTO	TIPO DE RESIDUO	SE OBTIENE ENERGÍA	OPERACIÓN	COSTO	IMPACTO M.A.
Reciclaje					

Reciclaje	Orgánico e Inorgánico	No	Poco Compleja	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	Si	Poco Compleja	Bajo	Positivo
Lombricultura	Orgánico	Si	Muy Compleja	Medio	Positivo
Biodigestión	Orgánico	Si	Muy Compleja	Medio	Positivo

Se concluyó que la tecnología seleccionada tendría que ser la que abarcara la mayor parte de desechos, la que sea de manipulación accesible para el perfil de usuario y que sea de bajo o mediano costo debido al presupuesto ofrecido por la municipalidad para gestión de residuos. Por lo tanto, la biodigestión es la mejor opción de tratamiento de residuos para la zona en análisis, debido a que está al alcance del perfil de usuario y genera productos útiles e innovadores que pueden ser utilizados en la zona a partir de sus desechos orgánicos.

6. BIODIGESTIÓN COMO SOLUCION A LA PROBLEMÁTICA

La tecnología seleccionada es la digestión anaeróbica, por ser una alternativa novedosa y amigable con el medio ambiente, factor decisivo al momento de tomar el desafío de la Fundación Ecosan. También debido a las condiciones de la población, que cuenta con una mayor cantidad de residuos orgánicos que inorgánicos en sus desechos domiciliarios. Además, la mayoría de las familias tiene animales como principal actividad económica, una gran cantidad de animales que gracias a su disponibilidad de excretas fomentan la idea de usar un biodigestor.

6.1 Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica o también llamada digestión anaerobia es un proceso en el cual a partir de la materia orgánica se genera una mezcla de gases con alto contenido de metano y un subproducto de lodos llamado bioabono [23]. Es un proceso biológico complejo y de degradación, donde los sustratos ya sean residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas se convierten en productos útiles [23].

La digestión anaeróbica se caracteriza por realizarse en ausencia de oxígeno y es posible gracias a los microorganismos metanogénicos que desempeñan la función de enzimas respiratorias y, junto con las bacterias no metanogénicas, constituyen una cadena alimentaria que guarda relación con las cadenas enzimáticas de células aeróbicas [23].

6.1.1 Etapas de la digestión anaeróbica:

6.1.1.1 Hidrolisis:

La hidrólisis es el primer paso necesario para la degradación de los biopolímeros microbianos complejos en forma de biopartículas o moléculas más simples. Es decir, la materia orgánica formada por polímeros (como pueden ser las proteínas, carbohidratos y lípidos) es hidrolizada por la acción de enzimas producidas por bacterias hidrolíticas o excretadas por las bacterias fermentativas, transformándose en compuestos simples y solubles tales como: aminoácidos, glicéridos, péptidos (compuesto polímero o proteína formada por la unión de dos o más moléculas de aminoácidos) y azúcares [24]. En esta primera etapa se definen los posteriores alimentos para los futuros grupos de bacterias, también aquí se elimina cualquier traza de oxígeno disuelto que pueda quedar en la materia orgánica. Suele ser difícil la distinción entre esta fase y la de acidogénica (acidogénesis), puesto que algunas moléculas son absorbidas directamente por los microorganismos sin ser descompuestas, es decir, se forman directamente los ácidos volátiles simples. La etapa hidrolítica puede ser la etapa limitante de la velocidad del proceso global, sobre todo tratando residuos con alto contenido en sólidos [24].

6.1.1.2 Acidogénesis:

En esta etapa las bacterias formadoras de ácidos llamadas acidogénicas, producen varios compuestos simples o ácidos simples de cadena corta causados por la fermentación ácido-bacteriana, que serán los productos finales para el metabolismo anaerobio de las mismas [25]. Además del ácido acético que serán consumidos por las bacterias metanogénicas, se forman otros ácidos volátiles como hidrógeno y dióxido

de carbono, así como los compuestos propiónico y butírico, que tendrán que ser oxidados por bacterias acetogénicas a sustratos que puedan utilizar las metanogénicas [25].

6.1.1.3 Acetogenesis:

La acetogénesis es el proceso a través del cual bacterias anaerobias producen acetato a partir de diversas fuentes de energía (por ejemplo, hidrógeno) y de carbono (por ejemplo, dióxido de carbono). Las diferentes especies bacterianas que son capaces de realizar la acetogénesis se denominan colectivamente acetógenos [26]. Algunos de los productos formados por la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos, sin embargo, existen otros productos que necesitan ser transformados en productos más sencillos como los acetatos o hidrógeno a través de las bacterias acetogénicas. Los procesos acetogénicos necesitan de energía, por lo que necesitan ser ayudados por los organismos metanogénicos u otros organismos consumidores de hidrógeno y la energía libre de reacción depende de la presión parcial de hidrógeno del medio [26].

6.1.1.4 Metanogénesis:

En esta etapa, los últimos compuestos son tomados dentro de las células bacteriales metanogénicas convirtiéndolos en metano y excretándolo fuera de la célula [27]. Este es un periodo de digestión intensiva, de carácter de fermentación alcalina, en el cual hay una digestión de las materias resistentes, de las proteínas, de los aminoácidos, y de la celulosa; se caracteriza por la producción de sales de ácidos orgánicos y volúmenes de gas, en una mezcla donde hay un alto porcentaje de metano, y el resto corresponde a dióxido de carbono (CO₂) y nitrógeno. Las bacterias metanogénicas sólo pueden usar

un número limitado de sustratos para la formación de metano, éstos son CO₂, H₂, acetato, metanol, metilamina, y monóxido de carbono [27].

6.1.2 Las principales bacterias involucradas en todas las etapas

La siguiente tabla muestra las principales bacterias de la biodigestión, las cuales están involucradas en todas las etapas mencionadas anteriormente.

Tabla 6.1 Bacterias involucradas en todas las etapas de la digestión anaeróbica [28]

Taxonomía	Especies	Descripción	Metabolismo
Género: Acetobakterium	A. woodii A. paludosum	El género Acetobacter comprenden un grupo de bacilos Gram negativos, móviles que realizan una oxidación incompleta de alcoholes, produciendo una acumulación de ácidos orgánicos como productos finales.	Reducen autotróficamente compuestos poliméricos oligómeros, monómeros y CO ₂ , utilizando el hidrógeno como fuente de electrones. Estos microorganismos hacen posible la descomposición de los ácidos grasos y

			compuestos aromáticos.
Género: Eubacterium	E. rectale E. siraeum E. plautii E. cylindroides E. brachy E. desmolans E. callandrei E. limosum	El género Eubacterium consiste en un grupo de bacterias anaeróbicas obligadas Gram-positivas.	La mayoría de las Eubacteria sacaríticas producen butirato como el principal producto de su metabolismo. Muchas especies son capaces de descomponer sustratos complejos a través de mecanismos especiales. Algunas especies se desarrollan autotróficamente, por lo tanto, son capaces de cumplir funciones específicas en la descomposición anaeróbica.

6.1.2.1 Bacterias que participan de la hidrólisis

Los microorganismos de muchos géneros son los responsables de la hidrólisis. Entre estos destacan: Bacteroides, Lactobacillus, Propionibacterium, Sphingomonas, Sporobacterium, Megaspheera, Bifidobacterium[29].

6.1.2.2 Bacterias que participan de la acidogénesis

La mayoría de los microorganismos acidogénicos también participan de la hidrólisis. El género Clostridium, Paenibacillus y Ruminococcus están presentes en todas las fases del proceso de fermentación, pero son dominantes en la fase acidogénica [29]. El grupo Cytophaga-Flavobacterium-Bacteroides representa el segundo grupo más grande de microorganismos durante las dos primeras fases de la descomposición. Sin embargo, en la fase metanogénica representan menos del 5% del total de microorganismos. Esto indica que estos grupos son los principales responsables de la degradación de compuestos monoméricos [29].

6.1.2.3 Bacterias que participan de la acetogénesis

Estas bacterias sólo pueden sobrevivir en simbiosis con el género que consume hidrógeno. Todos los microorganismos acetogénicos tienen un período de regeneración de hasta 84 h. Las bacterias acetogénicas reductoras de sulfato son capaces de degradar lactato y etanol, pero no son capaces de degradar ácidos grasos y compuestos aromáticos [29].

6.1.2.4 Bacterias que participan de la metanogénesis

La última fase de la descomposición anaeróbica se encuentra dominada por un grupo especial de microorganismos, las Arqueas metanogénicas. Estas se caracterizan a través del co-factor F420, el cual actúa en presencia de hidrogenasas como transportador de H₂ [29]. Este puede detectarse por su autofluorescencia en un microscopio óptico. Las metanogénicas activas aparecen en la segunda fase de la fermentación, la fase de acidogénica. Sin embargo, obviamente el número de Arqueas metanogénicas aumenta en la fase metanogénica. Las principales especies están representadas por *Methanobacterium*, *Methanospirillum Hungatii*, y *Methanosarcina* [29].

6.1.3 Productos de la digestión anaeróbica

6.1.3.1 Biogás:

El biogás es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, su composición depende directamente del tipo de sustrato digerido y de cómo se realizó el proceso de digestión [23].

6.1.3.2 Lodos:

Los lodos como subproducto de la digestión anaeróbica también dependen directamente del sustrato digerido y de cómo se realizó el proceso de digestión. En este proceso, gran parte de la materia orgánica se ha mineralizado, por lo cual aumenta el contenido de nitrógeno amoniacal y disminuye el contenido de nitrógeno orgánico [23].

Esquema de la digestión anaeróbica

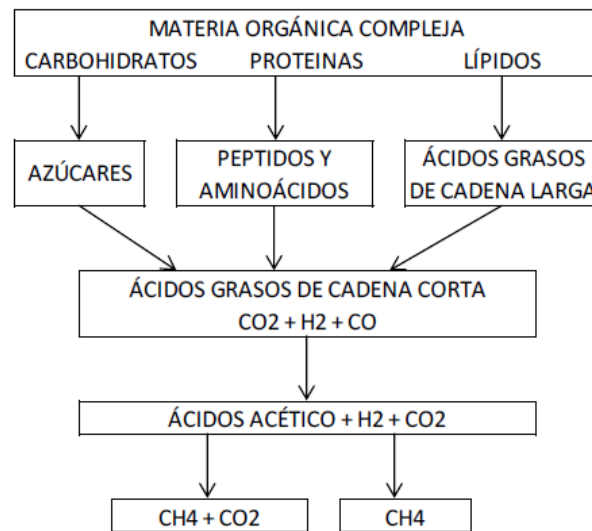


Figura 6.1 Esquema de la Digestión Anaeróbica [30]

6.2 Biomasa

Materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía [30].

La biomasa es aquella materia orgánica de origen vegetal o animal, incluyendo los residuos y desechos orgánicos, susceptible de ser aprovechada energéticamente. Las plantas transforman la energía radiante del sol en energía química a través de la fotosíntesis, y parte de esta energía queda almacenada en forma de materia orgánica [30].

Por lo tanto la biomasa es la materia prima o sustrato a digerir anaerobicamente para la futura producción de biogas y bioabono [30].

La siguiente tabla muestra la naturaleza de distintos desechos orgánicos los cuales pueden ser utilizados como materia prima en el sistema de biodigestión.

Tabla 6.2 Naturaleza de los distintos residuos [31]

Residuos de origen animal	Estiércol, orina, guano, camas, residuos de mataderos (sangre y otros), residuos de pescados.
Residuos de origen vegetal	Malezas, rastrojos de cosechas, pajas, forraje en mal estado.
Residuos de origen humano	Heces, basura, orina.
Residuos agroindustriales	Salvado de arroz, orujos, casetas, melazas, residuos de semillas.
Residuos forestales	Hojas, vástagos, ramas y cortezas.
Residuos de cultivos acuáticos	Algas marinas, jancitos y malezas acuáticas.

6.2.1 Composición de la materia orgánica

La composición química de la materia orgánica es determinante al momento de la generación de biogas debido a que el biogás esta constituido principalmente por metano (CH₄) y es este gas el que le da el poder calorífico al biogás [31].

La siguiente tabla muestra la composición química de distintos desechos orgánicos los cuales tienen en su composición niveles de Carbono e Hidrógeno necesarios para la generación de metano.

Tabla 6.3 Composición química de diversos residuos [31]

Materia Prima	Lípidos (%)	Proteínas (%)	Celulosa Hemicelulosa (%)	Lignina (%)	Ceniza (%)
Paja de trigo	1,10	2,10	65,45	21,60	3,53
Paja de centeno	9,62	5,42	59,95	12,70	12,31
Paja de arroz	2,35	12,26	30,51	10,61	12,55
Poroto verde	3,80	11,04	39,51	13,84	9,14
Pasto verde	8,05	4,94	57,22	9,80	19,99
Alfalfa	10,41	12,81	36,79	8,95	10,30
Hojas secas	4,01	3,47	32,78	29,66	4,68
Caña maíz		4,50	35,40	10,30	6,50
Excreta Bovino	3,23	9,05	32,49	35,57	19,66
Excreta Porcino	11,50	10,95	32,39	21,49	23,67
Excreta Aves	2,84	9,56	50,55	19,82	17,23
Excreta Equino	2,70	5,00	40,50	35,00	17,80
Excreta Ovino	6,30	3,75	32,00	32,00	25,95
Excreta Caprino	2,90	4,70	34,00	33,00	26,40

Tabla 6.4 Compuesto y Producción [31]

Compuesto orgánico	Fórmula química	Biogás m^3/Kg SV	CH_4 m^3/Kg ST
Carbohidratos	$C_6H_{10}O_5$	0,75	0,37
Lípidos	$C_{16}H_{32}O_2$	1,44	1,44
Proteínas	$C_{16}H_{24}O_5N_4$	0,98	0,49

6.2.2 Clasificación según su apariencia física

La materia prima puede clasificarse según su apariencia física dependiendo de la densidad que poseen, además de estar subdivididos en clases según su tipo de degradación [30].

Los sustratos de clase 1 pueden degradarse eficientemente en digestores tipo "Batch" o por Lotes. Los sustratos de la clase 2 son degradados de manera eficiente en digestores mezcla completa de operación continua [30]. Los sustratos de clase 3 deben tratarse con digestores de alta eficiencia, como los de filtro anaerobio. Por presentar una dilución mayor y en consecuencia una DQO menor. Los sustratos de clase 4, debido a su alto contenido de DQO deben ser degradados en digestores aerobios intensivos para mayor eficiencia [30].

La siguiente tabla muestra distintos desechos orgánicos clasificados según su apariencia física

Tabla 6.5 Clasificación residuos según su apariencia física [32]

Características	Clase	Tipo de sustrato	Características Cuantitativas
Sólido	1	Basura Domestica	> 20 % ST
		Estiercol Sólido	40 – 70 % Fraccion
		Restos de Cosecha	Organica
Lodo altamente contaminando, Alta viscosidad	2	Heces Animales	100 – 150 g/l DQO 5%-10% ST 4%-8% SV
Fluidos con alto contenido de sólidos suspendidos (SS)	3	Heces Animales de cria y levante diluido con agua de lavado	3 – 17 g/l DQO 1 – 2 g/l SS
		Aguas residuales de mataderos	
Fluidos muy contaminados, sólidos en suspensión	4	Aguas residuales de agroindustriales	5 – 18 g/l DQO
		Aguas Negras	4 – 500 g/l DQO

6.2.3 Producción de biomasa

La producción de la biomasa es un parámetro importante en el momento de diseñar la cámara donde se realizará la digestión, ya que el volumen del biodigestor depende de la carga diaria ingresada a este [30]. Por lo tanto los recursos con los que se cuentan, son los primeros limitantes a la hora del dimensionamiento de la planta [30].

La siguiente tabla muestra la cantidad de residuos generados para distintos cereales, tubérculos leguminosas, hortalizas y excretas

Tabla 6.6 Producción de residuos [31]

Residuos	Cantidad residuo Ton/ha	Residuos	Disponibilidad Kg/día
Cereales (paja)		Excretas	
Trigo	3.3	Bovino (500 kg)	10.00
Maíz	6.4	Porcino (50 kg)	2.25
Cebada	3.6	Aves (2 kg)	0.18
Arroz	4.0	Ovino (32 kg)	1.50
Tubérculo(hojas)		Caprino (50 kg)	2.00
Papas	10.0	Equino (450 kg)	10,00
Betarragas	12.0	Conejo (3 kg)	0.35
Leguminosas (pajas)		Excretas humanas	0.4
Porotos	3.2		
Habas	4.0		
Hortalizas(hojas)			
Tomate	5.5		
Cebolla	7.0		

6.3 Biogás

El biogás es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, es el principal producto de la digestión anaeróbica de la materia orgánica mediante la acción de microorganismos [23].

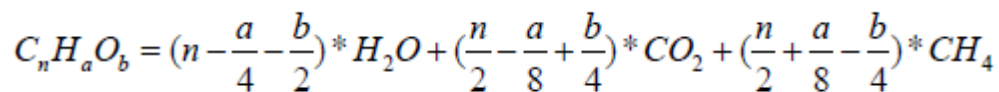


Figura 6.2 Reacción química de la producción de biogás [30]

Se puede usar como sustituto a los combustibles fósiles, incoloro, inodoro, cuya combustión produce una llama azul y productos no contaminantes. Está compuesto mayoritariamente por metano, que es el gas que le confiere las características combustibles al mismo. El valor energético del biogás por lo tanto estará determinado por la concentración de metano [30].

La siguiente tabla muestra las principales características del biogás, representadas en sí por su cantidad de metano, gas que es responsable de darle un valor energético al biogás

Tabla 6.7 Principales características del biogás [33]

Composición	55 – 70% metano (CH ₄) 30 – 45% dióxido de carbono (CO ₂) Trazas de otros gases
Contenido energético	6.0 – 6.5 KW h /m ³

Equivalente de combustible	0.60 – 0.65 L petróleo/ m ³ biogás
Límite de explosión	6 – 12% de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 – 750°C (con el contenido de CH ₄ mencionado)
Presión crítica	74 – 88 atm
Temperatura crítica	-82.5°C
Densidad normal	1.2 kgm ⁻³
Olor	Huevo podrido (el olor del biogás desulfurado es imperceptible)
Masa molar	16.043 kg kmol ⁻¹

6.3.1 Comparación del biogás con respecto a otros gases

El principal compuesto del biogás es el metano, por lo tanto, sus principales características están dadas por el porcentaje de metano que tenga que aproximadamente ronda entre un 60 y 80 % [30]

La siguiente tabla muestra una comparación del biogás con un 75% de CH₄, con respecto a otros gases

Tabla 6.8 Comparación metano con respecto a otros gases [30]

Valores	Biogás 75% CH₄	Gas Natural	Gas Propano	Gas metano	Hidrogeno.
Poder Calorífico (Kwh/m ³)	7.0	10	26	10	3
Densidad(t/m ³)	1.08	0.7	2.01	0.72	0.09

Densidad con respecto al aire	0.81	0.54	1.51	0.55	0.07
Límite de explosión (%de gas en el aire)	6 – 12	5 – 15	2 – 10	5 – 15	4 – 80
Temperatura de encendido	687	650	470	650	585
Máxima velocidad de encendido en el aire (m/s)	0.31	0.39	0.42	0.47	0.43
Requerimiento teórico de aire(m ³ /m ³)	6.6	9.5	23.9	9.5	2.4

6.3.2 Usos del biogás:

La combustión del biogás no produce humos visibles y su carga en ceniza es infinitamente menor que el humo proveniente de la quema de madera [30].

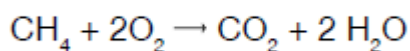


Figura 6.3 Reacción química al momento de usar el metano [30]

Los usos más frecuentes que se le da al biogás son la Producción de Calor y la Producción de Electricidad. En aquellos lugares donde los combustibles son escasos,

los sistemas pequeños de biogás pueden proporcionar la energía calórica para actividades básicas como cocinar y calentar agua. Y en los sistemas de pequeña escala también se pueden utilizar para iluminación [30].

La siguiente tabla muestra los algunos usos del biogás en distintos artefactos domésticos los cuales pueden ser adaptados con este fin.

Tabla 6.9 Capacidad del uso del biogás como combustible [34]

Uso	Especificación	Cantidad (m3/h)	Referencia
Cocina	Quemador 2"	0,33	1
	Quemador 4"	0,47	1
	Quemador 6"	0,64	1
	Quemador 2-4"	0,23 - 0,45	2
Lampara de gas	De 100 Bujías	0,13	2
	Por mantle	0,07	2
	De 2 mantle	0,14	1
	De 3 mantle	0,17	1
Motor a gasolina diesel	Biogás/HP	0,45 - 0,51	2
Refrigeración	Por ft3 de capacidad	0,028	1
	Por ft3 de capacidad	0,034	2
Incubadora	Por ft3 de capacidad	0,013 - 0,017	1
	Por ft3 de capacidad	0,013 - 0,017	2
Gasolina	Por L	1,33 - 1,87	2
Combustible Diesel	Por L	1,5 - 2,07	2
Agua hervida	1 L	0,04	1

6.3.3 Parámetros significativos en la producción de biogás

6.3.3.1 Tiempo de retención hidráulico (TRH):

El tiempo de retención hidráulico es el tiempo que permanece la materia orgánica dentro del sistema para alcanzar la degradación. El tiempo de retención está directamente relacionado con la temperatura ambiente, ya que se necesitará de más tiempo de degradación, para valores menores de temperatura ambiente [30].

La siguiente tabla muestra tiempos de fermentación de la materia orgánica dentro del biodigestor para distintos climas.

Tabla 6.10 Tiempo de retención para distintos climas [35]

Tiempo de retención hidráulico	Características
30 – 40 días	Clima tropical con regiones planas.
40 – 60 días	Regiones cálidas con inviernos fríos cortos.
60 – 90 días	Clima temperado con inviernos fríos.

Además, el volumen de la cámara donde se realizará la digestión, llamado biodigestor, depende directamente del tiempo de retención y de la carga diaria a digerir. Relacionándose de la siguiente forma [30]:

$$V_d = \text{TRH} * C$$

TRH: Tiempo de retención en días

C: Carga diaria en litros/día

V_d : Volumen de biodigestor en litros

6.3.3.2 Temperatura:

La digestión anaeróbica similar a varios procesos biológicos es de la temperatura. La velocidad de reacción de los procesos biológicos depende de la velocidad de crecimiento de los microorganismos involucrados que, a su vez, dependen de la temperatura [35]. Si la temperatura aumenta, aumenta la velocidad de crecimiento de los microorganismos y se acelera el proceso de digestión, por lo tanto, generando una mayor cantidad de biogás [35].

La figura ilustra la generación de biogás con respecto al tiempo para distintas temperaturas

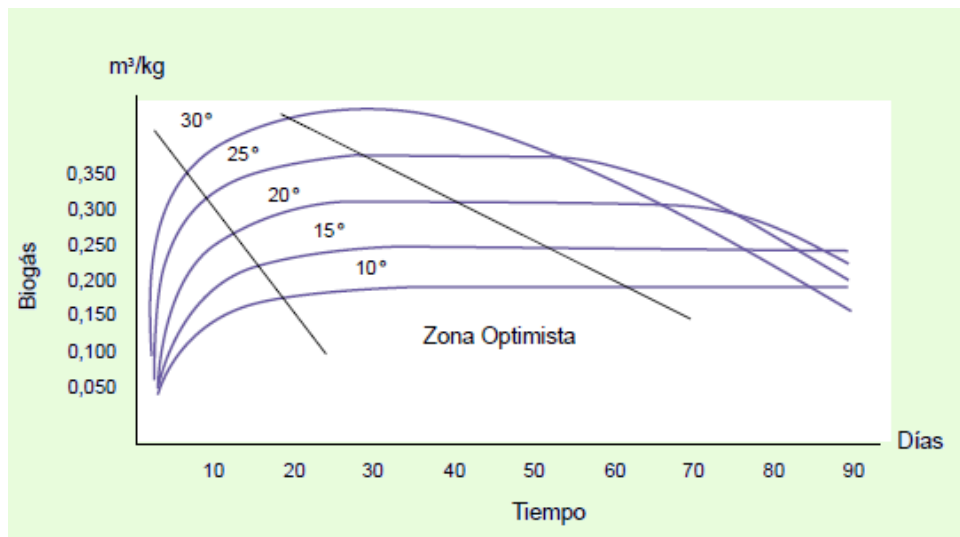


Figura 6.4 Producción de gas en función de la temperatura [35]

6.3.3.3 Relación carbono nitrógeno:

La materia orgánica que entra como afluente al biodigestor, contiene ciertos nutrientes, los cuales permitan el desarrollo de los microorganismos durante la digestión anaeróbica, los más importantes son el carbono (C) y el nitrógeno (N). Estos dos elementos son la principal fuente de alimentación para las bacterias metanogénicas; el carbono como fuente de energía y el nitrógeno para la formación de nuevas células. Las bacterias metanogénicas consumen 30 veces más carbono que nitrógeno, por lo tanto, la relación óptima para estos elementos (C/N) en la materia prima, debiese ser 30:1 [31]. Considerándose una relación aceptable desde 20:1 hasta 35:1. Cuando la relación C/N es superior a 35:1, la descomposición de la materia ocurrirá de manera lenta, pero el periodo de producción de biogás será más prolongado; por otra parte, si la relación C/N es menor a 8:1, la actividad bacteriana será inhibida debido a la excesiva formación de amonio (NH_4^+), el cual en cantidades no adecuadas llega a ser tóxico e inhibir el proceso [31].

El proceso microbiológico no sólo requiere fuentes de carbono y nitrógeno, sino que también debe existir un cierto equilibrio de sales minerales, tales como azufre (S), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), zinc (Zn), cobalto (Co), selenio (Se), tungsteno (W), níquel (Ni) y otros menores[30].

La siguiente tabla muestra el contenido de carbono, de nitrógeno y su relación C/N, parámetro el cual es fundamental para la generación del biogás.

Tabla 6.11 Relación carbono nitrógeno de distintos sustratos [31]

Materiales	% C	%N	C/N
Residuos animales			
Bovino	30	1.30	25:1
Equinos	40	0.80	50:1
Ovinos	35	1.00	35:1
Porcinos	25	1.50	16:1
Caprinos	40	1.00	40:1
Conejos	35	1.50	23:1
Gallinas	35	1.50	23:1
Patos	38	0.80	47:1
Pavos	35	0.70	50:1
Excretas humanas	2.5	0.85	3:1
Residuos vegetales			
Paja trigo	46	0.53	87:1
Paja cebada	58	0.64	90:1
Paja arroz	42	0.63	67:1
Paja avena	29	0.53	55:1
Rastrojos maíz	40	0.75	53:1
Leguminosas	38	1.50	28:1
Hortalizas	30	1.80	17:1
Tubérculos	30	1.50	20:1
Hojas secas	41	1.00	41:1
Aserrín	41	0.06	730:1

6.3.3.4 Sólidos totales:

La materia que digerir, como todo compuesto sólido, tiene un porcentaje de materia líquida y un porcentaje de materia sólida, la cantidad de materia sólida, llamada “Sólidos totales”, es un factor importante en la producción de biogás en la digestión anaeróbica [30]. La movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos. Se ha demostrado que en biodigestores semi continuos, el sustrato a ingresar debe tener un porcentaje de sólidos totales entre un 8% y 12 %. En cambio, los biodigestores discontinuos, el sustrato debe tener una cantidad de 40 a 60% de sólidos totales [31].

Si la carga es muy diluida, es decir con un porcentaje muy bajo de sólidos totales los microorganismos no tienen alimento suficiente para sobrevivir, por el contrario, una alimentación muy concentrada reduce la movilidad de las bacterias y por lo tanto la efectividad del proceso, al dificultar el acceso de aquellas a su fuente de alimentación [31].

La siguiente tabla muestra el porcentaje de sólidos totales de distintos desechos orgánicos que pueden ingresar a un sistema de biodigestión.

Tabla 6.12 Porcentaje de sólidos totales para distintos sustratos [31]

Materiales	% Sólidos totales
Residuos animales	
Bovino	13.4 – 56.2
Porcinos	15.0 – 49.0
Aves	26.0 – 92.0
Caprinos	83.0 – 92.0

Ovejas	32.0 – 45.0
Conejos	34.7 – 90.8
Equinos	19.0 – 42.9
Excretas humanas	17.0
Residuos vegetales	
Hojas secas	50.0
Rastrojos maíz	77.0
Paja trigo	88.0 – 90.0
Paja arroz	88.8 – 92.6
Leguminosas	60.0 – 80.0
Tubérculos	10.0 – 20.0
Hortalizas	10.0 – 15.0
Aserrín	74.0 – 80.0

Para cumplir con la cantidad de sólidos totales, la materia orgánica deberá ser mezclada con agua o algún líquido similar.

El porcentaje de sólidos totales es muy variable para los distintos tipos de materia orgánica, sin embargo, existen recomendaciones del ingreso de agua necesaria para lograr la digestión anaeróbica eficiente [30].

6.3.3.5 Nivel del pH:

Los microorganismos anaerobios necesitan un pH en torno a la neutralidad para su correcto desarrollo, ya que el pH afecta fundamentalmente a la actividad enzimática de los microorganismos, mediante: cambios de estado de los grupos ionizables de las enzimas como el carboxil y amino; alteración de los componentes no ionizables del sistema, como por ejemplo el sustrato; y desnaturalización de la estructura proteica de las enzimas [30]. Se presentarán problemas graves si el pH baja por debajo de 6 o sube por encima de 8,3. Una de las consecuencias de que se produzca un descenso del

pH a valores inferiores a 6 es que el biogás generado es muy pobre en metano y, por tanto, tiene menores cualidades energéticas [30].

La figura ilustra el comportamiento de la actividad bacteriana según el Ph que tenga la mezcla de materia orgánica dentro del sistema de biodigestión.

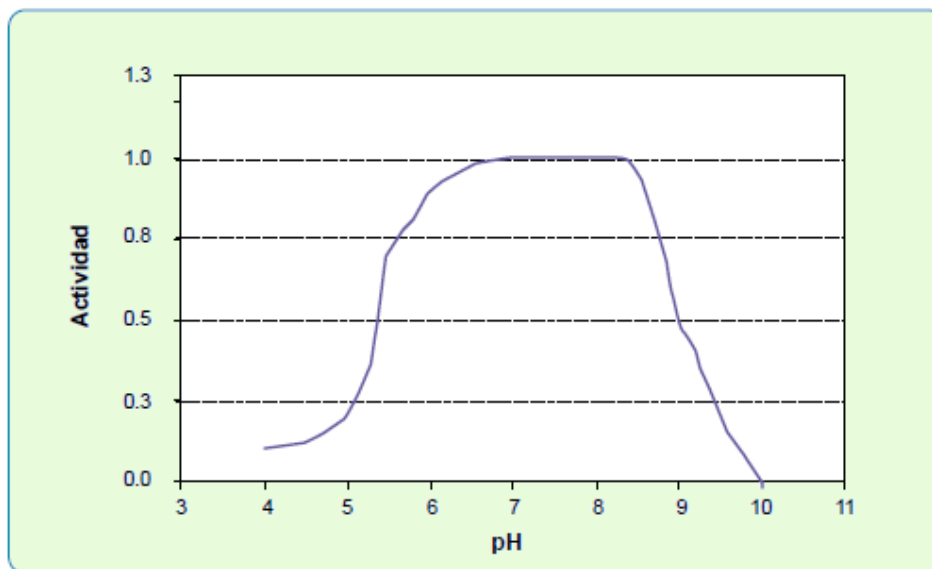


Figura 6.5 Actividad bacteriana en función del Ph [36]

Además de presentar importancia en la actividad bacteriana, el Ph es determinante para la composición del biogás generado.

Para niveles de Ph bajo 6, Aumenta en el biogás la cantidad de dióxido de carbono y disminuye la cantidad de metano [30]. Esto trae consigo que el biogás tenga menos propiedades energéticas [30].

6.4 Bioabono

Los lodos son un subproducto importante de la digestión anaeróbica, ya que se le puede dar distintos usos, sobre todo en el ámbito agrícola [23].

El valor del lodo procesado anaeróbicamente depende de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, que a la vez depende de las características físicas químicas y biológicas de los sustratos que fueron digeridos [23]. Las características más importantes de los lodos son: la capacidad de intercambio catiónico, contenido de materia orgánica y de nutrientes totales y disponibles, relación carbono-nitrógeno, contenido de sales solubles y de pH [37].

6.4.1 Uso como acondicionador:

Los lodos producto de la digestión anaeróbica pueden ser utilizados como acondicionadores para la tierra, cumpliendo con el fin de devolver la materia orgánica al suelo, gracias a los compuestos orgánicos presentes en el lodo como la lignina, celulosa y hemicelulosa, que contribuyen a la formación de humus estable, previenen la erosión y aumentan la permeabilidad del suelo [37].

6.4.2 Uso como biofertilizante:

El uso de abono se justifica debido a que después de la digestión anaeróbica se genera material rico en elementos minerales, especialmente rico en Nitrógeno [37].

6.4.2.1 Biofertilizante en forma líquida

Proviene de biodigestores continuos que tienen como sustrato una baja cantidad de sólidos totales. El lodo líquido puede recircular en el proceso para entrar como efluente en vez del agua, para disminuir la cantidad de la materia orgánica con la que se dispone [37].

6.4.2.2 Biofertilizante en forma sólida

Proviene de biodigestores semi continuos o discontinuos, Este material luego de ser secado puede comercializarse de fácil manera a diferencia del fertilizante líquido [37].

6.4.3 Comparación del bioabono con el compost

La siguiente tabla muestra una comparación del bioabono generado en la digestión anaeróbica y el compost generado en el compostaje, los cuales son distintos tipos de abonos, pero tienen similitudes en sus nutrientes [37].

Tabla 6.13 Comparación de principales parámetros compost bioabono [37]

Parámetros	Compost	Biabono
Ph(H ₂ O 1:5)	7.2	7.9
MO(W- B)1:5	20.0	45.0
MO(Cacinac,%)	39.0	58.0
N Total (Kjeldal%)	1.0	1.8
P Total (%)	4.1	8.4
K Total (%)	0.4	0.7

Relación C/N	19.0	25.0
N mineral (mg/kg)	550.0	30.0
C.E (dS/m)	10.1	14.4

Tabla 6.14 Análisis microbiológicos compost bioabono [37]

Caracterización microbiana	Compost	Biabono
Actividad biológica (N° cel.ml *E 04)	357	1054
Microflora Total(N° cel. ml * E 03)	10	68
Hongos y levadura (N° cel. ml * E 03)	250	25
Fermentos nitrosos(N° cel. ml * E 03)	1200	1100
Fermentos nítricos(N° cel. ml * E 03)	800	50
Coliformes totales (N° colonias/ml * E 03)	0.1	0

6.5 Biodigestores

Un biodigestor es un contenedor cerrado, donde se deposita materia orgánica llamada biomasa, para que se digiera anaeróbicamente y produzca una mezcla de gases llamado biogás. Es decir, es el sistema completo donde se produce la Biodigestión [30].

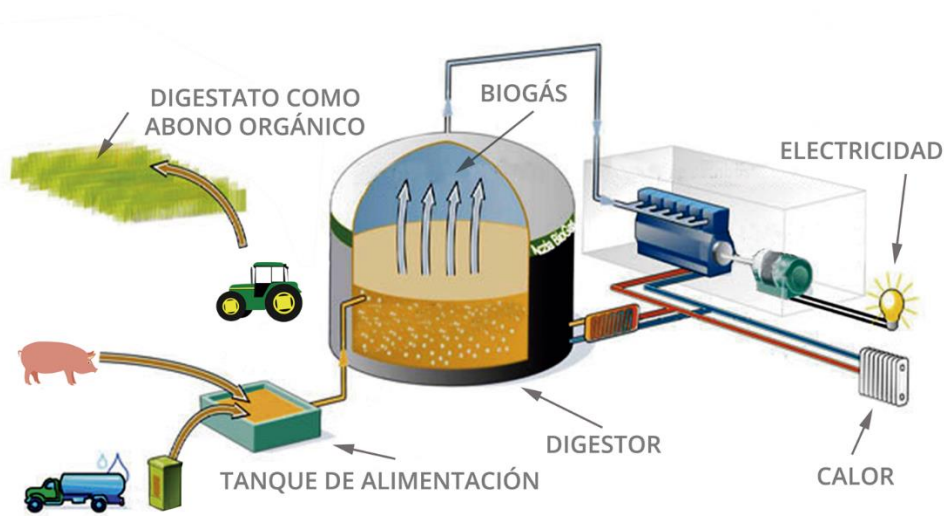


Figura 6.6 Esquema planta de biogás [38]

6.5.1 Tipos de biodigestores

De acuerdo con su funcionamiento y la frecuencia de su carga diaria, los biodigestores se clasifican como digestores continuos, digestores discontinuos y digestores semi continuos [39].

6.5.1.1 Digestores discontinuos

Se conocen como digestores tipo Batch. Estos se cargan solo una vez hasta que se produzca todo el biogás posible. Luego se descargan por completo, vaciando el lodo subproducto de la biodigestión, para realizar una nueva carga. Este sistema es aplicable cuando la materia a procesar está disponible en forma intermitente [39].

6.5.1.2 Digestores Semi continuos

Es el tipo de digestor más usado en el medio rural, cuando se trata de digestores pequeños para uso doméstico. Se cargan regularmente de forma semi continua, cada un día o cada dos días [39].

6.5.1.3 Digestores Continuos:

Estos biodigestores se cargan de una forma seguida. Este tipo de digestores se desarrollan principalmente para tratamiento de aguas residuales. En general son plantas muy grandes, en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos [39].

6.5.2 Componentes de los biodigestores

Los principales componentes de un biodigestor son: El reactor o cámara de residuos, contenedor de gas, la entrada de carga de materia prima y la salida o descarga de materias orgánicas estabilizadas [40].

6.5.2.1 Reactor

El reactor es el lugar donde se produce la digestión. Los reactores de digestión pueden tener forma cilíndrica, cúbica, ovoide o rectangular. Pueden estar hechos de distintos materiales según el uso que se le dé al biodigestor [40].

6.5.2.2 Entrada del afluente.

La entrada del afluente es el lugar donde se prepara la materia prima, previo al ingreso del reactor. En la mayoría de los biodigestores, en la entrada del afluente se mezcla la materia orgánica a ingresar con el agua requerida para el proceso [40].

6.5.2.3 Salida del efluente.

La salida del efluente es el lugar donde se almacena el subproducto líquido de la digestión anaeróbica llamado Biol. La cantidad de Biol generada dependerá de cada tipo de sistema de biodigestión [40].

6.5.2.4 Extracción de lodos.

El lugar almacenamiento de lodos es el lugar donde llegan los lodos productos de la digestión anaeróbica que durante mucho tiempo quedaron en la parte inferior del reactor. Los lodos se extraen en periodos largos de tiempo [40].

6.5.2.5 Sistema de gas

El sistema de digestión produce diariamente biogás el cual debe ser controlado y almacenado para su futuro uso. Está compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono [30].

El sistema de gas tendrá que tener según cada digester los siguientes elementos:

- Cúpula de gas.
- Válvulas de seguridad y rompedora de vacío.

- Apagallamas.
- Válvulas térmicas.
- Purgadores de condensado.
- Medidores de gas.
- Manómetros.
- Reguladores de presión.
- Almacenamiento del gas.

6.5.2.6 Sistema de calentamiento del digestor

Un biodigestor puede producir biogás y bioabono a cualquier temperatura, sin embargo, el tiempo en producir el biogás y el bioabono depende directamente de la temperatura interior en el reactor, debido a que es un proceso. A medida que aumenta la temperatura, disminuye el tiempo necesario para que se produzca la estabilización del lodo. Los digestores en general deben funcionar por sobre un rango mesofílico. Y cuando las condiciones ambientales no dan la temperatura necesaria para la digestión, es vital tener una forma de calentar la mezcla en el interior del reactor [30].

6.5.3 Modelos populares en el medio rural

6.5.3.1 Tipo Chino

Estos biodigestores son fabricados generalmente en forma de domo, no poseen un gasómetro, ya que se almacena el gas dentro de la cámara de digestión, lo que trae por consecuencia que se generen grandes presiones dentro de él. Se construyen totalmente enterrados y se cargan diariamente [40].

La siguiente figura muestra un esquema simple de un biodigestor tipo chino el cual esta armado de hormigón.



Figura 6.7 Esquema biodigestor tipo chino [41]

6.5.3.2 Tipo Hindú

Estos biodigestores se construyen enterrados y se caracterizan principalmente por contar con una cúpula flotante para el almacenamiento del biogás generado. Esta cúpula flotante además de almacenar el gas ayuda a mantener una presión constante dentro del sistema [40].

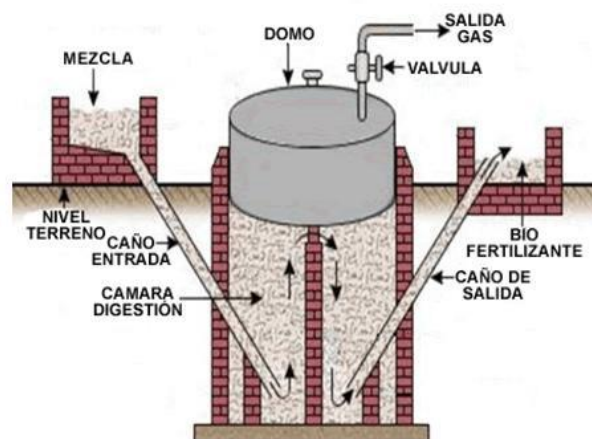


Figura 6.8 Esquema biodigestor tipo hindú [41]

6.5.3.3 Tipo Horizontal

Estos digestores se construyen generalmente a poca profundidad, con relaciones de largo a ancho de 5:1 hasta 8:1. Operan a régimen semi continuo [40]. El gasómetro incluido es regularmente de un material flexible. Este tipo de digestores se recomiendan cuando se requiere trabajar con volúmenes mayores de 15 m³, para los cuales, la excavación de un pozo vertical comienza a resultar muy problemática [40].

LA siguiente figura muestra un esquema de un biodigestor horizontal.

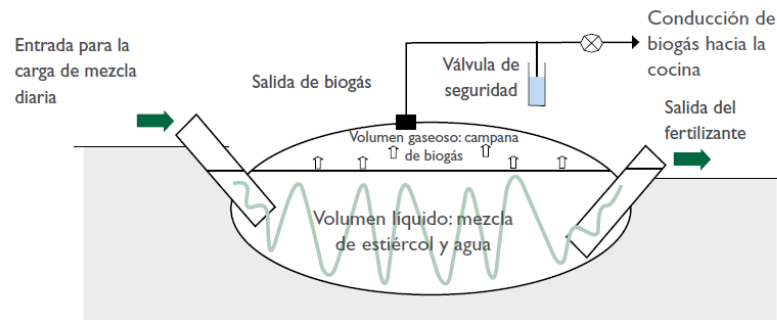


Figura 6.9 Esquema biodigestor tipo horizontal [42]

7. DISEÑO PRELIMINAR DE LA SOLUCIÓN

En este capítulo se describe el diseño y construcción del sistema de biodigestión, considerando las características de la zona analizadas previamente en el capítulo 2, para así realizar una implementación óptima y viable. La implementación del sistema de biodigestión está directamente relacionada con la cantidad de residuos generados que son orgánicos y la cantidad de animales que tengan a cargo las familias. También es importante tomar en cuenta los análisis económicos hechos previamente, ya que el proyecto se realizará en una localidad rural y contará con los mínimos recursos disponibles por parte de la Municipalidad de la Comuna de Putaendo, encargada de la gestión de los residuos en la zona.

Diseñar una solución única para cada familia es imposible, ya que todo grupo familiar tiene en sí una cantidad de personas, cantidad de animales y por lo tanto cantidad de disponibilidad diaria distinta. Por lo cual se asumirá según los datos obtenidos, un promedio en la generación de basura orgánica diaria y un promedio en la recolección de excretas por partes de los animales.

7.1 Disponibilidad de recursos

La disponibilidad de recursos en el sector rural es acotada debido a la lejanía con la ciudad, sin embargo, presenta las condiciones necesarias para la operación de la tecnología de la biodigestión.

La cantidad de materia orgánica que servirá como catalizador para el uso del biodigestor, es en su mayor parte excretas de los animales a cargo de las familias.

Además de considerar también los residuos domésticos señalados en el capítulo 2, que son en promedio 1kg de residuos orgánicos por familia.

La generación de excretas de cada animal está definida según la tabla a continuación-

Tabla 7.1 Disponibilidad de residuos

Estiércol	Disponibilidad Kg/día
Bovino (500 Kg)	10.00
Porcino (50 Kg)	2.25
Aves (2 Kg)	0.18
Ovino (32 Kg)	1.50
Caprino (50Kg)	2.00
Equino (450 Kg)	10.00
Conejo (3 Kg)	0.35
Excretas humanas	0.40

Materia orgánica total generada diariamente:

$M[\text{kg}] = 19 [\text{kg}]$ excretas de bovino + 1 [kg] residuos orgánicos domiciliarios

$M[\text{kg}] = 20 [\text{kg}]$

7.2 Memoria de cálculo y parámetros de diseño

Los parámetros de diseño que definen el volumen del biodigestor son el Tiempo de retención hidráulico “TRH” y la carga que ingresa diariamente al biodigestor. Los

cuáles serán calculados con un valor promedio en el caso de la carga diaria y en el caso del TRH se ajustará según épocas del año.

7.2.1 TRH:

El tiempo de retención hidráulico “TRH” para lograr la digestión de la materia orgánica que ingresará al biodigestor está determinado según las condiciones de la zona donde se hará el proyecto. En este caso la comuna de Putaendo presenta unas temperaturas muy variadas durante el año por lo cual se estimará el TRH según la época con mayor temperatura en el año y para la época más fría se procederá a poner en mayor temperatura la materia prima [30].

La siguiente tabla muestra temperaturas mínimas, óptimas y máximas para distintos tipos de fermentación y por lo tanto también distintos TRH.

Tabla 7.2 Tiempo de retención para distintos tipos de fermentación [43]

Fermentación	Mínimo	Óptimo	Máximo	Tiempo de fermentación
Psychophilica	4-10 °C	15-18 °C	20-25 °C	Sobre 100 días
Mesophilica	15-20 °C	25-35 °C	35-45 °C	30-60 días
Thermophilica	25-45 °C	50-60 °C	75-80 °C	10-15 días

Según los datos de la tabla, la fermentación más similar en la época de verano es la fermentación tipo Mesophilica. Se considerará para este caso, un tiempo de retención hidráulico igual a la media entre los límites señalados en la tabla. Equivalente a 40 días.

7.2.2 Agua necesaria

El agua necesaria por ingresar tiene directa relación con la cantidad de sólidos totales que tiene la materia orgánica que también ingresará diariamente. Tomando en cuenta que la materia orgánica a ingresar es en su mayoría excretas de bovino, se hará el cálculo de recomendación de agua considerando que la cantidad total de materia orgánica a ingresar es solo de excretas de bovino.

El porcentaje de sólidos totales recomendado para la carga de la biomasa en el biodigestor es del orden de un 8 a un 12 %. Por lo cual los sustratos ingeridos en el biodigestor deben mezclarse con una cantidad de agua “W” [30].

Ejemplo para 1 kg de excreta de bovino con valores promedios:

$$\% \text{ S.T.} = \frac{1 \text{ kg excreta} * \% \text{ ST Excreta}}{1 \text{ kg excreta} + \text{Agua necesaria}}$$

$$0,1 = \frac{1 \text{ kg excreta} * 0,346}{1 \text{ kg excreta} + W}$$

$$0,1 + 0,1 W = 0,346$$

$$W = 2,46 \text{ kg}$$

Sin embargo, para facilidad de cálculos se tomará la recomendación siguiente en todas las mezclas a realizar, debido a que es un diseño de un biodigestor muy pequeño.

Tabla 7.3 Cantidad de agua requerida para biodigestores pequeña escala [30]

Tipo de sustrato	Sustrato/Agua
Excretas de animales	1/1
Basura orgánica doméstica	1/1

Cantidad total de agua: $W \text{ [Kg/día]} = 20 \text{ [Kg/día]}$

7.2.3 Carga diaria

La carga diaria ingresada al biodigestor será una mezcla entre la materia orgánica disponible diariamente y una cantidad de agua necesaria

Para facilidad de cálculos se considerará la densidad de todos los sustratos igual a la densidad del agua, ya que su valor no hace cambios tan relevantes en el diseño del digestor.

$C \text{ [Litros/día]} = \text{Materia orgánica} + \text{Agua Necesaria}$

$C \text{ [Litros/día]} = M \text{ [Litros/día]} + W \text{ [Litros/día]}$

$C \text{ [Litros/día]} = 20 \text{ [Litros/día]} + 20 \text{ [Litros/día]}$

$C \text{ [Litros/día]} = 40 \text{ [Litros/día]}$

7.2.4 Biogás por producir

Para la generación de gas producido diariamente, se considerará que todo el material ingresado es excreta de bovino, ya que representa un 95% de la materia orgánica ingresada a diario.

La siguiente tabla del capítulo anterior muestra la cantidad de biogás generado según distintos tipos de excretas de animales.

Tabla 7.4 Producción de biogás de distintos residuos

Estiércol	Volumen de biogás	
	m^3/Kg húmedo	$(m^3/día)/año$
Bovino (500 Kg)	0.04	0.400
Porcino (50 Kg)	0.06	0.135
Aves (2 Kg)	0.08	0.014
Ovino (32 Kg)	0.05	0.075
Caprino (50Kg)	0.05	0.100
Equino (450 Kg)	0.04	0.400
Conejo (3 Kg)	0.06	0.021
Excretas humanas	0.06	0.025

Gas producido diariamente:

$$G [m^3] = \text{Potencial de generación de gas de bovino [m}^3/\text{kg]} * \text{Excreta diaria [kg]}$$

$$G \text{ [m}^3\text{]} = 0,40 \text{ [m}^3\text{/kg]} * 20 \text{ [kg/día]}$$

$$G \text{ [m}^3\text{]} = 8 \text{ [m}^3\text{/día]}$$

7.2.5 Biol producido

La cantidad de Biol producido a diario es equivalente a la carga diaria ingresada en el biodigestor [24]. Pero como el biodigestor ingresará una mezcla entre excretas y basura doméstica. Se estimará la producción de Biol real como el 75% de la que debería ser.

$$B = 40 \text{ [L/día]} * 0,75$$

$$B = 30 \text{ [L/día]}$$

Por lo tanto, a futuro el Biol es un subproducto el cual puede ser comercializado y generar ingresos. El precio del fertilizante líquido en el mercado ronda entre los \$2.000 y \$10.000.

7.2.6 Volumen biodigestor

El volumen del biodigestor como se mencionó anteriormente está sujeto a los parámetros de diseño. El tiempo de retención y la carga diaria.

$$V_d \text{ [Litros]} = \text{TRH [días]} * C \text{ [Litros/día]}$$

$$V_d \text{ [Litros]} = 45 \text{ [días]} * 40 \text{ [Litros/día]}$$

$$V_d \text{ [Litros]} = 1800 \text{ [Litros]}$$

El volumen total del reactor tiene que agregar una capacidad adicional donde se pueda almacenar el biogás dentro de él, sin contar el volumen externo de almacenamiento de biogás (gasómetro). El volumen gaseoso se considerará equivalente a un tercio del volumen líquido, a lo cual se dice que el volumen del depósito de biogás equivale a la tercera parte del volumen del tanque del sustrato [30].

$$V_g \text{ [Litros]} = V_d \text{ [Litros]} * 1/3$$

$$V_g \text{ [Litros]} = 1800 \text{ [Litros]} * 1/3$$

$$V_g \text{ [Litros]} = 600 \text{ [litros]}$$

7.2.7 Temperatura en el biodigestor

La temperatura afecta directamente a la producción de biogás, la temperatura debe ser la óptima ambientalmente para que se produzca en el tiempo estimado la biodigestión.

7.2.8 Ahorro energético

El consumo en zonas rurales es limitado a las condiciones y necesidades de las familias en sus respectivas localidades, pero normalmente las más alejadas de las zonas urbanas no cuentan con electricidad de la red local y el uso de gas lo intentan sustituir con leña.

El consumo energético en las zonas rurales más extremas de Putaendo está abastecido mediante paneles solares, leña del sector y la compra de cilindros de gas como se vio en el capítulo 2.

La digestión anaeróbica producida en la tecnología de un biodigestor tiene como productos los lodos de la digestión y el biogás, un gas que tiene entre 60 y 80 % de Metano (CH₄). Por lo tanto, una tecnología como la de un Biodigestor, puede reducir o sustituir el uso de los cilindros de gas.

La siguiente tabla muestra dos equivalencias en combustible de 1 metro cúbico de biogás.

Tabla 7.5 Equivalencia 1 m³ de biogás [44] [45]

Equivalencia de 1 m³ de biogás		
Combustible	Equivalencia 1	Equivalencia 2
Gasolina (L)	0,61	0,613
Querosene	0,58	0,579
Diésel (L)	0,55	0,553
GLP (Kg)	0,45	0,454
Etanol (L)	-	0,79
Carbón mineral (Kg)	-	0,735
Leña (kg)	-	1,538
Electricidad (kWh)	1,43	1,428

El uso del biogás como se mencionó anteriormente puede ser utilizado en reemplazo de los cilindros de gas, por lo tanto, la implementación de un Biodigestor familiar, además de realizar una ayuda al medio ambiente y producir los lodos de la digestión que pueden ser comercializables, también genera un ahorro energético y por lo tanto un ahorro económico para las familias [30].

7.3 Materiales y construcción del biodigestor

Se propone como reactor una fosa séptica de polietileno 100% virgen de 2500 L (ANEXO B) la cual será el principal componente del sistema de biodigestión, donde se depositen los residuos orgánicos y empiece a generarse el biogás y Biol.

La fosa utilizada como reactor será una fosa horizontal como se muestra en la siguiente figura.



Figura 7.1 Reactor para el sistema de biodigestión

Las cámaras de carga y descarga serán estanques simples verticales de 60 Litros iguales (ANEXO D), debido a que la generación de Biol diario es igual al volumen de carga ingresada.

Las cámaras de carga y descarga serán estanques como los que se muestran a continuación.



Figura 7.2 Cámaras de carga y descarga del sistema de biodigestión

El gasómetro propuesto será de un material de caucho o bolsa de polietileno, el cual contenga la acumulación de biogás previo a su utilización.

También hay materiales de menor costo que también son necesarios para instalar el sistema de biodigestión. Tales materiales son: Algunos tubos de PVC con los cuales se conectará el sistema de biodigestión, manómetros varios situados en distintos lugares para controlar la presión del biogás y entre otros que servirán como uniones y salidas de los componentes principales



Figura 7.3 Materiales varios para el sistema de biodigestión

7.4 Operación del sistema de digestión anaeróbica

Las operaciones del biodigestor van a diferir según la periodicidad en las que se realicen. Diariamente se tiene que cargar el reactor para realizar la digestión anaeróbica, retirar el Biol producido, se deben realizar los chequeos necesarios para que todo funcione bien y ocupar le gas si es que ya está acumulado. Semanal o mensualmente se deberá retirar los lodos, inspeccionar los lugares donde se aplica el gas y chequear las válvulas y tuberías de agua y gas. Y anualmente se deberá realizar las actividades asociadas a la reparación de daños que pudieron ocasionarse en el sistema completo como las fisuras del gasómetro y el reactor [24].

La siguiente tabla muestra las operaciones a realizar diaria, semanal, mensual y anualmente en el sistema de biodigestión.

Tabla 7.7 Actividades relacionadas al uso del biodigestor

Actividades	Lista y Detalle de actividades
Diarias	<ul style="list-style-type: none">• Rellenar la planta• Limpiar la cámara de mezcla• Agitar el contenido del reactor• Chequear la presión del gas• Chequear los acumuladores de gas• Chequear la apariencia y olor del biol
Semanales o Mensuales	<ul style="list-style-type: none">• Sacar o usar el fertilizante orgánico o biol• Lavarán e inspeccionarán las aplicaciones de gas

	<ul style="list-style-type: none"> • Chequearán las válvulas, acumuladores y tuberías de gas • Inspeccionará la trampa de agua (ver apartado biogás)
<p>Actividades Anuales</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Inspeccionar si hay espuma en el reactor, retirándola si fuera preciso abriendo la planta • Inspeccionar la impermeabilidad al agua y al gas • Hacer un teste de presión en las válvulas, acumuladores y tuberías de gas • Inspeccionar el almacén de gas, si tiene fisuras, y repintarlo si se precisa

7.5 Layout de la instalación

La instalación del sistema de biodigestión constará de un espacio de 15 m² en los cuales se encontrará la cámara de carga a un nivel superior del suelo y un depósito de agua a un nivel más alto, de modo que el agua caiga por gravedad a la cámara de carga y la mezcla de agua y residuos en la cámara de carga, caigan por gravedad también al sistema de biodigestión

La siguiente figura muestra una distribución de los principales equipos del sistema de biodigestión. Donde:

- | | |
|-----------------------|-------------------------|
| A: Reactor | D: Gasómetro |
| B: Cámara de Carga | E: Válvulas principales |
| C: Cámara de Descarga | F: Filtros |

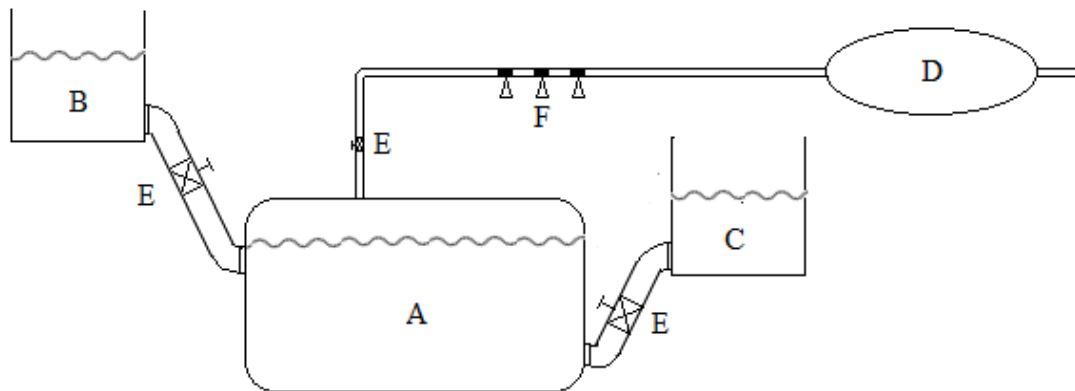


Figura 7.4 Distribución de los principales componentes del biodigestor

Se concluye que los parámetros más importantes al momento de diseñar los biodigestores prototipos son: La materia orgánica por ingresar al sistema y la temperatura en la cual operara.

Además hay que tener en cuenta que la solución tiene que proporcionarse en los lugares donde no haya escasez de agua, debido a la demanda de el sistema a diseñar.

8. ESTUDIO ECONÓMICO BÁSICO DE LA SOLUCIÓN

8.1 COSTOS

A continuación, se detallará y analizará los costos de inversión y operación para el diseño del sistema de biodigestión acorde a lo visto en los capítulos anteriores.

8.1.1 Costos de inversión

Los costos de inversión para el proyecto son los determinados por la instalación del sistema de biodigestión en los distintos lugares, las capacitaciones de los usuarios que utilizarán en sus hogares y las preparaciones para el funcionamiento de los biodigestores.

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 (ANEXO C) donde se mezclan el agua con la materia orgánica a ingresar y la cámara de descarga (ANEXO C) donde se retira el bioabono y el sistema de gas que incluye el lugar del almacenamiento del gas y los materiales para su traslado. La sección de materiales varios son las válvulas y acoples faltantes de la compra de la fosa séptica que se estima en \$120.000 según cotización hecha (ANEXO E). La mano de obra necesaria para la construcción de un sistema de biodigestión será considerada como el equivalente a 4 o 5 días de trabajo de 2 personas que tengan un sueldo de \$300.000.

La siguiente tabla muestra los costos (valores sin IVA) asociados para un sistema de biodigestión de 2500 L diseñado según las condiciones especificadas en el capítulo anterior.

Tabla 8.1 Costos construcción sistema de biodigestión

DESCRIPCIÓN	COSTO
Materiales	
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
TOTAL 1 biodigestor	\$1.052.167
TOTAL 200 biodigestores	\$210.433.400

Además de estos gastos, también se considerará las pruebas y mantenciones previas a la operación de los biodigestores. Estas pruebas y mantenciones previas estarán a cargo de 10 personas (20 biodigestores cada uno) con un sueldo de \$300.000. Estas preparaciones se estima que requerirán visitas 4 veces al año y se asume que se gastará \$15.000 por biodigestor en cada una de las visitas y \$40.000 en petróleo para transporte.

La siguiente tabla muestra los valores (precios sin IVA) asignados para el resto de los gastos asociados a la inversión del proyecto.

Tabla 8.2 Gastos adicionales de la inversión del proyecto

DESCRIPCIÓN	COSTO
Mano de obra 10 personas 4 veces/año	\$12.000.000
Transporte 10 personas 4 veces/año	\$1.600.000
Preparación 200 biodigestores 4 veces/año	\$12.000.000
TOTAL	\$25.600.000

Finalmente, los costos de inversión de proyecto quedan determinados por la construcción de los 200 biodigestores, los gastos adicionales en los cuales se desarrollarán las preparaciones de los equipos y las capacitaciones previas al uso de los biodigestores.

Las capacitaciones serán al inicio del proyecto, donde 1 persona con un sueldo de \$300.000 hará 3 clases al total de las personas que serán usuarios de los prototipos de biodigestores.

La siguiente tabla muestra los costos totales de inversión del proyecto (valores sin IVA incluido).

Tabla 8.3 Costos de inversión del Proyecto

DESCRIPCIÓN	COSTO
Construcción 200 biodigestores	\$210.433.400
Capacitaciones a cargo de 1 persona	\$300.000
Capital de trabajo	\$25.600.000
TOTAL	\$236.333.400

8.1.2 Costos de operación

Los costos de operación del sistema de biodigestión tales como el utilizar agua y electricidad para el biodigestor caerán en las responsabilidades de los usuarios, debidos a que ellos serán los que operarán. Sin embargo, las labores destinadas a mantención de los equipos serán considerados como costos del personal encargado del proyecto (Municipalidad). Son estos costos de operación más la depreciación de los equipos, los costos que se analizarán en esta oportunidad.

La mantención se realizará cada 3 meses, es decir 4 veces al año y se estima que serán gastos de no más de \$30.000, debido a que solo se necesitará el cambio de alguno de los materiales varios que pueden dañarse.

Para cada una de esas 4 visitas al año se considerará a 10 personas con un sueldo de \$300.000 que supervisarán 20 biodigestores cada uno en camioneta municipal que también considera un costo de \$40.000 en petróleo por cada visita.

La siguiente tabla muestra los costos de operación (Valores sin IVA) de un sistema de biodigestión.

Tabla 8.4 Costos de operacion para un sistema de biodigestión

DESCRIPCIÓN	COSTO
MANTENCION	
Mantención 4 veces al año	\$24.000.000
Depreciación	\$4.101.600
TOTAL	\$28.101.600
MANO DE OBRA	
Mano de obra 4 veces/año	\$12.000.000
Transporte 4 veces/año	\$1.600.000
Total mano de obra	13.600.000
TOTAL, OPEX	\$28.101.600

Se considerará también, un monto anualmente por costos de recolección de la basura restante, debido a que el sistema diseñado es un prototipo que abarca solo residuos orgánicos equivalentes al 70% de los residuos generados según las pruebas realizadas en el capítulo 2. Además, que el proyecto no alcanza a abarcar el total de la población rural, por lo cual los sectores en los que no se realizará el proyecto necesitarán de una

recolección constante tal como lo tienen actualmente. Este monto se evaluará a continuación y se le asignará los valores equivalentes a 1/4, 1/3, y 1/2 del valor de la licitación actual.

Las siguientes tablas muestran los distintos costos totales de operación (Valores sin IVA) del proyecto, con un monto de recolección faltante con las opciones A: \$30.000.000, B:\$40.000.000 y C:\$60.000.000:

Tabla 8.5 Costos de operación del Proyecto opción A

DESCRIPCIÓN	COSTO
Costos Operación 200 Biodigestores	\$28.101.600
RECOLECCIÓN QUE FALTA	\$30.000.000
TOTAL	\$71.701.600

Tabla 8.6 Costos de operación del Proyecto opción B

DESCRIPCIÓN	COSTO
Costos Operación 200 Biodigestores	\$28.101.600
RECOLECCIÓN QUE FALTA	\$40.000.000
TOTAL	\$81.701.600

Tabla 8.7 Costos de operación del Proyecto opción C

DESCRIPCIÓN	COSTO
Costos Operación 200 Biodigestores	\$28.101.600
RECOLECCIÓN QUE FALTA	\$60.000.000
TOTAL	\$101.701.600

8.2 BENEFICIOS

Producto de la digestión anaeróbica se generará Biól que puede ser comercializado y biogás que puede presentar un ahorro energético para las familias.

8.2.1 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 siguiente tabla presenta un ahorro energético (ahorro en cilindros de gas GLP) para la construcción del biodigestor con las condiciones antes mencionadas.

Tabla 8.8 Ahorro energético de gas de biodigestor a diseñar

Ahorro energético biodigestor a diseñar		
Tiempo	Biogás generado (m3)	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

8.2.2 Comercialización Biol

La generación de bioabono puede ser un uso eficiente en los predios de los usuarios, pero sin embargo también puede ser un producto que puede comercializarse. Los precios de los fertilizantes líquidos en el mercado son variados desde los \$3.000 hasta los \$15.000.

Si se pretendiera comercializar el Biol a un precio de \$1.000 la siguiente tabla muestra la venta o ahorro generado a lo largo del tiempo por un biodigestor.

Tabla 8.9 Biol a producir y su equivalencia en pesos

Tiempo	Biol 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
10 años	108.000	108.000.000

El proyecto considera la construcción de 200 biodigestores, por lo cual la siguiente tabla muestra la equivalencia en pesos con su respectivo valor presente de la generación y venta de bioabono de todos los biodigestores del proyecto.

Tabla 8.10 Equivalencia en pesos de la generación de Biol de todo el proyecto

Año	Biol generado (L)	Equivalente \$	Equivalente en Valor presente
1	2190000	\$2.190.000.000	\$2.126.213.592
2	4380000	\$4.380.000.000	\$4.190.498.633
3	6570000	\$6.570.000.000	\$6.194.658.867
4	8760000	\$8.760.000.000	\$8.140.445.502
5	10950000	\$10.950.000.000	\$10.029.558.740
6	13140000	\$13.140.000.000	\$11.863.649.262
7	15330000	\$15.330.000.000	\$13.644.319.672
8	17520000	\$17.520.000.000	\$15.373.125.895
9	19710000	\$19.710.000.000	\$17.051.578.539
10	21900000	\$21.900.000.000	\$18.681.144.213

8.3 INDICADORES ECONÓMICOS

Los índices económicos que se calcularán serán el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de retorno (TIR) debido a que ambos indicadores son los más importante a la hora de evaluar n proyecto y simplifican el análisis de flujos de fondos, que pueden ser extensos y complejos. Además, permitirán tomar una decisión objetiva diciéndonos si el proyecto es viable o no.

8.3.1 Flujo de caja

El flujo de caja se realizó a un horizonte de 20 años teniendo como ingreso el presupuesto anual que tiene la municipalidad para la recolección de basura en la zona rural. Además, se evaluó con tasa de descuento 3% y tasa de descuento 12% para tener mayor análisis de datos.

La siguiente tabla muestra las distintas tasas de descuento para proyectos sociales con diferentes horizontes de evaluación.

Tabla 8.11 Tasa de Descuento para Proyectos Sociales [46]

Años	Descripción	Tasa
1 a 5	Futuro Inmediato	4%
6 a 25	Futuro Cercano	3%
26 a 75	Futuro Mediano	2%
76 a 300	Futuro Distante	1%
301 en adelante	Futuro Lejano	0%

Razón por la cual se escogió tasa 3% como tasa mínima para la evaluación.

Para el análisis del flujo de caja también se consideró que los costos operacionales serán los mismos todos los años, debido a que según lo analizado en el capítulo 6 los biodigestores no deberían presentar mayores problemas en su mantención. Y que el ingreso anual será la misma cantidad ofrecida en la licitación del año 2017 todos los años.

Teniendo un Factor de Actualización en los dos casos calculados como:

$$Fa = \frac{1,03^{20} - 1}{1,03^{20} * 0,03} = 14,87747$$

$$Fa = \frac{1,12^{20} - 1}{1,12^{20} * 0,12} = 7,46944$$

El detalle de los distintos flujos de caja con las 3 opciones de recolección faltante y con tasa de descuento 3% y 12 % se encuentra en los anexos: ANEXOS G, ANEXO H y ANEXO I.

8.3.2 VAN

El Valor Actual Neto representa el valor del proyecto en pesos de hoy, fue calculado con una tasa de descuento del 3% y 12%.

Se calcula de la siguiente forma:

$$VAN = \sum_{j=1}^n \frac{Flujo}{(1+Tasa\ de\ descuento)^j} - Inversión$$

o haciendo un resumen $VAN = Flujo * Factor\ actualización - Inversión$

8.3.2.1 VAN opción A

El VAN para este proyecto con la opción A quedó calculado como:

$$VAN = - Inversión + \$33.357.587 * Fa$$

$$\text{Para tasa de descuento 3\%} \quad VAN = \$ 264.406.498$$

$$\text{Y para tasa de descuento 12 \%} \quad VAN = \$15.070.045$$

VAN > 0 en los dos casos, el proyecto es viable para la evaluación en ambas tasas, por lo que sería lógico realizarlo con el presupuesto A para la recolección faltante.

8.3.2.2 VAN opción B

El VAN para este proyecto con la opción B quedó calculado como:

$$\text{VAN} = - \text{Inversión} + \$23.357.587 * \text{Fa}$$

Para tasa de descuento 3% VAN = \$ 115.631.749

Y para tasa de descuento 12 % VAN = -\$59.624.391

VAN > 0 con la tasa de descuento 3% sin embargo VAN < 0 con tasa de descuento 12% por lo tanto el proyecto es viable con la tasa 3% y sería lógico realizarlo en la opción B, sin embargo, con una tasa 12% no sería viable en la opción B.

8.3.2.3 VAN opción C

El VAN para este proyecto con la opción B quedó calculado como:

$$\text{VAN} = - \text{Inversión} + \$3.357.587 * \text{Fa}$$

Para tasa de descuento 3% VAN = \$ - 181.917.748

Y para tasa de descuento 12 % VAN = -\$209.013.263

VAN < 0, en ambos casos. El proyecto no es viable, por lo cual no sería lógico realizarlo, ya que económicamente destruye valor.

8.3.3 TIR

La tasa interna de retorno del proyecto se consigue evaluando el VAN=0 y puede entenderse como la tasa de interés máxima a la que es posible endeudarse para financiar este proyecto.

8.3.3.1 TIR opción A

La Tasa Interna de Retorno para este proyecto con la opción A quedó calculada como:

$$0 = - \text{Inversión} + \sum_{j=1}^n \frac{\text{Flujo}}{(1+TIR)^j} \quad \text{TIR} = 13 \%$$

El valor de la TIR es mayor a las dos tasas de descuento, lo cual indica que, si debiese realizarse el proyecto.

8.3.3.2 TIR opción B

La Tasa Interna de Retorno para este proyecto con la opción C quedó calculada como:

$$0 = - \text{Inversión} + \sum_{j=1}^n \frac{\text{Flujo}}{(1+TIR)^j} \quad \text{TIR} = 7,77 \%$$

El valor de la TIR sigue siendo mayor a la tasa de 3%, lo cual indica que, si debiese realizarse el proyecto, sin embargo, es menor a la tasa 12%. Lo cual requiere un análisis más a fondo para la evaluación de este proyecto.

Se observa que, cuando la recolección faltante de basura se evalúa con los valores de un tercio y un cuarto de la licitación ofrecida es decir equivalente a \$30.000.000 y \$40.000.000, el proyecto refleja valores positivos de VAN y TIR, sin embargo, esos valores asignados son muy bajos los cuales puede que no alcancen para la recolección en el resto de los sectores rurales. Y que cuando a la recolección de basura restante se le asigna un valor del 50% de la licitación ofrecida, es decir equivalente a \$60.000.000 el valor del VAN es negativo.

Por lo tanto, es necesario el cálculo exacto asignados a costos de la recolección restante ya que limitan la viabilidad del proyecto.

Sin embargo, no se encuentra en el análisis del flujo de caja los beneficios que genera el abono y el biogás. Ya que son beneficios sociales y no representan una ganancia para la municipalidad. Por lo cual, es recomendable la evaluación de este proyecto con otras medidas como la del cálculo de un VAN SOCIAL.

9. CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

Se concluye que, la investigación mediante encuestas si proporciona información importante y más relevante para el análisis de información y por lo tanto generar una mejor solución en proyectos sociales como este.

El método de cuarteo al caracterizar la basura generada, entrega información realmente representativa e importante al momento de seleccionar una alternativa de tratamiento de residuos, abarcando así la mayor problemática del perfil de usuario seleccionado.

La tecnología de la biodigestión que fue la seleccionada como solución para la problemática, además de ser una tecnología novedosa, provechosa y amigable con el medioambiente, es una buena solución para combatir el problema de la materia orgánica designada como basura. Sin embargo, para solucionar el total de la acumulación a la falta de periodicidad de recolección, se debe dar una solución a la cantidad de residuos restantes que son los inorgánicos. Su alcance no es al cien por ciento de los residuos, por lo cual será necesario complementar esta solución con un plan de reciclaje el cual proponga una solución eficiente para el manejo de residuos inorgánicos.

La materia orgánica diaria generada como desechos y la cantidad de excretas disponibles según familias, se consideran los parámetros más importantes a la hora de contar con la tecnología de la biodigestión ya que, si no se generase una cantidad significativa, sería imposible la construcción de una tecnología, aunque sea de bajo costo.

La generación de biogás es un gas que puede suplementar el consumo de combustibles fósiles y reducir el impacto ambiental que estos producen tanto al ser obtenidos como los resultados luego de sus combustiones [47].

Se concluye también que, en comparación con las formas de abonos existentes, la generación de Bioabono es una manera mejorada de generación de nutrientes, los cuales carecen de gases que aportan al efecto invernadero como lo es en el compostaje. Además, que se estima que la pérdida de energía de un proceso aeróbico es aproximadamente veinte veces superior al de un proceso anaeróbico [30].

Se concluye que el impacto ambiental que tiene la tecnología seleccionada es positivo, porque reduce los olores, las emisiones de dióxido de carbono y la concentración de gases como el amoníaco. Además, evita la pérdida de recursos energéticos no renovables, la presencia de insectos y las enfermedades [47]. Podría ser una tecnología aprovechada en Chile ya que el país presenta un importante potencial ganadero y agrícola, la implementación de biodigestores representaría una solución limpia y sustentable para el tratamiento y aprovechamiento de los residuos en ambas industrias, generando un beneficio tanto medioambiental como poblacional [48]. El principal beneficio ambiental del proyecto y como solución a la problemática presentada por la Fundación, es la disminución de cantidad de residuos en los rellenos sanitarios.

Socialmente el proyecto generará un cambio en la cultura de manejo de residuos, de modo que a futuro se consiga tomar conciencia de la pérdida energética al considerar basura la materia orgánica desechada.

Los indicadores económicos básicos muestran que el desarrollo del proyecto si es viable en las opciones A y B en un horizonte muy cercano por lo cual se podría

desarrollar en la Comuna de Putaendo y tomarse como ejemplo para distintas localidades rurales en el país. Sin embargo, al evaluarlo con una tasa de descuento mayor, la opción B ya deja de ser una opción en la que el proyecto es viable lo cual requiere un análisis de sensibilidad.

Teniendo en consideración que los indicadores económicos no son muy aceptables en el horizonte establecido cuando se le asigna un valor muy grande a la recolección restante de la zona rural de Putaendo y además para este análisis no se está considerando todos los beneficios sociales que el proyecto trae consigo. Es recomendable la EVALUACIÓN SOCIAL de este proyecto, con el cálculo de un VAN SOCIAL el cual justificaría la realización de este debido a que ahí se tomaría en cuenta y se le asignaría valores a beneficios tales como la generación de biogás, la generación de abono y la separación de la basura en el origen

Por último, se concluye que el proyecto acercará a la gente de zonas rurales al buen uso de las nuevas tecnologías y traerá como consecuencia una cultura de gestión de residuos que afectará positivamente a sus vidas y al medioambiente.

10. REFERENCIAS

- [1] Diario Oficial de la Unión Europea (2008). Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo.
- [2] Tchobanoglous, G. et Al. (1994) Gestión Integral de Residuos Sólidos. s.l.: Mc Graw-Hill
- [3] Ministerio del Medio Ambiente de Gobierno de Chile (2011). Informe del estado del Medio Ambiente. <http://www.mma.gob.cl/1304/articles-52016_resumen_ejecutivo2011.pdf> (accessed 23.5.17).
- [4] Hilbert, J., Eppel, J. 2007. Desafíos y Estrategias para Implementar la Digestión Anaeróbica en los Agrosistemas. Argentina.
- [5] Comisión Nacional de Medio Ambiente (2010). Primer Reporte del Manejo de Residuos Sólidos en Chile. < http://www.sinia.cl/1292/articles-49564_informe_final.pdf >. (accessed 12.4.17).
- [6] Desafíos Memorias Multidisciplinarias 2017 (2017). < <http://competencia transversales.usm.cl/index.php/memorias-multidisciplinarias#desafios2> > . (accessed 22.5.17).
- [7] Fundación ECOSAN <www.fundacionecosan.org> (accessed 18.4.17).
- [8] Bernardo Parra Leiva (2008), ¿Cuánto sabes de la historia de Putaendo?, Corporación Cultural de Putaendo. Valparaíso.

[9] José Ovalle Prado y Leopoldo Ahumada García (1973): "Putando, su valle y rinconadas". Valparaíso: Tesis, Instituto de Geografía, UCV.

[10] CLIME-DATA.ORG <<https://es.climate-data.org/location/149037/>>.(accessed 20.5.17)

[11] Bernardo Parra Leiva (2003): "Conocimiento y protección de la biodiversidad del valle de Putaendo". Centro de artes y oficios Almendral. San Felipe

[12] Futuro Renovable. <<http://www.futurorenovable.cl/el-proyecto-minero-vizcachitas-y-el-conflicto-por-el-recurso-hidrico-en-la-cuenca-del-rio-putaendo/>>.
(accessed 20.5.17)

[13] INE. (2017). Censo 2017. Síntesis de Resultados. Santiago.

[14] Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, SECOFI, Dirección General de Normas. (1985). Protección al ambiente- Contaminación del suelo- Residuos sólidos municipales-Muestreo- Método de cuarteo. Norma Mexicana NMX-AA-15-1985 , 1-8.

[15] ECOAMERICA. 2006. Primer catastro. Sitios de disposición final gestión y tratamientos de residuos sólidos domiciliarios e industriales. Santiago, Chile. 95 p.

[16] CUCHÍ, A.; SAGRERA, A. 2007. Reutilización y Reciclaje de los Residuos del Sector de la Construcción. Barcelona, España. Ediciones Ambienta. 68 p.

[17] INDISA S.A. (2014). Manual técnico de equipo compactador de residuos sólidos. Hidromecánica. Ingeniería de Proyectos. División Hidráulica y Neumática, Medellín, pp. 10.

[18] SELTER S.A. 2010 Sistemas magnéticos de separación para el reciclaje industrial y tratamiento de residuos. Girona, España.

[19] MMA. (Ministerio de Medio Ambiente), 2011. Mejores Técnicas Disponibles de referencia europea para Incineración de Residuos. Documento BREF. ISBN: 978- 84-491-1147-1. Malaga España.

[20] MAPAMA. (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente de España). <<http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/prevencion-y-gestion-residuos/flujos/domesticos/gestion/sistema-tratamiento/Pirolisis.aspx>. (accessed 10.12.17)

[21] Huerta O, López M., Molina, N, Soliva M. y Martínez, X. 2008. Planta de co-compostaje de la fracción orgánica de RSU y restos vegetales. pp. 102:36-46.

[22] Rodríguez L, Borroto M y Vega O. 2014 Lombricultura, una alternativa en el manejo de los residuos orgánicos. Universidad de Ciego de Ávila. Centro Reproductor de Entomófagos y Entomopatógenos de Cacahual, Ciro Redondo, Ciego de Ávila. 26p

[23] Arias J. (1978). Digestión anaerobia de desechos orgánicos: Prioridad estratégica para el ecodesarrollo. Reunión Nacional sobre Energía no Convencional. Palmira, Morelos, 16 p

- [24] Jain, S. ; Lala, A. ; Bhatia, S. ; Kudchadker, A.: Modelling of hydrolysis controlled anaerobic digestion. En: J. Chem. Technol. Biotechnol. 53 (1992), p. 337–344
- [25] Koster, I.: Liquefaction and acidogenesis of tomatoes in an anaerobic two-phase solid-waste treatment system. En: Agric Wastes 11 (1984), p. 241–252
- [26] Pavlostathis, S. ; Giraldo-Gomez ´, E.: Kinetics of anaerobic treatment: a critical review. En: Critical reviews in environmental Control 21 (1991), p. 411–490
- [27] Stams, A.: Metabolic interactions between anaerobic bacteria in methanogenic environments. En: Antonie van Leeuwenhoek. 66 (1994), p. 271–294
- [28] Insam H., Franke-Wittle I. y Goberna M. 2009. Microbes in aerobic and anaerobic waste treatment. En: Microbes at work. From wastes to resources. Insam H., Franke-Wittle I. y Goberna M. (Eds). Pp. 1-34. Springer. Heidelberg, Dordrecht, London, New York.
- [29] ALAZARD, D, y MOLINA, F. 1997. Microbiología de la Digestión Anaerobia y Caracterización de Lodos Anaerobios. Universidad de Antioquia, Medellín Colombia.
- [30] Varnero, M.T. 2011. Manual del biogás. Ministerio de Energía. Proyecto CHI/00/G32 “Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables”. Gobierno de Chile. Santiago, Chile.
- [31] Varnero, M.T. y Arellano, J. 1990. Aprovechamiento racional de desechos orgánicos. Ministerio de Agricultura (FIA). Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Informe Técnico. Santiago, Chile, 98p.

[32] Esguerra, M. (1989). Experiencias prácticas con biodigestores de bajo costo para la generación de energía y el tratamiento de aguas residuales en países en desarrollo. Conferencia Internacional de Mecanización Agraria. Seminario FAO-CNRE: Tecnologías de producción de biogás, pág. 171-178. España.

[33] Deublein D., Steinhauser A. 2008. Biogas from waste and renewable resources: An Introduction. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co KGaA, Weinheim. 443 p.

[34] De la Torre N. 2008. Digestión Anaeróbica en comunidades rurales. Universidad Carlos de Madrid. Depto Ingeniería térmica y fluidos. 27 p.

[35] Varnero, M.T. 1991. Manual de Reciclaje Orgánico y Biogás. Ministerio de Agricultura (FIA) – Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Santiago, Chile, 48p.

[36] Speece, R. E. 1996. Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatments. Archae Press, Nashville, TN, USA.

[37] Varnero, M.T. 2001. Desarrollo de substratos: Compost y Bioabonos. In: Experiencias Internacionales en la Rehabilitación de Espacios Degradados. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Publicaciones Misceláneas Forestales N° 3, 123p. 21 –30.

[38] Grupo Sanchiz <http://gruposanchiz.es/biogas/> (accesed 12.03.18)

[39] Deutsche Gesellschaft Sonnenenergie & ECOFYS. (2005). Planning and Installing Bioenergy Systems: A guide por installers, architects and engineers. UK: James & James.

- [40] Hilbert J. 2011. Manual para la producción del biogás. I.N.T.A. 32p
- [41] Tipos de digestores y sus diseños <<https://www.aboutespanol.com/tipos-de-biodigestores-y-sus-disenos-3417696>> (accesed 15.4.18)
- [42] Ecocosas <<https://ecocosas.com/energias-renovables/biodigestor/>>
- [43] Lagrange, B. 1979. Biomethane. Principes, Techniques, Utilisation. Vol.2 . Edisual / Energies Alternatives. 249pp.
- [44] Ferraz, J. M. G., Mariel, I. E.1980. Biogas una fonte alternativa de energía, Brasil, 27 p
- [45] Sganzerla, E., 1993. Biodigestor: uma solucao. Porto Alegre: Agropecuaria.
- [46] Subsecretaria de Evaluación Social, Ministerio De Desarrollo Social, 2014. Estimación de la Tasa Social de Descuento en el Largo Plazo en el Marco del Sistema Nacional de Inversiones. 114p
- [47] Unimedios, Agencia de Noticias UN Desarrollo Rural “Biodigestores mejoran calidad ambiental del Valle del Cauca”, 2017. <<http://agenciadenoticias.unal.edu.co/detalle/article/biodigestores-mejoran-calidad-ambiental-del-valle-del-cauca.html>> (accesed 10.6.2018)
- [48] ODEPA, Ministerio de Agricultura Oficina de Estudios y Políticas Agraria, Gobierno de Chile, 2014. “Agricultura Chilena: Una Perspectiva de Mediano Plazo”

ANEXOS

ANEXO A: Encuesta realizada en sectores rurales de Putaendo

Modelo de encuesta para el diagnóstico mínimo del manejo de residuos sólidos

1.

Nombre completo del encuestador:			
Zona:	Clima:		
Población Total:	Épocas de lluvia		
Nombre completo del entrevistado:			
Dirección:			
Hogares por vivienda:			
Número de habitantes en la vivienda:			
Adulto mayor:	Adulto:	Niños:	Bebés:

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? _____

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

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?

xii) ¿El tacho de basura se mantiene cerrado? OBSERVAR, comparación entre lo que dice y se observa.

- (a) Si ()
- (b) No ()
- (c) Algunas veces ()

xiii) ¿Quién de la familia se encarga de sacar la basura?

- (a) Padre ()
- (b) Madre ()
- (c) Hijo ()
- (d) Hija ()
- (e) Cualquiera ()

xiv) ¿Quién recoge la basura de su casa?

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

xv) ¿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 ()

xvi) ¿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 _____

xvii) ¿Se acumula la basura en su casa?

xviii) 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 _____

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

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

xxi) ¿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 recolección ()
- (d) Por negligencia de la población ()

SOBRE LA SEGREGACIÓN Y REUSO DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS

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

- (a) Sí () ¿En qué? _____
- (b) No ()

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

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

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

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

SOBRE LOS RECURSOS DISPONIBLES

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

- (a) Sí () ¿Cuáles? _____
- (b) No ()

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

- a) Sí () ¿Qué hace? _____
- b) No ()

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

- a) Sí () ¿Cuál? _____
- b) No ()

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

ANEXO B: Ficha técnica fosa séptica horizontal 2500 L

FICHA TÉCNICA

ATRIBUTO	DETALLE
Altura:	1360 mm. (con tapa)
Ancho:	1200 mm.
Largo:	1950 mm.
Volúmen total:	2500 lts.
Volúmen útil:	2200 lts.
Limpieza:	1 vez cada 2 años.
Función:	Decantación de la materia orgánica para un óptimo tratamiento de aguas servidas.
Uso:	8 personas según dotación 250 lts. / hab. / día
Incluye:	Conexiones PVC y goma de sello en entrada y salida.
Características:	Todas las entradas y salidas de las fosa séptica corresponde a 110 mm. o 4". Escotilla: Diámetro 600 mm.
Tubo drenaje recomendado:	25 mt. para un índice de absorción normal.
Tipo:	✔ Reforzado

ANEXO C: Cotización bidones 60 litros

BIDONES TAPA 40 Y 3.4, REDONDOS 60, 50 Y 25 LTS. , BOCA 5.5 PAPAYERAS
(RESUMEN PÁGINA)

PÁGINA
5

Nota: Al envasar Fertilizantes Líquidos, Abono Foliar, Agua Oxigenada, Ácido Peracético e Hipoclorito de Sodio se debe usar envases tapa con ventilación (valvulada)

3 M .- BIDONES 60 LTS.

CÓDIGO

BIDÓN 60 LTS. REDONDO BOCA ANCHA TAPA 10 CMS. Y 2,9 NATURAL	11040180NA	18500
BIDÓN 60 LTS. REDONDO BOCA ANGOSTA TAPA 2,9 Y 5,5 APILABLE NATURAL	11040150NA	18000
BIDÓN 60 LTS. PALLET BOCA 5.5 INV. AZUL EST. SIN TAPA	1304105IAE	15500
BIDÓN 60 LTS. PALLET ROSCA INTERNA TAPA RIEKE PARA INSTALAR LLAVE 3/4	11310055NA	16500
BIDÓN 60 LTS. REDONDO PEAD B/2" Y 3/4" R. INT NATURAL	11310050NA	15500
BIDÓN 60 LTS. REDONDO APM B/2" Y 3/4" R. INT AZUL	11310050AE	15500
BIDÓN 60 LTS. REDONDO PEAD B/2" Y 3/4" R. INT NEGRO A PEDIDO SOBRE 500 UN.	11310050NE	15500
BIDÓN 60 LTS. REDONDO B/2 Y 3/4 ROSCA INTERNA MANILLA LATERAL	11310051AE	15000
TAPA INVOLABLE BOCA 5.5 CMS.(SIN PESTAÑA)	1106155100	360

ANEXO D: Ficha técnica bidón 60 litros

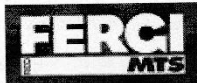
	FORMATO HOJA TÉCNICA DE PRODUCTO PLÁSTICOS HADDAD S.A.
---	--

Descripción	: BIDON 60 LT RED. B/2 Y 3/4 R. INT MANILLA LATERAL
Código	: 11310051AE



Proceso	: SOPLADO
Material	: POLIETILENO ALTO PESO MOLECULAR
Color	: AZUL
Tara	: 2800 g.
Capacidad	: 60 L.
Cámara de aire	:
Resistencia Impacto	:
Superficie	:
Aroma	: SIN OLOR EXTRAÑO AL PLÁSTICO
Apilamiento	: BASE + 1 UINID.

ANEXO E: Cotización de materiales varios para construcción



MAIPU # 551 LINARES
FONO FAX 073-633378 Fono 073-633370

COTIZACIÓN

Número	40939 / 22-05-2017
Cliente	17.884.654-K AMPUERO SEGEL FABIAN
Emitido Por	SOTO CARLOS


Código	Descripción	U. M.	Cant.	P.U.	Desc.	Total
243005005	ESTANQUE VERTICAL EXTERIOR 630 LTS.	UN	1,00	72.195,65	10,00	64.976
010002001	TUB.PVC HIDRA. TIRA 1 mts. 20 MM C-16	UN	1,00	255,21	,00	255
010002035	TUB.PVC HIDRA. TIRA 6 mts. 63 MM C-10	UN	1,00	9.609,15	10,00	8.648
016011001	FITTING PRESION SALIDA ESTANQUE CEM HE 20 x 1/2	CU	8,00	611,94	10,00	4.406
016003001	FITTING PRESION CODO 90 CEM 20 MM.	CU	2,00	93,06	,00	186
016002001	FITTING PRESION CODO 45 CEM 20 MM.	CU	1,00	117,03	,00	117
016001001	FITTING PRESION TEE CEM 20 MM.	CU	2,00	133,95	,00	268
016013006	FITTING PRESION TAPA TORNILLO HE 2	CU	1,00	561,18	,00	561
016009001	FITTING PRESION TERMINAL CEM HI 20 x 1/2	CU	1,00	88,83	,00	89
016012001	FITTING PRESION TAPA GORRO HI 1/2	CU	1,00	91,65	,00	92
361080030	ACQUAMIX VALVULA BOLA 2	UN	1,00	17.718,96	,00	17.719
016010006	FITTING PRESION TERMINAL CEM HE 63 X 2	CU	2,00	1.340,91	,00	2.682
109025005	VALVULA PVC BOLA 20 MM CEM C-10	UN	2,00	813,57	,00	1.627
439001005	MANOMETRO GLICERINA ALTON 0-10 BAR 65 MM	UN	1,00	7.800,75	,00	7.801
011001002	CANERIA COBRE 1/2" L. mt.	UN	3,00	3.155,85	,00	9.468
052007010	MANGUERA OXI-GAS ACETILENO 5/16 ROJA	MT	1,00	1.236,22	,00	1.236
416005005	ADHESIVO P/PVC LATA 250 CC SECADO LENTO/HUMEDAD	UN	2,00	2.604,27	,00	5.209
003018001	HENKEL ELASTOS.1100 CART.TRANSF.300 ML.	CU	1,00	3.140,14	10,00	2.828

NETO : 128.166
IVA 19,00% : 24.352
TOTAL : 152.518

REFERENCIA
PRECIO UNITARIO + IVA PAGO CONTADO
VALIDEZ 3 DIAS HABLES

Ferretería Gidi Ltda.
Rut: 78.320.560-2
Maipu # 551-Linares

ANEXO F: Cotización Fosa Séptica Horizontal 2500 L



POLIETILENOS BIOPLASTIC CHILE LTDA.
Fabricación de Productos de Polietileno y Transporte de Carga
Casa Matriz: Camino Santa Sofía S/N - Parcela 1
Calera de Tango - Santiago

Sucursales:

- Av. Collin 833, Chillan, Región Bio Bio.
- Patricio Lynch 1451, Osorno, Región de los Lagos.
- Ruta5, Camino a Castro S/N, Sector Uau Uau, Comuna Castro, Región de los Lagos.
- Parcela 3-A-3, Camino Cabildo, La Ligua, Valparaíso.
- Parque Empres. Pto. Varas LT16 Rotonda Iaja 9, Comuna Pto Varas, Región de los Lagos

Fono Central (56) 227155200

R.U.T.: 77.704.270-K

**GUÍA DE DESPACHO
ELECTRÓNICA**

N° 95556

S. I. I. - SANTIAGO SUR

TIPO TRASLADO: 1 (Operación Constituye Venta)

FECHA : 13 - 03 - 2018
SEÑOR(ES) : MECSA INGENIERIA LIMITADA
RUT : 79.826.710-8
DIRECCION : ESQUINA PASAJE EL BELLOTO S/N
CIUDAD : VALPARAISO
GIRO : INGENIERIA

ATENCION A : 56 9 7125 4450
VENCIMIENTO : 13 - 03 - 2018
COND. DE VENTA : Transferencia Bancaria
COMUNA : QUINTEROS
FOLIO SAP : VTA DIRECTA
FORMA PAGO : Contado

DOCUMENTOS REFERENCIADOS


TIPO DOCUMENTO	FOLIO	FECHA

CODIGO	DESCRIPCION	U. MEDIDA	CANTIDAD	DESCT. %	PRECIO UNITARIO	SUB-TOTAL
FSH2500	Fosa Séptica Horizontal 2500 Lts. Monoblock Polietileno	Manual	1,00	25.00%	210.167,00	210.167
CLOR0100	Cámara Cloradora 100 Lts Polietileno	Manual	1,00	25.00%	33.637,00	33.637
DECL00100	Cámara Decloradora 100 Lts Polietileno	Manual	1,00	25.00%	33.637,00	33.637
C30001	Malla Geotextil Ancho 0.8 Metros Tipo TS20	Manual	25,00	8.00%	1.346,88	33.672
FLETE	Servicio de Flete	Manual	1,00		25.000,00	25.000

OBSERVACIONES: PAGA TOTAL CON TRANSFERENCIA VERIFICADA POR IACEVEDO. Basado en Ofertas de ventas 68794. B asado en Pedidos de cliente 70478. Basado en Facturas clientes 93114.

SON: TRESCIENTOS NOVENTA Y NUEVE MIL NOVECIENTOS SETENTA Y CUATRO PESOS

Destino: ESQUINA PASAJE EL BELLOTO S/N	Comuna: QUINTEROS	DESCUENTO	0
Chofer: T. Campos	Ciudad: VALPARAISO	MONTO EXENTO	\$0
RUT: 9170633-4	Patente: SK6383	MONTO NETO	\$336.113
RUT Transporte: 9170633-4		19% IVA	\$63.861
		OTROS IMPUESTOS	\$0
		MONTO TOTAL	\$399.974



Timbre Electrónico SII
Res. 80 del 2014 - Verifique Documento: www.sii.cl
Consulte sus documentos en www.febos.cl
FEBOS ID: e1eae0f-7ff6-43f6-bd3b-ccc9b0040eeb

ANEXO G: Detalle Flujo de caja opción A con tasa 3% y 12%

	AÑOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS												
PRESUPUESTO ANUAL (+)		-	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587
COSTOS OPERACION												
MANTENCION		-										
Mantenimiento 4 veces/año (-)			\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000
Depreciación (-)			\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600
Total mantención (-)			\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600
MANO DE OBRA												
Mano de obra 4 veces/año (-)			\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000
Transporte 4 veces/año (-)			\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000
Total mano de obra (-)			\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000
RECOLECCION RESTANTE			\$30.000.000	\$30.000.000	\$30.000.000	\$30.000.000	\$30.000.000	\$30.000.000	\$30.000.000	\$30.000.000	\$30.000.000	\$30.000.000
TOTAL OPEX (-)			\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600
Depreciación (+)			\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600
INVERSION (+)			\$236.333.400									
Flujo de caja			\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587
Valor presente			\$32.677.268	\$31.725.503	\$30.801.460	\$29.904.330	\$29.033.330	\$28.187.699	\$27.366.698	\$26.569.610	\$25.795.738	\$25.044.405

	AÑOS	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
INGRESOS												
PRESUPUESTO ANUAL (+)		\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	
COSTOS OPERACION												
MANTENCION												
Mantenimiento 4 veces/año (-)			\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	
Depreciación (-)			\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	
Total mantención (-)			\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	
MANO DE OBRA												
Mano de obra 4 veces/año (-)			\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	
Transporte 4 veces/año (-)			\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	
Total mano de obra (-)			\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	
RECOLECCION RESTANTE			\$30.000.000	\$30.000.000	\$30.000.000	\$30.000.000	\$30.000.000	\$30.000.000	\$30.000.000	\$30.000.000	\$30.000.000	
TOTAL OPEX (-)			\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	
Depreciación (+)			\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	
INVERSION (-)												
Flujo de caja			\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	
Valor presente			\$24.314.957	\$23.606.754	\$22.919.179	\$22.251.630	\$21.603.524	\$20.974.295	\$20.363.393	\$19.770.285	\$19.194.451	\$18.635.390

AÑOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS											
PRESUPUESTO ANUAL (+)		\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587
COSTOS OPERACION											
MANTENCION	-										
Mantenición 4 veces/año (-)		\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000
Depreciación (-)		\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600
Total mantención (-)		\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600
MANO DE OBRA											
Mano de obra 4 veces/año (-)		\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000
Transporte 4 veces/año (-)		\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000
Total mano de obra (-)		\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000
RECOLECCIÓN RESTANTE											
TOTAL OPEX (-)		\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600
Depreciación (+)		\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600
INVERSION (-)		\$236.333.400									
Flujo de caja		\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587
Valor presente		\$30.051.417	\$26.831.622	\$23.956.805	\$21.390.005	\$19.098.219	\$17.051.981	\$15.224.983	\$13.593.735	\$12.137.263	\$10.836.842

AÑOS	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
INGRESOS										
PRESUPUESTO ANUAL (+)	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587
COSTOS OPERACION										
MANTENCION										
Mantenición 4 veces/año (-)	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000
Depreciación (-)	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600
Total mantención (-)	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600
MANO DE OBRA										
Mano de obra 4 veces/año (-)	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000
Transporte 4 veces/año (-)	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000
Total mano de obra (-)	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000
RECOLECCIÓN RESTANTE										
TOTAL OPEX (-)	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600	\$71.701.600
Depreciación (+)	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600
INVERSION (-)										
Flujo de caja	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587	\$33.657.587
Valor presente	\$ 9.675.752	\$ 8.639.064	\$ 7.713.450	\$ 6.887.009	\$ 6.149.115	\$ 5.490.281	\$ 4.902.037	\$ 4.376.819	\$ 3.907.874	\$ 3.489.173

ANEXO H: Detalle Flujo de caja opción B con tasa 3% y 12%

AÑOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS											
PRESUPUESTO ANUAL (+)	-	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587
COSTOS OPERACION											
MANTENCION	-										
Mantenion 4 veces/año (-)		\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000
Depreciacion (-)		\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600
Total mantencion (-)		\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600
MANO DE OBRA											
Mano de obra 4 veces/año (-)		\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000
Transporte 4 veces/año (-)		\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000
Total mano de obra (-)		\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000
RECOLECCION RESTANTE											
TOTAL OPEX (-)		\$40.000.000	\$40.000.000	\$40.000.000	\$40.000.000	\$40.000.000	\$40.000.000	\$40.000.000	\$40.000.000	\$40.000.000	\$40.000.000
Depreciacion (+)		\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600
INVERSION (-)		\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600
Flujo de caja	\$236.333.400	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587
Valor presente		\$22.968.531	\$22.299.544	\$21.650.043	\$21.019.459	\$20.407.242	\$19.812.856	\$19.235.783	\$18.675.517	\$18.131.570	\$17.603.466

AÑOS	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
INGRESOS										
PRESUPUESTO ANUAL (+)	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587
COSTOS OPERACION										
MANTENCION										
Mantenion 4 veces/año (-)	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000
Depreciacion (-)	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600
Total mantencion (-)	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600
MANO DE OBRA										
Mano de obra 4 veces/año (-)	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000
Transporte 4 veces/año (-)	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000
Total mano de obra (-)	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000
RECOLECCION RESTANTE										
TOTAL OPEX (-)	\$40.000.000	\$40.000.000	\$40.000.000	\$40.000.000	\$40.000.000	\$40.000.000	\$40.000.000	\$40.000.000	\$40.000.000	\$40.000.000
Depreciacion (+)	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600
INVERSION (-)										
Flujo de caja	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587
Valor presente	\$17.090.744	\$ 16.592.955	\$16.109.665	\$15.640.452	\$15.184.905	\$14.742.626	\$14.313.229	\$13.896.539	\$13.491.591	\$13.098.632

AÑOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS	-										
PRESUPUESTO ANUAL (+)		\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587
COSTOS OPERACION											
MANTENCIÓN	-										
Mantención 4 veces/año (-)		\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000
Depreciación (-)		\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600
Total mantención (-)		\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600
MANO DE OBRA											
Mano de obra 4 veces/año (-)		\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000
Transporte 4 veces/año (-)		\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000
Total mano de obra (-)		\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000
RECOLECCIÓN RESTANTE											
TOTAL OPEX (-)		\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600
Depreciación (+)		\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600
INVERSION (+)	\$236.333.400										
Flujo de caja		\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587
Valor presente		\$21.122.845	\$18.859.683	\$16.839.003	\$15.034.824	\$13.423.950	\$11.985.670	\$10.701.491	\$9.554.902	\$8.531.163	\$7.617.110

AÑOS	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
INGRESOS										
PRESUPUESTO ANUAL (+)	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587
COSTOS OPERACION										
MANTENCIÓN										
Mantención 4 veces/año (-)	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000
Depreciación (-)	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600
Total mantención (-)	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600
MANO DE OBRA										
Mano de obra 4 veces/año (-)	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000
Transporte 4 veces/año (-)	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000
Total mano de obra (-)	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000
RECOLECCIÓN RESTANTE										
TOTAL OPEX (-)	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600	\$81.701.600
Depreciación (+)	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600
INVERSION (-)										
Flujo de caja	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587	\$23.657.587
Valor presente	\$ 6.800.991	\$ 6.072.313	\$ 5.421.708	\$ 4.840.811	\$ 4.322.153	\$ 3.859.065	\$ 3.445.594	\$ 3.076.423	\$ 2.746.806	\$ 2.452.505

ANEXO I: Detalle Flujo de caja opción C con tasa 3% y 12%

AÑOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS	-										
PRESUPUESTO ANUAL (+)	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587
COSTOS OPERACION											
MANTENCION	-										
Mantenimiento 4 veces/año (-)		\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000
Depreciación (-)		\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600
Total mantenimiento (-)		\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600
MANO DE OBRA											
Mano de obra 4 veces/año (-)		\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000
Transporte 4 veces/año (-)		\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000
Total mano de obra (-)		\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000
RECOLECCION RESTANTE		\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000
TOTAL OPEX (-)		\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600
Depreciación (+)		\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600
INVERSIÓN (-)	\$236.333.400										
Flujo de caja		\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587
Valor presente		\$3.551.055	\$3.447.626	\$3.347.210	\$3.249.718	\$3.155.066	\$3.063.171	\$2.973.953	\$2.887.333	\$2.805.236	\$2.721.588

AÑOS	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
INGRESOS										
PRESUPUESTO ANUAL (+)	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587
COSTOS OPERACION										
MANTENCION										
Mantenimiento 4 veces/año (-)	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000
Depreciación (-)	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600
Total mantenimiento (-)	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600
MANO DE OBRA										
Mano de obra 4 veces/año (-)	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000
Transporte 4 veces/año (-)	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000
Total mano de obra (-)	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000
RECOLECCION RESTANTE	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000
TOTAL OPEX (-)	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600
Depreciación (+)	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600
INVERSIÓN (-)										
Flujo de caja	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587
Valor presente	\$ 2.642.318	\$ 2.565.358	\$ 2.490.658	\$ 2.418.096	\$ 2.347.666	\$ 2.279.287	\$ 2.212.900	\$ 2.148.447	\$ 2.085.871	\$ 2.025.117

AÑOS	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
INGRESOS	-										
PRESUPUESTO ANUAL (+)		\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587
COSTOS OPERACION											
MANTENCION	-										
Mantenion 4 veces/año (-)		\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000
Depreciacion (-)		\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600
Total mantencion (-)		\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600
MANO DE OBRA											
Mano de obra 4 veces/año (-)		\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000
Transporte 4 veces/año (-)		\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000
Total mano de obra (-)		\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000
RECOLECCION RESTANTE											
TOTAL OPEX (-)		\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000
TOTAL OPEX (-)		\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600
Depreciacion (-)		\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600
INVERSION (+)		\$236.333.400									
Flujo de caja		\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587
Valor presente		\$3.265.702	\$2.915.806	\$2.603.398	\$2.324.462	\$2.075.413	\$1.853.047	\$1.654.506	\$1.477.238	\$1.318.962	\$1.177.645

AÑOS	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
INGRESOS										
PRESUPUESTO ANUAL (+)	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587	\$101.257.587
COSTOS OPERACION										
MANTENCION										
Mantenion 4 veces/año (-)	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000	\$24.000.000
Depreciacion (-)	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600
Total mantencion (-)	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600	\$28.101.600
MANO DE OBRA										
Mano de obra 4 veces/año (-)	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000	\$12.000.000
Transporte 4 veces/año (-)	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000	\$1.600.000
Total mano de obra (-)	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000	\$13.600.000
RECOLECCION RESTANTE										
TOTAL OPEX (-)	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000	\$60.000.000
TOTAL OPEX (-)	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600	\$101.701.600
Depreciacion (-)	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600	\$4.101.600
INVERSION (-)										
Flujo de caja	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587	\$3.657.587
Valor presente	\$ 1.051.469	\$ 938.811	\$ 838.224	\$ 748.415	\$ 668.227	\$ 596.632	\$ 532.707	\$ 475.631	\$ 424.671	\$ 379.170