

H-FC
Ambiental
21
1



**PROPUESTA DE ESTUDIO PARA DESARROLLAR PLANTA DE TRATAMIENTO DE
BIOMASA, GENERACIÓN DE BIOGÁS Y SUSTRATOS ORGÁNICOS**

Seminario de Título

entregado a la

Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile

en cumplimiento parcial de los requisitos

para optar al título de

QUÍMICO AMBIENTAL

Mabel Tamara Rivera Araya



Director de Seminario de Título : Germán Carú Gutierrez

Profesor Patrocinante : Julio Hidalgo

Agosto, 2008

FACULTAD DE CIENCIAS
UNIVERSIDAD DE CHILE

INFORME DE APROBACIÓN
SEMINARIO DE TÍTULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile que el Seminario de Título presentado por el alumno

Mabel Tamara Rivera Araya

Ha sido aprobado por la comisión de Evaluación del Seminario de Título como requisito para optar al título de Químico Ambiental

Comisión

Prof. Patrocinante: Mag. Julio Hidalgo



Corrector: M. Cs. Sylvia Copaja



Corrector: M. Cs. Hector Bravo



RESEÑA



Antecedentes Personales:

Cédula de Identidad: 15.398.911-7
Fecha de Nacimiento: 11 de Agosto de 1982
Estado Civil: Soltera
Nacionalidad: Chilena
Dirección: Eucaliptus Sur 18884, Ciudad Satélite, Maipú, Santiago.
Teléfonos: 3232557 – 82511406



Antecedentes Académicos:

Educación Superior: Licenciada en Ciencias Ambientales c/m en Química Ambiental.
Enseñanza Media: Liceo N°1 de niñas, Javiera Carrera, 7° básico a 4° Medio.
Enseñanza Básica: Colegio Alcázar, Maipú.

Antecedente Anexo:

- 640 puntos en examen **TOEIC**, forma parte del **Registro Nacional de inglés 2007**.

Antecedentes Laborales:

- 2006** **Universidad de Chile**, Facultad de Ciencias.
Realiza Unidad de Investigación con el título de *“Estudio del Proceso de Adsorción y Persistencia en suelos Collipulli y Diguillín”*.
- 2007** **Henkel Chile Ltda.**, Laboratorio de Control de Calidad.
Realiza Práctica Profesional, efectuando análisis fisicoquímicos a materias primas, productos intermedios y terminados.
- 2007** **Cesium AB Sweden**, Consultoría para Disal S.A. y comuna de Coltauco, sobre proyectos para la disposición de residuos y la posterior utilización de éstos para la producción de biogás y sustratos orgánicos. Este tema corresponde a la Memoria de Título, a presentarla en un periodo próximo.



Agradecimientos

A mi familia, mi pilar, que me ha dado las bases para lograr ser la persona que soy.

A mis amigos, los verdaderos, que han estado siempre acompañándome.

A mis compañeros, por todos los momentos inolvidables.

INDICE DE CONTENIDOS

Lista de Abreviaturas	xi
Glosario.....	xii
Resumen.....	xiv
Abstract.....	xvi
I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Área de Estudio.....	4
1.1.1. Región de Atacama	4
Provincia de Chañaral:	4
Provincia de Copiapó:.....	5
Provincia de Huasco.....	5
1.1.2. Clima.....	7
1.1.3. Hidrografía	8
1.1.4. Otras características.....	8
1.2. Consideraciones Ambientales.....	10
1.3. Economía	12
1.4. Proyectos en la Comuna y a nivel Regional	14
1.5. Disal Sucursal Vallenar	16
1.6. Objetivos	17
1.6.1. Objetivo general.....	17
1.6.2. Objetivos Específicos	17
MARCO TEÓRICO.....	18
1.7. Antecedentes	18
1.8. Residuos.....	19
a) Tipificación de Residuos	20
b) Volúmenes Estimados.....	23

Residuos cautivos.....	23
1.8.1. Volumen Total según escenario en estudio.....	29
1.9. Características Químicas	31
1.10. Alternativas de Tratamientos y sus Productos	34
1.10.1. Biogás.....	34
Producción teórica de biogás	35
a) Parámetros y optimización del proceso de producción de biogás	38
Temperatura del substrato	39
Disponibilidad de nutrientes	40
Tiempo de retención hidráulico (TRH).....	40
Valor de pH	41
Porcentaje de CO ₂ en los digestores.....	42
Agitación	43
Factores inhibitorios de la fermentación	43
b) Acondicionamiento del biogás previo a su utilización.....	44
c) Remoción de ácido sulfhídrico	45
1.10.2. Biodiesel.....	46
Proceso.....	48
Insumos Básicos.....	49
1.10.3. Compost.....	50
Producto.....	51
Descripción general del proceso:	51
Descripción	52
Variables que influyen en el proceso.....	53
Tamaño de Partículas.....	53
Humedad.....	53
Relación Carbono / Nitrógeno	54
Temperatura	54

Aireación.....	55
Control de pH.....	55
Formas de hacer compost.....	55
a) Compostaje en hileras:	56
b) Compostaje en pila estática aireada:.....	56
Beneficios del compost.....	56
Opinión Social.....	57
II MATERIALES Y MÉTODOS.....	65
2.1. Antecedentes	65
2.2. Descripción de la Corrientes a tratar.....	66
2.2.1. Residuos de Sanitarios protátiles.....	66
2.2.2. Residuos de Fosas Sépticas.....	67
2.2.3. Residuos Sólidos.....	67
2.2.4. Aceites y Grasas	68
2.3. Análisis de las Corrientes a Tratar.....	68
III RESULTADOS	73
3.1. Diseño Propuesta de Tratamiento	73
3.2. Especificaciones Técnicas y Criterios de Diseño	79
3.2.1. Estanque de Recepción V-101	80
3.2.2. Estanque de Ecuilizador EQ-101.....	81
3.2.3. Filtro de Placas PFF-101.....	81
3.2.4. Digestor Anaeróbico AD_101.....	82
3.2.6. Engine ENG-101	84
3.2.7. Filtro Placas PFF-102.....	84
3.2.8. Lodos Activos	85
3.2.10. Resumen de Alternativa Propuesta	87
3.2.11. Propuesta Línea de Generación de Biodiesel.....	88
3.3. Estudio de Prefactibilidad.....	91

3.3.4. Flujo de Caja	96
3.3.5. Análisis de Sensibilidad.....	97
3.4. Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)	102
IV DISCUSION	105
V CONCLUSIONES	106
ANEXOS.....	109
VI REFERENCIAS.....	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Volúmenes por residuo, considerando 7m ³ diarios.....	25
Tabla 2. Volúmenes por residuo, considerando 14m ³ diarios.....	25
Tabla 3. Volúmenes por residuo, considerando 28 m ³ diarios.....	26
Tabla 4. Resultado análisis químico residuos de Baños químicos	32
Tabla 5. Resultado análisis químico residuos de Fosas sépticas	32
Tabla 6. Resultado análisis químico residuos de casino.....	33
Tabla 7. Composición típica del Biogás	36
Tabla 8: Concentraciones limitantes de la metanogénesis para varios inhibidores.....	44
Tabla 9. Total de entrevistados y porcentaje de participación por comuna.....	58
Tabla 10. Participación grupo etario en las Encuestas	58
Tabla 11. "Características de Corriente N°1 Sanitarios Portátiles"	70
Tabla 12. "Características de Corriente N°2 Fosa Séptica"	71
Tabla 13. "Características de Corriente Residuos Sólidos"	71
Tabla 14: "Requerimientos y Rendimientos de proceso de producción de Biodiesel".....	88
Tabla 15: Equipos Utilizados	90
Tabla 16: Detalle de precio de los equipos	93
Tabla 17: Valores asignados como sueldos tentativos (de mercado).....	94
Tabla 18: Producción de la planta	95
Tabla 19: Ingresos Operacionales.....	95

Tabla 20: Ingresos no Operacionales.....	96
Tabla 21: TIR y VPN.....	97
Tabla 22: Producción Anual.....	98
Tabla 23: Total de Ingresos.....	98
Tabla 24: TIR y VPN.....	99
Tabla 25: Flujo de caja.....	100
Tabla 26: Análisis de Sensibilidad.....	101

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Clasificación sísmica, III región.....	9
Figura 2: Exportaciones, Región de Atacama.....	14
Figura 3: Participación de los residuos cautivos.....	24
Figura 4: Escenario 1.....	29
Figura 5. Escenario 2.....	30
Figura 6. Escenario 3.....	30
Figura 7: Producción de biogás.....	46
Figura 8:Proceso del Biodiesel.....	49
Figura 9: Mecanismo de la reacción de transesterificación.....	50
Figura 10: Respuestas preguntas 1-3 (grupo 1).....	60
Figura 11: Respuestas preguntas 4-6 (grupo 2).....	61
Figura 12: Respuestas preguntas 7 – 9 (grupo 3).....	62
Figura 13: Respuesta preguntas 10-12 (grupo 4).....	63
Figura 14: Respuestas preguntas 13 y 14 (grupo 5).....	64
Figura 15: Flowsheet Alternativa propuesta.....	79
Figura 16: Flowsheet tentativo para producción de Biodiesel.....	91

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1.....	111
Anexo 2. Encuesta Empresas	112
Anexo 3 Encuesta Social.....	114
Anexo 4: Parámetros de Corriente de Descarga de Sanitarios Portátiles	117
Anexo 5: Certificado de Biodegradabilidad de Sanilet	118
Anexo 6: Caracterización de Sanitarios Portátiles y Fosas Sépticas encargada por Cesium AB ..	119
Anexo 7: Muestra de Agua Residual de Carga de Aceites y Grasas.....	120
Anexo 8: Tabla N°3 de D.S. 609/98.....	121
Anexo 9: Tabla N°1 y 2 de NCh 1.333/78	122

Lista de abreviaturas

TRH	:	Tiempo de Retención Hidráulico
Q	:	Caudal
AGV	:	Ácidos Grasos Volátiles
GEI	:	Gases de Efecto Invernadero
MDL	:	Mecanismos de Desarrollo Limpio
TIR	:	Tasa Interna de Retorno
VPN	:	Valor Presente Neto

Glosario

Biogás: Es un gas combustible que se genera en medios naturales o en dispositivos específicos, por las reacciones de biodegradación de la materia orgánica, mediante la acción de microorganismos, (bacterias metanogénicas, etc...), y otros factores, en ausencia de aire (esto es, en un ambiente anaeróbico). Cuando la materia orgánica se descompone en ausencia de oxígeno, actúa este tipo de bacterias, generando biogás.

Biodiesel: Es un biocombustible sintético líquido que se obtiene a partir de lípidos naturales como aceites vegetales o grasas animales, nuevos o usados, mediante procesos industriales de esterificación y transesterificación.

Compost: (o abono orgánico) es el humus obtenido de manera natural por descomposición bioquímica al favorecer la fermentación aeróbica (con oxígeno) de residuos orgánicos como restos vegetales, animales, excrementos y purines, por medio de la reproducción masiva de bacterias aeróbicas termófilas que están presentes en forma natural en cualquier lugar. El compost se usa en agricultura y jardinería como enmienda para el suelo, aunque también se usa en paisajismo, control de la erosión, recubrimientos y recuperación de suelos.

Digestión aeróbica: es un proceso bacteriano que ocurre en presencia del oxígeno. Bajo condiciones aeróbicas, las bacterias consumen rápidamente la materia orgánica y la convierten en el bióxido de carbono. Una vez que haya una carencia de la materia orgánica, las bacterias mueren y son utilizadas como alimento por otras bacterias.

Digestion Anaerobica: es un proceso biológico complejo a través del cual, en ausencia de oxígeno, la materia orgánica es transformada en biogás o gas biológico, formado principalmente por metano y anhídrido carbónico. El porcentaje de metano en el biogás varía, según el tipo de materia orgánica digerida y de las condiciones del proceso, desde un mínimo de un 50% hasta un 80% aproximadamente.

DBO₅: es un parámetro que mide la cantidad de materia susceptible de ser consumida u oxidada por medios biológicos que contiene una muestra líquida, y se utiliza para determinar su grado de contaminación. Se mide transcurridos 5 días y se expresa en mg O₂/litro.

DQO: es un parámetro que mide la cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada por medios químicos que hay en una muestra líquida. Se utiliza para medir el grado de contaminación y se expresa en mg O₂/litro.

Resumen

El objetivo de este trabajo es buscar una solución técnicamente factible y económicamente rentable al problema de la disposición final de los RILes con alto contenido orgánico que Disal S.A. recolecta en la zona de la II a IV región y que permita, además, procesar los aceites y grasas de casinos y restaurantes que deben trasladarse desde el norte de Chile a Santiago por no existir otro lugar donde disponer ese tipo de compuestos.

Debido al tipo de residuos la solución debe permitir el tratamiento de las aguas residuales para cumplir con la normativa atingente. Esto puede ser abordado desde una perspectiva aeróbica o anaeróbica lo que condiciona los costos de operación y el monto de la inversión inicial. A priori se sabe que en general la alternativa aeróbica es de menor valor de inversión inicial, pero de costos operativos mayores que la alternativa anaeróbica, que considera una inversión inicial mayor, pero de costos operativos mucho menores que la alternativa aeróbica.

Debe ser parte del diseño de la solución el poder recuperar aguas de proceso para poder ser usadas ya sea como regadío o como parte de las aguas de los baños portátiles que Disal utiliza y que en la tercera región tienen un valor mucho mayor que en el resto del país.

Producto del diseño de la solución a los residuos líquidos, se espera generar productos que permitan tener impactos positivos para la empresa y la región. Lo primero que se desea es la recuperación de aguas de proceso, lo que permitiría pensar en reforestar parte de los terrenos de la empresa, la recuperación de suelos áridos entre otros, lo que

permitiría impactar positivamente al medio ambiente y hacer uso de los subproductos obtenidos como el biogás para la generación eléctrica y disminuir los costos operativos de la planta; además de usar el sustrato orgánico generado en el proceso anaeróbico para la recuperación de los suelos degradados en el terreno.

ABSTRACT

The main idea of the project is to look for a technically feasible and economically profitable solution the problem of the final disposition of the riles with high organic content that Disal S.A. it collects in the zone from the II to IV region and that allows, in addition, to process oils and fats of casinos and restaurants that must be transferred from the north from Chile to Santiago because not exist another place where to have that type compounds, which affects high costs of transport and that foments the clandestine disposition of this type of compounds.

Due to the type of remainders the solution had to allow the treatment of residual waters to fulfill the actually norm. This can be boarded from a aeróbica or anaerobic perspective what conditions the costs of operation and the amount of the initial investment. A priori we know that in general the aeróbica alternative is of smaller value of initial investment, but of operative costs greater than the anaerobic alternative, that considers initial an investment greater, but of operative costs much smaller than the aerobic alternative. For the case of oils and fats the solution will prospect that allows to treat effective and efficiently these remainders.

Must be part of the design of the solution recover waters of process to be able to be used or like irrigated land or part of waters of the portable baths that Disal uses and that in the third region has a value much greater than in the rest of the country. Product of the design of the solution to the liquid remainders, is hoped to generate products that allow to have positive impacts for the company and the region. First which it would be desired to prospect is the process water recovery, which would allow to think about reforesting part of

grounds of the company, the barren ground recovery among others, which would allow to hit positively to environment and to make use of by-products obtained like biogas (if it is decided on the anaerobic alternative) it electrical generation and to diminish the operative costs of the plant; besides to use the organic substrate generated in the anaerobic process for the recovery of grounds degraded in the land.

Final disposition of the RILes with high content of organic matter is desired to develop a feasibility study to evaluate a solution to the problem of the treatment/and for oils and fats. The solution to prospect must be technically feasible and economically profitable.

I INTRODUCCIÓN

Dentro de la contingencia nacional, se encuentran los problemas ambientales y la necesidad de la disposición final de los residuos industriales y domésticos. En las últimas décadas ha aumentado la población, y como consecuencia se produce el aumento de volúmenes generados de residuos, tanto industriales como domiciliarios. Por otra parte han disminuido las superficies disponibles donde disponer los residuos sin que afecte a la población.

En las últimas décadas la preocupación por el medio ambiente es una de las prioridades dentro del desarrollo de las grandes industrias, debido a la existencia de una legislación más exigente tanto a nivel nacional como internacional.

Es así, que los residuos deben ser generados en menor cantidad por medio de Mecanismos de Producción Limpia (MDL) y, en el caso de no poder evitar su generación, disponerlos en lugares autorizados o bien ser dispuestos en plantas de reciclaje o tratamiento.

La reutilización y minimización de los residuos, se puede lograr por diversos medios y tecnologías lo que puede generar distintos tipos de productos.

En la actualidad, las tecnologías van apuntando a la reutilización de residuos orgánicos, como biomasa para obtener principalmente, algún tipo de energía como producto (ej: biogás, biocombustibles, sustratos orgánicos), dada la escasez de ésta a nivel global.

El biogás, se obtiene a partir de la degradación anaeróbica de la materia orgánica presente en los desechos, donde al final del proceso se obtiene un gas rico en CH_4 (>50%) y CO_2 (<50%), el cual posee además, trazas de Nitrogeno (N_2), Hidrógeno (H_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S), vapor de agua, Amoníaco (NH_3) y compuestos aromáticos

como escatol y catecol. Finalmente se convierte en un gas con alto poder combustible (Guerreros, y col. 2003).

Otra alternativa para tratar los residuos orgánicos es a través de tecnología que permite la fermentación de ellos por medio de degradación aeróbica

El presente trabajo considera la instalación de una planta para tratamiento de residuos orgánicos en la comuna de Vallenar (III región), estos serán tratados con el objetivo de producir biogás, recuperación de aguas para riego y/o sustrato orgánico (compost).

Es así que se busca la reutilización de los Residuos industriales Líquidos transportados por la empresa Disal sucursal Vallenar (III región), con la posibilidad de tratar los residuos provenientes de las sucursales de Coquimbo (IV región) y Copiapó (III región).

A su vez, considera la integración de residuos sólidos orgánicos separados en el origen (Ferias libres, podas y talas municipales) dependiendo de los requerimientos de funcionamiento de la planta.

Antes de cualquier inversión es necesario conocer el estado en que se encuentra el mercado objetivo y el mercado en general, especialmente el enfoque de acuerdo al escenario que desea buscar la empresa y/o el inversionista. De manera de posicionar adecuadamente el proyecto y sus beneficios.

El presente estudio pretende dar un escenario actualizado de las características demográficas, geográficas, productivas y proyecciones de la región en estudio (III región) y de las características de la Empresa Disal en la región en cuanto a sus residuos cauticos, principalmente líquidos (RILes), y los posibles residuos que ya se encuentran separados en el origen (Ferias libres y mantención de áreas verdes), entre otros, de manera respaldar el diseño del proyecto de Factibilidad Técnico Económico de la Planta de Tratamiento de Biomasa, elaboración de Biogás y sustratos orgánicos.

El proyecto se enmarca en la necesidad y oportunidad de tratar los residuos ya mencionados, que en la actualidad son transportados y dispuestos en la planta de tratamiento Aguas Chañar. Es por esto que la construcción de la planta de tratamientos una oportunidad estratégica, económica y/o ambiental.

En la actualidad existe una variada oferta de alternativas para el tratamiento de residuos, orientadas por la contingencia nacional e internacional, a generar energías renovables o bien, para evitar la contaminación ambiental. Dependiendo de la alternativa utilizada se pueden obtener distintos productos como biogás, biodiesel y/o sustratos orgánicos entre otros subproductos que se revisan en el acápite de Antecedentes.

1.1. Área de Estudio

El área de estudio del presente proyecto se extiende en la Región de Atacama (III) y principalmente en la comuna de Vallenar perteneciente a la Provincia de Huasco.

A modo de descripción a continuación se establece una breve caracterización de la región en cuestión:

1.1.1. Región de Atacama

La III Región de Atacama se extiende entre los paralelos 25°17' y los 29°30' de latitud sur y desde los 68°17' longitud oeste hasta el Océano Pacífico. La III Región de Atacama limita al norte con la II Región de Atacama, al sur con la IV Región de Coquimbo, por el este con la República de Argentina y por el oeste con el Océano Pacífico.

La región de Atacama tiene una superficie de 75.176 km², representando el 9,9% de la superficie del país. La población regional es de 254.336 habitantes, equivalente al 1.67% de la población nacional y su densidad alcanza a 3.4 hab/km².

La capital de la región es Copiapó y está dividida administrativamente en 3 provincias y 9 comunas, que se describen a continuación:

Provincia de Chañaral:

La capital provincial es Chañaral, ciudad de tránsito, cuya actividad comercial deriva de la minería local. Destacan su bahía, la iglesia, y en las cercanías el Parque Nacional Pan de Azúcar, con sus especies endémicas de cactus y aves marinas. Está conformada por dos comunas; Chañaral y Diego de Almagro.

Provincia de Copiapó:

Copiapó, ciudad y capital regional es el centro de la producción minera y frutícola. En los alrededores de Copiapó se encuentra Caldera, puerto y balneario. Sobresale en esta región una de las cumbres más altas del mundo: Nevado Ojos del Salado a 6.893 m.s.n.m., ubicado al noreste de Copiapó en la frontera con Argentina.

En las cercanías de Copiapó se encuentra Tierra Amarilla, centro de producción minero agrícola y plantaciones de parronales de uva de exportación. Esta conformada por tres comunas; Copiapó, Caldera y Tierra Amarilla.

Provincia de Huasco

Su capital, Vallenar, se destaca por ser una zona productora de hortalizas, frutales y viñedos. Posee también un importante centro mineral de hierro.

En sus alrededores están algunos poblados como Huasco, puerto para el transporte de minerales, balneario con playas y caleta de pescadores; Freirina y Alto de Carmen, poblado típico de la región, con actividad agrícola y artesanal. Esta conformada por cuatro comunas; Alto del Carmen, Freirina, Vallenar y Huasco, las cuales se describen a continuación:

- Comuna Alto del Carmen: Con una superficie de 5.939 Km² y una población de 4.870 habitantes (2.212 mujeres y 2.658 hombres), la comuna acoge a un 1,90% de la población total de la región, un 100% corresponde a población rural.

- Comuna de Freirina: Con una superficie de 3.578 Km² y una población de 5.859 habitantes (2.964 mujeres y 2.895 hombres), la comuna de Freirina acoge a un 2,23% de la población total de la región, un 42,12% corresponde a población rural y 57,88% a población urbana.

- Comuna de Huasco: Con una superficie de 1.601 Km² y una población de 8.081 habitantes (4.016 mujeres y 4.065 hombres), la comuna de Huasco acoge a un 3,1% de la población total de la región un 20% corresponde a población rural y 80 % a población urbana.

- Comuna de Vallenar: Ciudad capital de la provincia de Huasco. Ubicada en los 28° 35´ de latitud sur, con 70° 46´ de longitud oeste, a una altitud media de 469 metros, en el fondo del cajón del río Huasco. Con una superficie de 7.084 Km² y una población de 48.129 habitantes (24.654 mujeres y 23.475 hombres), la comuna de Vallenar acoge a un 18,89% de la población total de la región, un 9,71% corresponde a población rural y 90,29% a población urbana.

1.1.2. Clima

En la región predomina el clima desértico, registrándose algún tipo de precipitaciones de régimen invernal. Se distinguen también los climas: Desértico costero con nubosidad abundante; desértico transicional; desértico frío de montaña y tundra de alta montaña.

El Clima desértico marginal bajo, corresponde a la mayor parte de la Región, cubriendo la zona que va desde donde comienzan las tierras altas de la cordillera hasta donde alcanza la influencia marítima intensa por el Oeste. De Copiapó al Norte es de una rigurosa sequedad, en cambio de Copiapó al Sur, la inexistencia de la cordillera de la Costa permite alguna forma de efecto marítimo en la humedad sin nubosidad, que atenúa las características desérticas. La amplitud térmica es mucho mayor que en el litoral. La diferencia entre el mes más cálido y el más frío es de 7° a 8° C en Copiapó y Vallenar mientras que se estima inferior a 6° en la zona costera. Mucho mayor es la amplitud térmica diaria que alcanza del orden de 13° a 15° C, lo que es una buena muestra de la continentalidad, la máxima puede alcanzar a los 35° C.

Las zonas con este clima se ubican bajo el nivel de la inversión de temperatura, con temperaturas moderadas y humedad suficiente para permitir la generación de algún tipo de vegetación de estepa en los sectores bajos.

Las precipitaciones aumentan con la latitud y con la altura, concentrándose en los meses de invierno. Los totales anuales llegan a 12 mm en Copiapó (291 metros de elevación), 19 mm en El Salvador (2.400 m.), 32 mm en Vallenar (470 m.) y 34 mm en Los Loros (948 m.).

1.1.3. Hidrografía

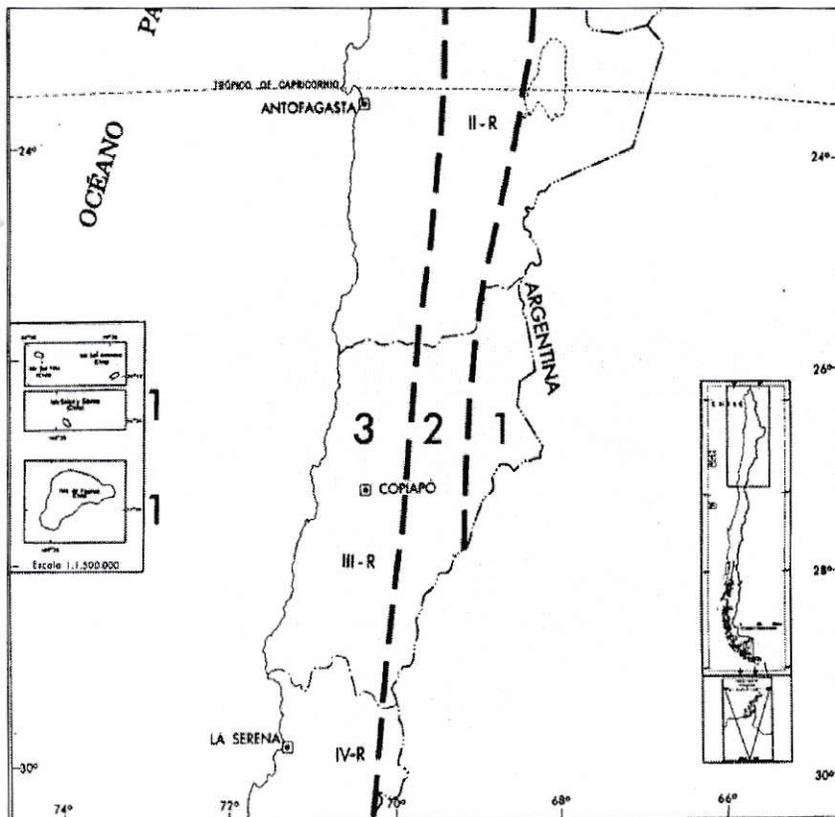
Destacan dos sistemas hidrográficos: los ríos Copiapó y Huasco. Como nacen en las altas cumbres andinas, los deshielos de verano y las lluvias de invierno les aseguran un caudal permanente, correspondiendo el máximo gasto al período de los deshielos (noviembre-diciembre).

1.1.4. Otras características

De acuerdo a los requerimientos para establecer infraestructura para la instalación de reactores, que en la actualidad se realizan bajo tierra, es necesario el conocimiento de la actividad sísmica del sector y de los vientos, para un diseño adecuado.

En cuanto a la actividad sísmica en la NCH 2369/2003 establece distintos sectores de acuerdo a la cercanía a la costa hasta la Cordillera de los Andes, los valores se encuentran desde 1 a 3, considerando el 1 como de menor actividad sísmica y al contrario el 3 como de mayor actividad. En la Norma antes mencionada se hace referencia a las características que deben cumplir para cada construcción de acuerdo a esta valoración, por lo que se recomienda que se deba consultar por el constructor del proyecto. En la figura siguiente se muestra la distribución de estos valores para la III región.

Figura 1: Clasificación sísmica, III región.



Fuente: N Ch2369/2003. Diseño sísmico de Estructuras e instalaciones Industriales.

En cuanto a los vientos, en la actualidad existen variados estudios que dan cuenta de este valor debido al auge por el conocimiento del potencial eólico de Chile, en el contexto de las energías no tradicionales, por lo que se puede encontrar información actualizada y variada. Es así que de acuerdo al estudio bibliográfico del tema se ha seleccionado dos fuentes, el primero del estudio "Mejoría del conocimiento del recurso eólico del Norte y centro del país" (CNE y col., 2003), llega a la conclusión general que los vientos superan los 4 m/s como promedio. Y en el estudio de "Prospección Eólica en zonas de las regiones de Atacama, Coquimbo y el Maule" (CNE, 2007), los valores registrados se encuentran entre el rango de 4,79 m/s a 6,89 m/s. Por lo que se pueden considerar un rango entre 4 m/s y 7 m/s.

1.2. Consideraciones Ambientales

De acuerdo a la contingencia ambiental a nivel nacional e internacional, sobre la • protección de la naturaleza y principalmente por la biodiversidad, es que desde el gobierno de Ricardo Lagos se ha implementado la definición de Sitios con prioridad de Conservación para la Biodiversidad.

El objetivo principal de estos sitios es: "Conservar la biodiversidad del país promoviendo su gestión sustentable, con el objeto de resguardar su capacidad vital y garantizar el acceso a los beneficios para el bienestar de generaciones actuales y futuras" (CONAMA, 2003).

Donde por "diversidad biológica" se entiende la variabilidad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras cosas, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la

diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas (CONAMA, 2003).

Los desiertos en Chile se encuentran con menos del 5% de protección bajo alguna categoría del SNASPE y en relación al Desierto Florido no existe superficie protegida, lo que hace aún más importante su protección (CONAMA, 2003).

Es así que la III región posee lugares con esta definición, por lo que se debe tener especial cuidado para escoger el sitio para establecer la planta de tratamiento de Riles.

Si bien esta categoría de sitios con prioridad de conservación para la biodiversidad, a la fecha, no presenta ninguna restricción legal, ni prohibitiva que impida la realización de la planta, si se encuentra en estudio el realizar acciones que en el futuro si posea o bien ser incluidos en el Sistema Nacional de Áreas Silvestre Protegidas del Estado (SNASPE) o privadas

De acuerdo a la entrevista realizada a Gerardo Jara (Jefe de la Unidad de Protección de Recursos Naturales y Encargado de Planificación y Control de Gestión en la COREMA de Atacama) recomienda, no establecer la planta dentro de estos sitios de prioridad de conservación, principalmente por que se presentaran conflictos para la aprobación de la Declaración de Impacto Ambiental, pudiendo ser rechazada o bien con exigencias ambientales de mayor rigurosidad. Por otra parte menciona la posibilidad que en el futuro estos terrenos sean expropiados.

En el Anexo 1 (pág. 111) se puede observar el mapa regional y todos los lugares que se encuentran con prioridad de conservación, para ser considerado al momento de establecer la planta.

1.3. Economía

Dentro de la región las empresas están concentradas en las comunas de Copiapó y Vallenar con un 50,8% y 21,2% respectivamente.

Cuatro son los sectores económicos preponderantes de desarrollo de la III Región de Atacama:

Sector Minero, es el más importante, con un 90% de las exportaciones regionales, representado por los recursos metálicos de cobre, hierro y oro; y los no metálicos de baritina, molibdeno y mármol. Una característica singular de la minería regional es la existencia de cientos de pequeñas empresas, con la fuerte participación en el volumen total producido.

El Hierro. Más de la mitad de la gran minería de hierro de Chile está en la provincia de Huasco, en la mina Los Colorados pertenecientes a la Compañía Minera del Pacífico.

La Baritina. Es un compuesto no metálico de sulfato de bario, de gran demanda internacional, usando como lubricante en faenas de perforación petrolífera. Su producción es efectuada en la pequeña minería en el área de Las Bombas, Chañarcillo y Domeyko.

El Mármol. Es extraído de las minas en el valle El Tránsito de Vallenar, las únicas en Chile que producen para la construcción. Son famosos los mármoles blancos y rojos.

El Oro. Es extraído en la alta cordillera, donde se encuentra el yacimiento La Coipa. Este metal concentra los principales proyectos mineros: Cerro Casale, yacimiento de oro y

cobre al sur de la laguna del Negro Francisco; la reapertura de Refugio y el Pascua Lama, el controvertido proyecto en la frontera al sur del Alto del Carmen.

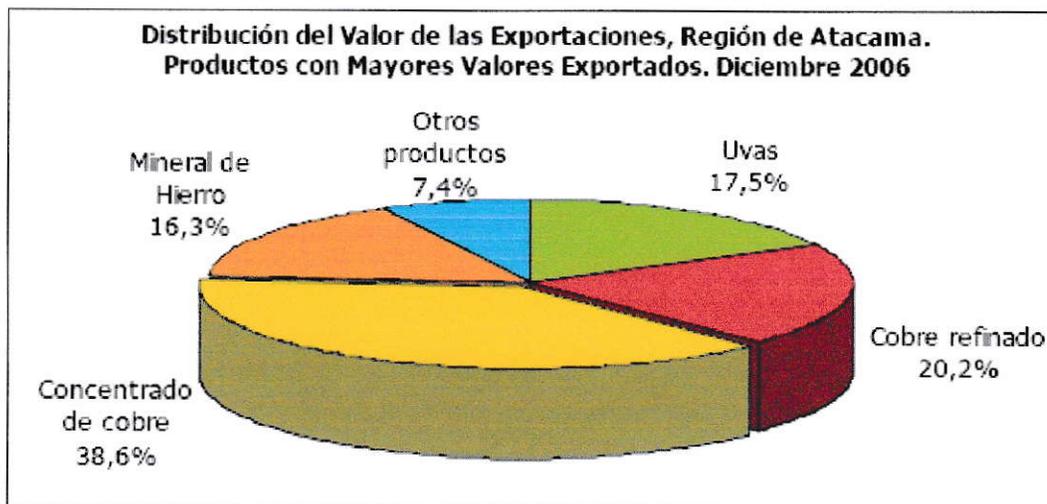
El Sector Agrícola. Aún cuando la superficie agrícola no sobrepasa las 42.000 hectáreas, el clima compensa con creces esta limitación, las plantaciones más representativas son los Parronales: en el valle del río Copiapó, desde la ciudad hasta el pie de la Cordillera, se produce uva de mesa de exportación, con sofisticada tecnología de riego por goteo y control computarizado. Aquí maduran las primeras uvas del país, que obtienen los mejores precios en el mercado. En lo que respecta a la plantación de Olivos, existen 400 há, plantadas en el valle del río Copiapó, camino a Caldera, y más de 1.100 há de huertos de olivos en el valle del río Huasco, desde Freirina hasta el mar, que representan la mayor extensión de este cultivo en el país. Estos frutos se destinan a aceites y a aceitunas de mesa.

El Sector Pesquero y Acuícola, está concentrada en los puertos de Caldera, Chañaral y Huasco. Su producción se destina mayoritariamente a la elaboración de aceite y harina de pescado. Los cultivos marinos, dedicados principalmente a los ostiones del norte, a los que se están introduciendo el abalón, se centra en las bahías Inglesa, Salado y Flamenco. Además, se está desarrollando fuertemente la industria de las macroalgas, que están siendo exportadas a Asia, como carragenina, agar y alginatos.

En el Sector Turismo, la estabilidad climática y la belleza de sus costas, desiertos y salares de montañas han permitido un fuerte incremento turístico en la zona, respaldado por el excelente equipamiento hotelero y facilidades en todas las ciudades de la Región. En la costa, los balnearios de Caldera y Huasco reúnen la mayor población veraniega.

En cuanto a las exportaciones, se puede observar en el gráfico siguiente su distribución y participación de acuerdo a cada producto obtenido.

Figura 2: Exportaciones, Región de Atacama.



Como se puede observar en el gráfico, la exportación de primer lugar de participación se encuentra el concentrado de cobre con un 38,6%, seguida por el cobre refinado con un 20,2%, en segundo lugar y en tercer lugar se encuentra las Uvas con 17,5%.

1.4. Proyectos en la Comuna y a nivel Regional

En la Región se considera grandes inversiones de distintos ámbitos productivos y de crecimiento regional, a continuación se nombran aquellos grandes proyectos e inversiones.

Programa Público de Inversión Regional (PROPIR 2007) presenta un incremento del 14% respecto del PROPIR 2006, en efecto, durante el presente año se estima una Inversión Pública en la Región de M\$ 62.593.264, en tanto en el año anterior la estimación sólo alcanzó un monto de M\$ 55.099.000 aproximadamente, observándose incrementos importantes en los sectores de: Obras Públicas, Vivienda y Urbanismo, Economía, Fomento y Trabajo. El FNDR, mantiene un comportamiento creciente variando desde M\$ 14.199.101 a M\$15.779.222.

Para el 2008 se espera empezar la construcción de la carretera doble vía desde Vallenar a Copiapó y un By-pass que conecte Copiapó con Vallenar.

Por otra parte se considera la construcción de dos Casinos de juegos, el primero en la comuna de Copiapó (Egasa-Nervión), cuya inversión total será de 16,6 millones de dólares. El proyecto incluye un casino de juego, un hotel de 5 estrellas con 40 habitaciones, dos salas de cine, centro de convenciones, restaurant, bar, salón de té, discoteca, SPA, piscina y gimnasio. La entrada en operaciones del casino de juego, considerando las obras física y espacialmente vinculadas, determinará la creación de 292 empleos directos permanentes

El segundo en CALAMA, el cual tendrá un hotel de 5 estrellas con 112 habitaciones, varios restaurantes y bares, una discoteca y un bowling. También contará con un spa y gimnasio, centro de convenciones y salas de reuniones. A todo esto se suma un apart hotel y un edificio de oficinas.

Otros proyectos que se presentan en la Región son el funcionamiento del proyecto de Barrick Gold, Pascua Lama para el mes de Septiembre y la pronta inauguración del nuevo hospital de Vallenar, Nicolás Naranjo.

1.5. Disal Sucursal Vallenar

Disal desde su instalación en Vallenar ha ido consolidándose en el transporte de residuos y en el servicio de arriendo de baños químicos en la zona. Los principales clientes se dan por las grandes construcciones que se encuentran en desarrollo en la Región, con baños químicos y retiro de las aguas servidas tratadas o no tratadas.

Además de los proyectos mineros, también con el retiro de los residuos de casinos, puntualmente aceite y grasas, en campamentos y de retiro ocasional de restaurantes.

Este retiro se realiza de manera esporádica debido a principalmente que en la zona no existe fiscalización ni lugares de disposición para estos residuos, por lo que no existe un real control de esta actividad y por ende una baja preocupación por los dueños de establecimientos.

En la actualidad la empresa presta servicios de arriendos de baños químicos, servicio de limpieza de los mismos, retiro de aguas servidas de casinos y fosas sépticas, con cerca de 50 clientes en el área de sanitarios.

En cuanto a la flota de camiones, se poseen cinco para distintos residuos: dos camiones chicos para sanitarios, dos grandes para fosas y un camión para residuos sólidos domiciliarios. En cuanto a los sanitarios se posee alrededor de 180 baños de distintas categorías.

La frecuencia depende de la demanda, pero en la actualidad se retiran residuos todos los días de distintas fuentes, baños cada dos días, fosas todos los días, casino todos los días y aceites y grasas esporádicamente. En el acápite de residuos se puede observar el detalle de cada uno de estos residuos.

Todos los residuos son transportados y depositados en Aguas Chañar a excepción de aquellos provenientes de trampas de grasas y aceites que son trasladados a Santiago para ser tratados por la empresa Armony.

1.6. OBJETIVOS

1.6.1. Objetivo general

Desarrollar una propuesta integral para el diseño de una Planta de Tratamiento de Biomasa, elaboración de Biogás y sustratos orgánicos, a partir de la materia prima cautiva, por concepto de recolección y transporte de residuos orgánicos de alta humedad y su posterior disposición final.

1.6.2. Objetivos Específicos

- Realizar un Estudio de Mercado que permita respaldar los datos de diseño del proyecto de Factibilidad Técnico Económica de la Planta de Tratamiento de Biomasa, elaboración de Biogás y sustratos orgánicos.
- Efectuar el estudio de ingeniería conceptual de la Planta de Tratamiento de Biomasa.
- Desarrollar un Estudio de Factibilidad Técnico-Económica.
- Evaluar la posibilidad de incorporación de aceites y grasas, para la posterior producción de Biodiesel.
- Realizar el estudio para la recuperación de aguas en el tratamiento.

MARCO TEÓRICO

1.7. Antecedentes

Dentro de la contingencia nacional, se encuentran los problemas ambientales y el persistente problema de la disposición final de los residuos industriales y domésticos. En las últimas décadas ha aumentado la población, y como consecuencia se produce el aumento de volúmenes generados de residuos, tanto industriales como domiciliarios. Por otra parte han disminuido las superficies disponibles donde disponer los residuos sin que afecte a poblaciones.

En las últimas décadas la preocupación por el medio ambiente es una de las prioridades dentro del desarrollo de las grandes industrias, debido al nacimiento de una legislación más exigente tanto a nivel nacional como internacional, y también sobre la población y autoridades gubernamentales.

Es así que los residuos deben tratar de ser generados en menor cantidad por medio de Mecanismos de Producción Limpia (MDL) y, en el caso no poder evitar su generación, disponerlos en lugares autorizados o bien ser dispuestos en plantas de reciclaje o tratamiento.

La reutilización y minimización de los residuos, se puede lograr por diversos medios, tecnologías y se pueden obtener distintos tipos de productos.

En la actualidad, las tecnologías van apuntando a la reutilización de residuos orgánicos, como biomasa para obtener principalmente, algún tipo de energía como producto (ej: biogás, biocombustibles, sustratos orgánicos), dada la escasez de ésta a nivel global.

El biogás, se obtiene a partir de la degradación anaeróbica de la materia orgánica presente en los desechos, donde al final del proceso se obtiene un gas rico en CH_4 (>50%) y CO_2 (<50%), el cual posee además, trazas de Nitrogeno (N_2), Hidrógeno (H_2), sulfuro de hidrógeno (H_2S), vapor de agua, Amoníaco (NH_3) y compuestos aromáticos

como escatol y catecol. Finalmente se convierte en un gas con alto poder combustible (Guerreros, y col. 2003).

Otra alternativa para tratar los residuos orgánicos es a través de tecnología que permite la fermentación de ellos por medio de degradación aeróbica

El presente proyecto considera la instalación de una planta para tratamiento de residuos orgánicos en la comuna de Vallenar (III región), estos serán tratados con el objetivo de producir biogás, recuperación de aguas para riego y/o sustrato orgánico (compost).

Es así que se busca la reutilización de los Residuos industriales Líquidos transportados por la empresa Disal sucursal Vallenar (III región), con la posibilidad de tratar los residuos provenientes de las sucursales de Coquimbo (IV región) y Copiapó (III región).

A su vez, considera la integración de residuos sólidos orgánicos separados en el origen (Ferias libres, podas y talas municipales) dependiendo de los requerimientos de funcionamiento de la planta.

1.8. Residuos

De acuerdo a los estudios realizados en la comuna de Vallenar, tanto en la sucursal de Vallenar de Disal como en la Comuna en sí, se ha constatado que existe una variada disponibilidad de residuos orgánicos. Donde los de la empresa Disal son netamente residuos líquidos de diversas fuentes, en los residuos comunales se ha encontrado residuos sólidos orgánicos provenientes de la limpieza y mantención de las áreas verdes y de las ferias libres.

Es así que en este capítulo se describe cada uno de los residuos identificados de acuerdo a su descripción de origen y actual disposición final, volumen estimado de cada uno y características químicas de los residuos.

a) Tipificación de Residuos

Los residuos provienen de diversas fuentes y son depositados en distintas zonas de disposición, que se detallan a continuación:

Residuos líquidos provenientes de baños químicos: los cuales consisten en una suspensión cuya composición no los hace aptos para su descarga directa al alcantarillado. En la actualidad la empresa los transporta y deposita en Aguas Chañar donde son tratados a través de piscinas de decantación. La frecuencia de transporte dependerá de la demanda del servicio de limpieza y por consiguiente de la demanda por estos artefactos en construcciones, eventos, etc., en la actualidad este servicio de retiro se realiza cada dos días.

Una característica importante a destacar es, que a estos baños se les agrega un químico llamado SANILET preparado por la misma empresa, que actúa como disgregante de fecas, desinfectante y desodorizante líquido. Es una mezcla de Amonios Cuaternarios, Amonio nonilfenoletoxilado y aldehídos que presenta una solubilidad completa en agua. Este elemento debe ser considerado en el proceso de tratamiento de este tipo de residuo y por lo tanto en el diseño de la planta.

Fosas sépticas, En la actualidad la empresa recolecta este tipo de residuos y son depositados en Aguas Chañar donde son tratados a través de piscinas de decantación. La frecuencia de retiro, transporte y traslado de estos residuos también depende de la demanda del servicio y en actualidad ha bajado la frecuencia.

Residuos provenientes de trampas de aceites y grasas, estos residuos líquidos poseen un alto contenido de aceites y grasas, sólidos suspendidos y DBO₅. En la actualidad estos residuos son transportados y trasladados por la empresa a la Región Metropolitana y depositados en la empresa Armony. La frecuencia de este servicio de transporte es muy esporádica.

Cabe destacar que no existe un lugar en la III Región ni en las regiones aledañas para disponer estos residuos. De acuerdo a la información otorgada por el SEREMI de Salud de la III Región, no existe cuantificación de estos ni identificación de las fuentes generadoras, por lo que no es posible tener un volumen estimado de los aceites y grasas generadas de la Región desde una fuente gubernamental. A su vez esto trae como consecuencia la poca fiscalización y por ende trae una mala disposición de los aceites y grasas por las fuentes generadoras.

Sin embargo, a través de encuestas se obtuvo información proveniente de restaurantes y de colegios de la provincia de Huasco sobre la utilización de aceites y su posterior disposición. En la actualidad los aceites utilizados para cocinar y esencialmente para freír en estos establecimientos se embotella o se guarda en bolsas plásticas para ser retirado por el camión de la basura de recolección domiciliaria o bien es entregado como alimento para animales, especialmente para la crianza de chanchos, aunque a pesar de estas

respuestas es posible que también sea dispuesta en el alcantarillado tradicional. De acuerdo a la encuesta existe una disposición de los dueños de estos recintos de establecer trampas de aceite y grasas para destinarlo a algún tipo de tratamiento.

Otros residuos líquidos, de acuerdo al estudio realizado en la sucursal de Vallenar se tomaron muestras de otras fuentes, no consideradas al iniciar el estudio. Estas provienen de casinos: aguas generadas del lavado de alimentos y de utensilios de cocina, y de "Fosas" residuo proveniente de aguas grises: quiere decir de aguas ya tratadas pero que no cumplen con las normas para ser descargadas al alcantarillado. Estos residuos son generados en las instalaciones de Agrosuper que se encuentran en construcción, por lo que se espera que sea temporal, hasta el momento de que esta empresa cuente con su propia planta de residuos. Pero es importante de considerar para la evaluación y construcción de la planta para Disal, ya que en la actualidad el servicio de retiro es diario al menos de las "Fosas".

Residuos orgánicos sólidos, estos residuos provienen de dos fuentes. La primera, de la mantención de áreas verdes, donde la recolección se realiza todos los días y está compuesta por hojas, cortes de césped y eventualmente de poda y tala de árbol, actividad que se realiza sólo bajo la petición de la I. Municipalidad, por lo que su flujo es puntual y no continuo. Es importante destacar que los residuos vienen con componentes plásticos de envoltura de dulces, bolsas, etc. La segunda fuente, proviene de la recolección de residuos generados en las ferias libres, realizadas 6 días a la semana en distintos puntos de la comuna, como los residuos antes descritos, también se encuentran residuos no orgánicos, que indican que deberán ser clasificados antes de entrar en cualquier proceso

de tratamiento o reciclaje. Para ambas fuentes de residuos, estos son trasladados por particulares y depositados en el vertedero municipal sin costo alguno.

b) Volúmenes Estimados

La estimación de los volúmenes ha sido obtenida de distintas fuentes y procedimientos. Para los residuos cautivos se utilizó información directa entregada por Disal y para los otros residuos se obtuvo información directa de los encargados del transporte de cada uno de ellos.

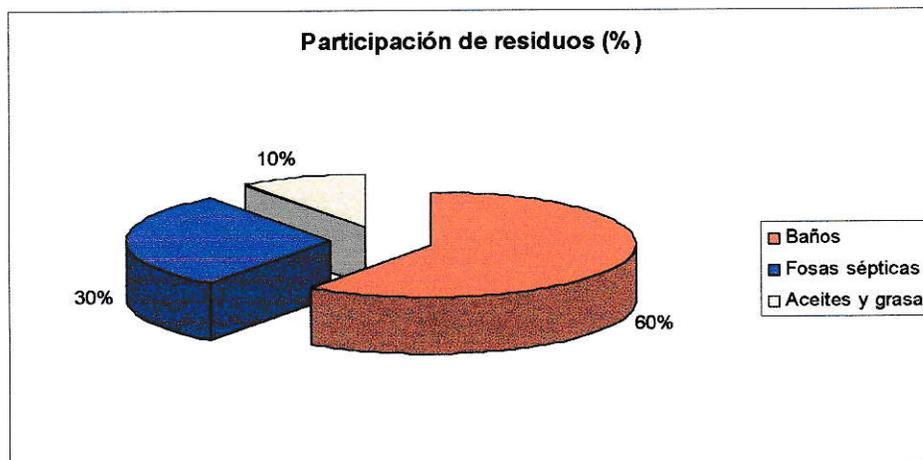
Para el caso específico de los aceites y grasas, que no existe información oficial de su generación y fuentes generadoras en la Región y en sus regiones aledañas, se consideró la información de encuestas a establecimientos de servicio de comidas y educacionales.

Residuos cautivos

Se entiende por residuos cautivos a los provenientes de baños químicos, fosas sépticas y de aceites y grasas. La estimación se realizó a través de información directa entregada por Disal, donde se establecieron dos supuestos, que se describen a continuación:

1º Supuesto: se establece que del 100% de los residuos la partición es la que se observa a continuación:

Figura 3: Participación de los residuos cautivos.



Fuente: Datos Disal. Elaboración propia.

Del la figura anterior, se puede observar que la mayor participación de los residuos se encuentra en aquellos provenientes de baños, si cabe mencionar que este valor es variable de acuerdo a la contratación de este servicio por empresas o proyectos presentes en la región. El de fosas sépticas es el más estable, pero se realizan con menor frecuencia. En cuanto a los residuos de grasas y aceites, que se observa con el menor porcentaje de participación, se pronostica un gran potencial, ya que en la región no hay donde tratar estos residuos por lo que de existir un lugar apto podría aumentar la demanda de este servicio de recolección y disposición, pudiendo ser creciente en el tiempo.

2° Supuesto: el volumen de residuos recogidos por Disal se encuentra en el rango entre 7 y 28 m³ por día. Este supuesto considera la posible recepción de residuos provenientes de las sucursales de Copiapó (III región) y Coquimbo (IV región), de acuerdo a lo anterior se generan distintas estimaciones de volúmenes, que se presentan a continuación:

Tabla 1. Volúmenes por residuo, considerando 7m³ diarios.

Residuos	%	m ³ /día	m ³ /semanal	m ³ /mensual	m ³ /anual
Baños	60,0%	4,2	25,2	100,8	1.209,6
Fosas sépticas	30,0%	2,1	12,6	50,4	604,8
Aceites y grasa	10,0%	0,7	4,2	16,8	201,6
Total	100,0%	7	42	168	2.016,0

Fuente: Disal, 2007.

Este supuesto de 7 m³ diarios que denominaremos "Escenario 1", es la situación más austera, por lo que se puede pensar que existirán eventos que sobrepasen esta capacidad.

Tabla 2. Volúmenes por residuo, considerando 14m³ diarios

	%	m ³ /día	m ³ /semanal	m ³ /mensual	m ³ / anual
Baños	60,0%	8,4	50,4	201,6	2419,2
Fosas sépticas	30,0%	4,2	25,2	100,8	1209,6
Aceites y grasa	10,0%	1,4	8,4	33,6	403,2
Total	100,0%	14	84	336	4032

Fuente: Disal, 2007.

Este supuesto de 14 m³ diarios que denominaremos “Escenario 2”, es la situación promedio del rango de residuos obtenidos, por lo que se puede pensar que existirán eventos que no alcancen este volumen o eventos que sobrepasen esta capacidad.

Tabla 3. Volúmenes por residuo, considerando 28 m³ diarios.

Residuos	%	m ³ /día	m ³ /semanal	m ³ /mensual	m ³ /anual
Baños	60,0%	16,8	100,8	403,2	4838,4
Fosas sépticas	30,0%	8,4	50,4	201,6	2.419,2
Aceites y grasa	10, 0%	2,8	16,8	67,2	806,4
Total	100, 0%	28	168	672	8064,0

Fuente: Disal, 2007.

Este supuesto de 28 m³ diarios que denominaremos “Escenario 3”, es la situación de mayor recepción de residuos, por lo que se puede pensar que existirán eventos que no alcancen este volumen.

De los cuadros anteriores, se puede inferir que existe una variabilidad importante en los volúmenes recepcionados, lo que es importante de considerar en la Ingeniería de la planta de tratamiento, y a su vez, da indicios de que se deberá considerar otros residuos que puedan ser ingresados a este sistema de manera de asegurar el funcionamiento de la planta.

Con respecto a los otros residuos líquidos mencionados, por causa de ser de tipo esporádico, no hay volúmenes asociados a ellos de acuerdo a los volúmenes entregados por Disal.

En relación a los residuos de aceites y grasas se realizó una estimación por parte de Disal, pero no existe un flujo continuo dentro de la comuna de Vallenar como para establecer una estimación certera. Si bien se muestreó restaurantes de la zona, solo se entrevistaron 8 establecimientos, siendo este una muestra pequeña del universo de estos establecimientos de servicios, pero los demás no estuvieron dispuestos a responder. De estos 8 establecimientos, 5 corresponde a la comuna de Vallenar y 3 a la comuna de Huasco, del total se identificó que se utilizan 976 litros mensuales, donde el 37,5% de los encuestados sabe cuánto es desechado, el resto no contesta o no sabe. De los dueños de establecimientos que respondieron se estima que se bota alrededor 74% del total utilizado, por lo tanto se puede estimar que del total de aceite utilizado el disponible para ser tratado es alrededor de 722 litros mensuales.

A su vez se obtuvo la cantidad de litros de aceites utilizados por los establecimientos educacionales de la Provincia de Huasco, que corresponde a 1.900 litros mensuales y de acuerdo a la estimación antes descrita, donde el 74% (se desecha, por lo que es posible estimar que se encuentran disponibles alrededor de 1.406 litros mensuales por concepto de servicios de casino en establecimientos educacionales.

Estos valores permiten asegurar la disponibilidad de aceites y grasas para ser tratados, siendo solo un valor referencial sin perjuicio de que exista más volumen disponible para ser tratado.

Residuos sólidos orgánicos

De acuerdo a lo investigado en la Comuna de Vallenar existen otras fuentes de residuos que, de acuerdo a su composición y origen permiten ser considerados en la estimación de residuos para su tratamiento.

Residuos de mantención de áreas verdes: de acuerdo a la información entregada por el Departamento de Medio Ambiente y Aseo y Ornato de la I. Municipalidad de Vallenar (2007), en la comuna se genera un volumen de 2 m³/día (572 m³/año) de residuos provenientes de podas y talas comunales, esta actividad se realiza 6 días a la semana y es depositada en el vertedero autorizado de la comuna por intermedio de un concesionario, sin ningún aprovechamiento de ellos. De acuerdo a la información recopilada, los residuos contienen desechos no orgánicos por lo que para la estimación se ha considerado que poseen un 10% de residuos no orgánicos.

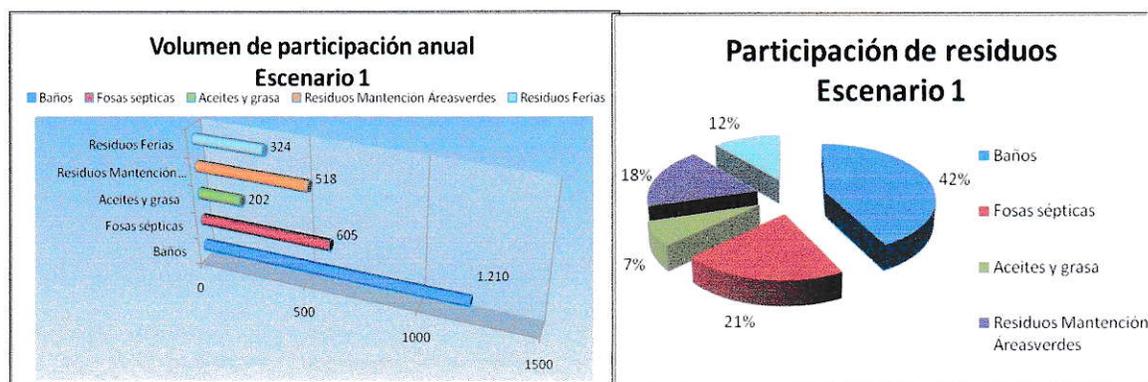
Residuos de Ferias Libres: En la comuna se establecen ferias libres seis días a la semana en distintos puntos de la Comuna. En la actualidad fluctúan entre 20 a 40 puestos de feriantes de acuerdo al día en que se realiza la feria, siendo los días Jueves y Sábados que presentan el mayor número de puestos y por lo tanto los días de mayor generación de residuos. El volumen es de 1,25 m³ diarios (360 m³ año), como ya se mencionó estos residuos tienen residuos no orgánicos como bolsas y envoltorios de dulces u otro tipo de plástico, de acuerdo a lo observado se estima que este agente no orgánico se presenta en cerca de un 10%, por lo que se debe considerar este descuento en el valor total. Por lo tanto el volumen estimado es de 1,12 m³ diarios (324 m³ año) con una densidad aproximada de 0,8 m³/ton.

1.1.8. Volumen Total según escenario en estudio

De manera de resumen se ha recopilado los valores de los volúmenes disponibles, tanto cautivos como disponibles en la comuna de Vallenar, independiente de otros residuos que se encuentren disponibles.

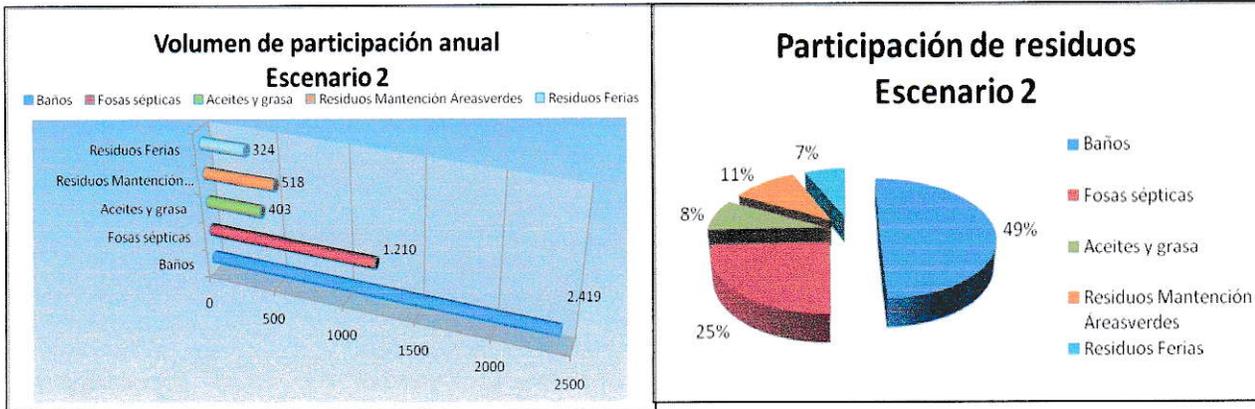
Para el caso del Escenario 1, se tiene lo siguiente:

Figura 4: Escenario 1.



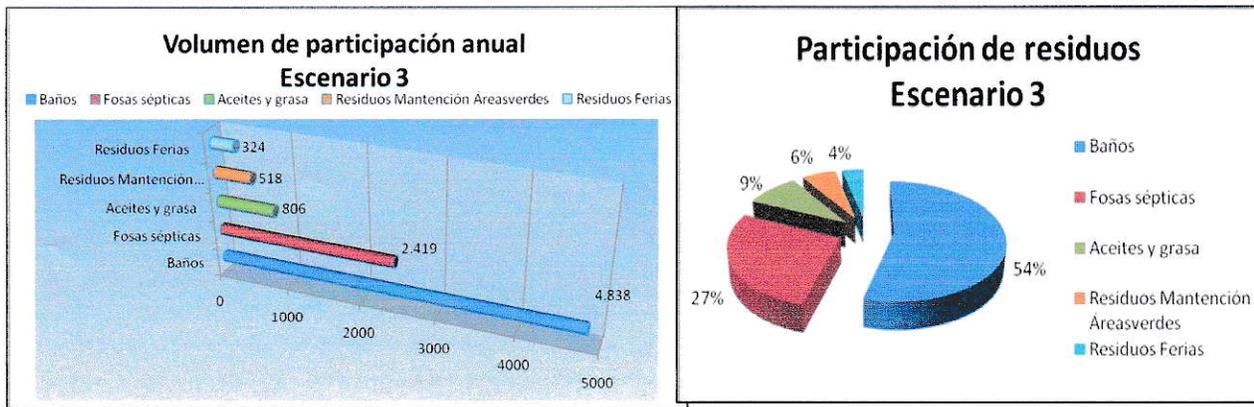
De las figuras anteriores se puede observar los volúmenes de los residuos a tratar en el Escenario 1, donde el volumen total es de 2.858 m³/año. Con la mayor participación de los residuos de baños, seguidos por las fosas sépticas.

Figura 5: Escenario 2



El volumen total a tratar en este escenario es de 4.874 m³/año, con la mayor participación baños y fosas sépticas, pero en mayor significancia que el caso del escenario 1.

Figura 6: Escenario 3



El volumen total a tratar en este escenario es de 8.906 m³/año, con la mayor participación baños y fosas sépticas, pero en mayor significancia que el caso del escenario 2.

1.9. Características Químicas

Para el estudio de características químicas se tomaron muestras en la sucursal de Vallenar de Disal de todos los residuos transportados en ese momento por la empresa. Estos residuos contemplan Baños Químicos, Casino (Agrosuper) y Fosas (Agrosuper).

Las muestras son tomadas de acuerdo a los requerimientos de cada uno de los residuos y analizadas por DICTUC, Laboratorio de Ingeniería filial de la Universidad Católica, para el análisis de muestras de Residuos Industriales Líquidos.

De acuerdo a las Normas establecidas para la disposición de las aguas servidas en procesos industriales en el Alcantarillado, deben cumplir con la N Ch 609/1998, donde se establece principalmente que la DBO₅ no debe superar los 250 mg/L y los sólidos suspendidos de 220 mg/L, basándose en estos parámetros es que se ha estudiado las muestras transportadas por la empresa en estudio y así su justificación y necesidad de ser tratadas.

A continuación se detallan los resultados obtenidos para cada una de las muestras tomadas:

Tabla 4. Resultado análisis químico residuos de Baños químicos

Parámetros	Baño Químico	Fecha Análisis	Método Análisis
Conductividad específica ($\mu\text{mho/cm}$)	12300	27-06-2007	2510 B
DBO5 (mg/L)	20200	27-06-2007	NCh 2313/5
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	25754	28-06-2007	NCh 2313/3
Humedad %	96,9	28-06-2004	gravimetría

(Dictuc, 2007)

El resultado de los parámetros en estudio sugiere un tratamiento integral o parcial de los residuos provenientes de Baños, significando un consumo de la DBO₅ total o bien disminuyendo su contenido, al igual que los sólidos suspendidos, hasta ajustarlos a la norma antes mencionada o bien de acuerdo al uso que se dé a las aguas tratadas.

Tabla 5. Resultado análisis químico residuos de Fosas sépticas

Parámetros	Fosa Séptica	Fecha Análisis	Método Análisis
Conductividad específica ($\mu\text{mho/cm}$)	1451	27-06-2007	2510 B
DBO5 (mg/L)	211	27-06-2007	NCh 2313/5
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	48	28-06-2007	NCh 2313/3
Humedad %	99,8	28-06-2004	gravimetría

(Dictuc, 2007)

En cuanto a las fosas sépticas se debe mencionar que estas no son “tradicionales” ya que han sido tratadas antes de su transporte y cumplen con las normas, pero deben ser consideradas al momento del diseño de la planta.

Tabla 6. Resultado análisis químico residuos de casino

Parámetro	Casino	Fecha Análisis	Método Análisis
pH	7,78	27-06-2008	NCh 2313/1
Humedad %	99,8	28-06-2007	Gravimetría
DBO5 (mg/L)	661	27-06-2007	NCh 2313/5
DQO (mg/L)	1531	28-06-2007	NCh 2313/24
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	197	27-06-2007	NCh 2313/3
Molibdeno (mg/L)	<0,01	03-07-2007	NCh 2313/25
Aceites y Grasas (mg/L)	253,5	04-07-2007	NCH 2313/6

(Dictuc, 2007)

Este análisis también fue realizado para caracterizar la cantidad de aceite y grasas presentes, pero tampoco coincide con una muestra de trampas de aceite utilizadas para los casinos y/o otras empresas del rubro de servicio de comidas. Por otra parte, no cumplen con las normas para la DBO₅ e igual deben ser tratadas y consideradas para su tratamiento en la planta.

1.10. Alternativas de Tratamientos y sus Productos

De acuerdo a los residuos considerados en este estudio y a sus características, se pueden obtener diversos productos por medio de distintos tratamientos. En este acápite se pretende nombrar y dar breves reseñas de los tratamientos y descripción de los productos que se pueden obtener

De acuerdo a lo anterior se ha considerado la posibilidad de obtener producto tales como biogás, biodiesel, sustrato orgánico (compost) y aguas residuales.

1.10.1. Biogás

Se trata del gas metano proveniente tanto de los rellenos sanitarios municipales como de biodigestores que procesan residuos orgánicos urbanos o rurales. El gas puede ser utilizado de forma directa para usos calóricos o para generar electricidad. En el mundo existen alrededor de mil rellenos sanitarios cuya producción de gas metano es recuperada generalmente para generación de electricidad. Más de la mitad de ellos están instalados en Estados Unidos (325), Alemania (150) y el Reino Unido (135). Los biodigestores por su parte han tenido históricamente un desarrollo importante en las zonas rurales de China e India. Han ganado en tamaño y adaptabilidad a distintos residuos orgánicos proporcionando energía, biofertilizantes (“residuo” de la biodigestión) y una adecuada disposición final de los residuos.

Producción teórica de biogás

Es la descomposición de la materia orgánica en ausencia de oxígeno, como es la situación observada al interior de los biodigestores, involucra la generación de metano, como se ve a continuación:



Bajo las condiciones anaeróbicas controladas se pueden obtener grandes beneficios por la captura del biogás, en particular, la captación de metano. Siendo esta energía renovable una vía alternativa a la energía convencional basada en la quema de combustibles fósiles, presentando entonces grandes beneficios ambientales.

Una vez que la materia prima a utilizar ingresa a un biodigestor anaeróbico se lleva a cabo la descomposición de la materia orgánica y la transformación de la fracción inorgánica. Un sistema anaeróbico es ausente de oxígeno molecular (O_2), donde la descomposición de la materia orgánica se lleva a cabo por efecto de la acción de bacterias anaerobias. Durante la digestión de la materia orgánica, ésta es convertida biológicamente en Metano (CH_4), Dióxido de Carbono (CO_2), agua tratada o materia orgánica parcialmente estabilizada, biomasa y una serie de trazas. El proceso se lleva a cabo en un reactor hermético de manera de prevenir el ingreso de oxígeno al sistema. Es entonces, en este punto del sistema de tratamiento donde se genera el biogás. La composición típica del biogás se presenta en el siguiente cuadro:

Tabla 7. Composición típica del Biogás

Componente	Porcentaje en volumen (%)
Metano (CH ₄)	52-95
Dioxido de carbino (CO ₂)	10-50
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	0,001-2
Hidrógeno (H ₂)	0,01-2
Nitrógeno (N ₂)	0,1-4
Oxigeno (o ₂)	0,02-6,5
Argón (Ar)	0,001
Monoxido Carbono (CO)	0,001-2
Amoniaco (NH ₃)	Traza
Orgánico volátiles (COV)	Traza

<http://www.dpec.com.au/dmefpub/ECofact05.pdf>

Como se puede apreciar el biogás crudo (sin tratamiento previo) corresponde a una mezcla de diversos compuestos. La cantidad de biogás producida se ve definida principalmente en base al material que da origen al gas. Es decir, el biogás generado en un relleno sanitario y en un digestor anaeróbico son muy similares, ajustándose a las características señaladas en la Tabla anterior, pero difiriendo a nivel de trazas en su composición y volúmenes generados. El Metano es lo que confiere las características combustibles al biogás, por lo que el valor energético del biogás dependerá estrictamente del contenido de metano en el gas. Uno de los temas de mayor relevancia en el tratamiento anaeróbico de desechos es determinar la cantidad y composición del biogás

producido. La cantidad de biogás generado puede variar significativamente dependiendo de la materia prima que lo produce (restos vegetales, lodos, purines, etc.)

Cabe destacar que el metano es el único componente con valor real como combustible de todos los gases contenidos en el biogás. Por su parte, el dióxido de carbono (CO₂) y nitrógeno molecular (N₂) son diluyentes que reducen el poder calorífico del gas; el agua, O₂, H₂S, CO₂ y compuestos orgánicos traza son corrosivos para los metales y pueden causar daño al equipamiento y aducciones; por lo que sería recomendable la limpieza de éste previo a su utilización.

La producción de biogás es producto de la actividad biológica, la cual se ve influenciada por factores ambientales como la temperatura y el pH. Mientras la cantidad de biogás producida es función de la cantidad de sólidos degradables y del grado de descomposición asociado al proceso. Por otro lado, la composición del biogás se ve influenciada por el ambiente del proceso y la composición química del efluente que ingresa al digestor.

Algunas de las reacciones típicas de acuerdo al material a tratar que ocurren durante la digestión anaeróbica se exponen a continuación:

Ecuación 1



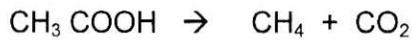
(Compuesto Orgánico) → (Etanol) + (Dióxido de Carbono)

Ecuación 2



(Etanol) + (Dióxido de Carbono) → (Metano) + (Ac. Acético)

Ecuación 3



(Ac. Acético) → (Metano) + (Dióxido Carbono)

Ecuación 4



(Dióxido Carbono) + (Hidrógeno) → (Metano) + (Agua)

En general alrededor del 50-70% de los materiales biodegradables se convertirán en biogás en un biodigestor promedio, dependiendo de las condiciones del proceso.

Es posible efectuar cálculos teóricos de la producción de biogás, mediante una estimación gruesa del biogás generado en base a los sólidos volátiles presentes en el material a degradar. Un valor comúnmente aceptado para la producción de metano corresponde a 0,45 m³ biogás /kg SV de entrada.

a) Parámetros y optimización del proceso de producción de biogás

La producción de biogás se ve influenciada por una serie de parámetros: potencial de generación de biogás del afluente, diseño del digestor, inoculación, naturaleza del sustrato, pH, temperatura, tasa de carga, tiempo de retención hidráulico, relación C:N, ácidos grasos volátiles, etc., donde alteraciones de los rangos normales de los parámetros pueden inhibir los procesos de formación del biogás. Por lo que su monitoreo

y permanente seguimiento son de vital importancia para obtener el máximo rendimiento del sistema. A continuación se mencionan los principales actores de los cuales depende el metabolismo de los microorganismos metanogénicos.

Temperatura del substrato

Los rangos de temperatura en los cuales se lleva a cabo la digestión anaeróbica son determinantes en términos de producción del biogás. En teoría, la digestión anaeróbica es posible de realizarse entre 3 y 70°C. Se distinguen tres rangos de temperatura para el desarrollo de procesos anaeróbicos, éstos son: *psicrofílico* por debajo de los 20 °C; *mesofílico* entre los 20 y los 40 °C; y *termofílico* por sobre los 40 °C. El proceso de metanogénesis o formación de metano es altamente sensible a los cambios de temperatura.

La superación de los límites de los rangos de temperatura establecidos puede llevar a desequilibrios en la producción de biogás. Mientras más alto el rango de temperatura de operación del digestor, más sensible es éste a las variaciones de temperatura.

Las fluctuaciones de temperatura propias del cambio de día a noche no son significativas en el funcionamiento de los digestores que se encuentran emplazados en la tierra, dado que por debajo de un metro de profundidad en el suelo la temperatura de la tierra es virtualmente constante.

Mientras más alto es el rango de temperatura empleado por el digestor, mejores son los rendimientos de biogás obtenidos. Pero a la vez se requiere de un mayor gasto energético para operar los digestores a tales temperaturas. Si la temperatura de la biomasa al interior

del digestor se encuentra por debajo de los 15 °C, la producción de gas es tan baja que el proceso no es viable.

Disponibilidad de nutrientes

El desarrollo bacteriano requiere de una serie de nutrientes para su normal desarrollo. La degradación de la materia orgánica se ve restringida por falta de nutrientes suficiente. Se requiere más que solo compuestos orgánicos como fuente de carbón y energía. También se requiere fuera de los nutrientes básicos (C, H, O, N) una serie de elementos inorgánicos para desarrollar biomasa, se destacan: azufre, fósforo, potasio, calcio, magnesio y una serie de elementos traza como: hierro, manganeso, molibdeno, zinc, cobalto, selenio, tungsteno, níquel, etc.

La mayoría de los substratos utilizados para la digestión anaeróbica cuentan con gran parte de los nutrientes mencionados. Concentraciones excesivas de los elementos mencionados guían a la inhibición de la producción de biogás, por lo que se debe analizar caso a caso, para verificar si se cuenta con un buen rango de nutrientes para llevar a cabo el proceso de digestión.

Tiempo de retención hidráulico (TRH)

El tiempo de retención hidráulico corresponde al tiempo promedio que se mantienen los desechos orgánicos al interior del biodigestor, y por ende éste parámetro controla el grado de digestión.

El TRH es función del caudal de entrada al digestor y del tamaño de éste como se señala a continuación:

$$\text{TRH} = V / Q$$

Donde:

V = volumen del digestor (m^3)

Q = caudal ($\text{m}^3 / \text{día}$)

Si el TRH es muy corto, el material orgánico no es completamente degradado obteniéndose rendimientos pobres de biogás. Tiempos de retención hidráulicos pequeños también se asocian con el "lavado" de bacterias metanogénicas si el TRH es menor que la tasa de multiplicación de éstos organismos. La óptima elección del tiempo de retención depende mayormente de la temperatura de operación del digestor, y en cierto grado del material a degradar.

Valor de pH

Las bacterias metanogénicas viven preferentemente bajo condiciones neutrales a levemente alcalinas. Una vez que las condiciones de fermentación anaeróbica se hayan estabilizado, el pH tenderá a mantenerse entre 7,0 y 8,5.

El valor de pH de un digestor es una función de la concentración de ácidos grasos volátiles producidos, la alcalinidad a causa del bicarbonato en el sistema, y la cantidad de CO_2 generado.

Desequilibrios en el funcionamiento del biodigestor normalmente guían a la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV) ocasionando un descenso en el pH. El aumento de AGV al interior del digestor puede no producir un descenso inmediato en el

valor de pH, producto de la gran capacidad buffer o tampón que usualmente presentan estos sistemas. La capacidad buffer surge del hecho que la mayoría de los desechos orgánicos contienen altos contenidos de ácidos y bases débiles las que proporcionan resistencia a la variación en el pH. De este modo, se debe alcanzar una gran acumulación de AGV antes de registrar un descenso significativo en el pH, y para cuando se alcanza este punto usualmente existe una inhibición significativa del proceso de producción de biogás.

Resulta importante destacar que la composición del biogás también depende del pH en el digestor dado que parte del CO_2 generado se disolverá ($\text{CO}_2_{(ac)}$) o se encontrará presente en solución como HCO^-3 . Mientras virtualmente todo el metano se encontrará presente en el gas debido a la baja solubilidad de éste.

Porcentaje de CO_2 en los digestores

El porcentaje de CO_2 es un parámetro a monitorear dado que éste es un indicador claro de la composición del biogás. Además, es importante resaltar el que el CO_2 presente en el biogás le otorga ciertas características a éste, tales como disminuir el poder calorífico del gas.

Comparado con el gas natural, el biogás crudo es un gas "pesado" debido a su alto contenido de CO_2 otorgándole una densidad de 1,05 a 1,2 kg/Nm^3 . También relacionado al alto contenido de CO_2 , el poder calorífico superior es sólo de 20-24 MJ/Nm^3 , es decir, un 30-40% más bajo que el gas natural.

Agitación

La agitación del digestor es un parámetro importante para cumplir con los objetivos de la digestión anaeróbica. La gran mayoría de los sustratos sometidos a digestión anaeróbica requieren de agitación o algún tipo de mezcla para mantener cierta estabilidad en el proceso. Dentro de los principales objetivos de la agitación se describen:

- Remoción de metabolitos producidos por bacterias metanogénicas (gas)
- Mezcla de sustrato fresco (material entrante) con la población bacteriana existente.
- Evita la sedimentación del material orgánico al interior del biodigestor, hecho que acabaría reduciendo el volumen de tratamiento del digestor disminuyendo así su eficacia (generación de costra).
- Permite un intercambio calórico homogéneo al interior del digestor, evitando así posibles gradientes de temperatura.

Factores inhibitorios de la fermentación

Existen diversas sustancias que pueden ejercer actividad inhibitoria sobre el metabolismo bacteriano, los mismos nutrientes cuando se encuentran en concentraciones por sobre lo normal pueden ejercer dicha actividad. También la presencia de metales pesados, antibióticos y detergentes utilizados en limpieza de pabellones pueden inhibir la generación de metano. A continuación se presenta una lista con las concentraciones límite permitidas para una óptima digestión anaeróbica.

**Tabla 8: Concentraciones limitantes de la metanogénesis para varios
inhibidores**

Compuesto	mg/L_
Cobre	10-250
Calcio	8.000
Sodio	8.000
Magnesio	3.000
Níquel	100-1.000
Zinc	350-1.000
Cromo	200-2.000
Sulfuro	200
Cianuro	2
Amonio	1.500

b) Acondicionamiento del biogás previo a su utilización

En la gran mayoría de las alternativas evaluadas la utilización del biogás requiere de limpieza, al menos en algún grado. La remoción de H₂S sería recomendable en caso de optar por cogeneración, y necesaria para fines de calefacción.

c) Remoción de ácido sulfhídrico

Proteínas y otros materiales sulfurados producen ácido sulfhídrico en el proceso de digestión. El ácido sulfhídrico es un gas que trae consigo serios problemas cuando se plantea la utilización del biogás, dado su fuerte poder corrosivo sobre los metales.

El primer paso a seguir previo a cualquier utilización consiste en la remoción del ácido sulfhídrico. Es extremadamente reactivo con la mayoría de los metales y su reactividad se ve potenciada por la concentración y presión; la presencia de agua y temperaturas elevadas.

Tener en cuenta que el H_2S es un compuesto venenoso, oloroso y altamente corrosivo sobre las superficies metálicas como pueden ser tuberías, contenedores, motores, calderas y lámparas radiantes, acortando de manera significativa la vida útil de éstos productos, haciendo inviable la utilización del biogás crudo en equipos regulares.

Actualmente se considera la digestión anaeróbica en varias etapas sucesivas:

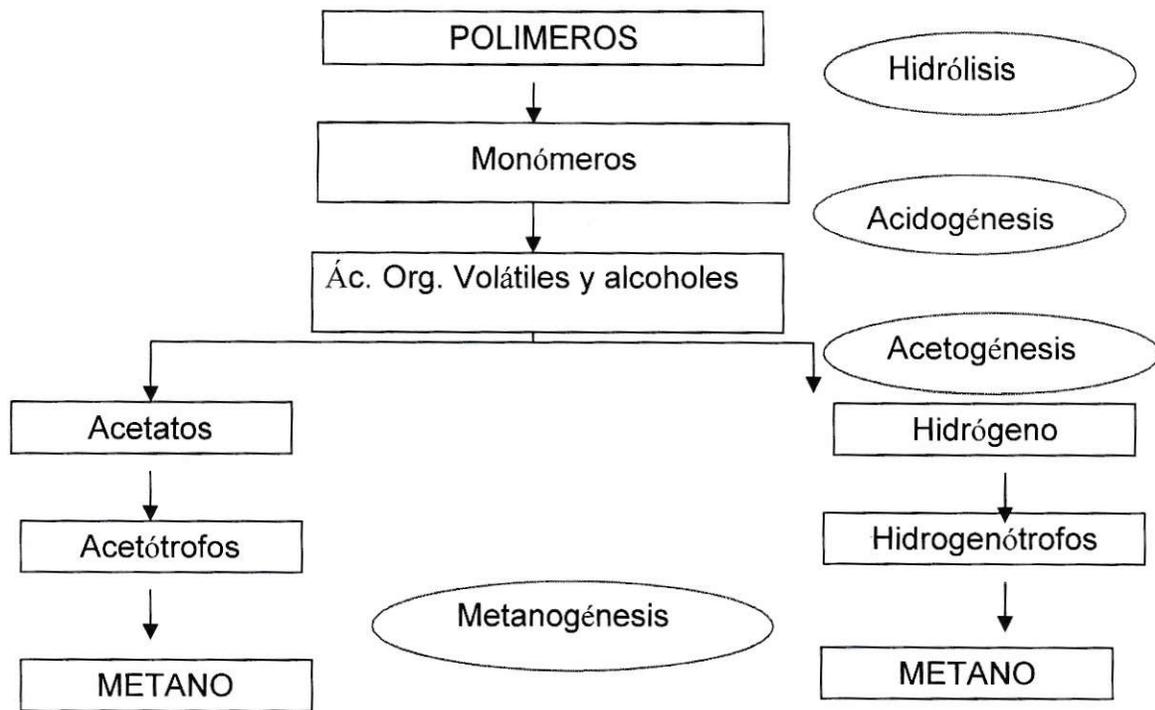


Figura 7: Producción de biogás

1.10.2. Biodiesel

El biodiesel se produce a partir de los aceites y grasas generados en la región, el biodiesel es un combustible elaborado a partir de materias primas renovables, como aceites vegetales o grasas animales, y puede ser obtenido mediante un proceso denominado transesterificación, los aceites derivados orgánicamente se combinan con el alcohol (etanol o metano) y son químicamente alterados para formar ésteres grasos, como etil o metilester.

Los motores diesel de hoy requieren un combustible que sea limpio al quemarlo, además de permanecer estables bajo las distintas condiciones en las que opera. El Biodiesel es el único combustible alternativo que puede usarse directamente en cualquier motor diesel, sin ser necesario ningún tipo de modificación. Como sus propiedades son similares al combustible diesel de petróleo, se pueden mezclar ambos en cualquier proporción, sin ningún tipo de problema. Al porcentaje de biodiesel puro que se encuentra en el combustible, se le denomina porcentaje de biomasicidad o, simplemente, bioesteraje. Así, el Biodiesel B30 tiene un 30 % de bioesteraje, es decir, un 30 % de estères grasos y un 70 % de diesel petrolífero.

La sola observación de las propiedades de mejora ambiental que implica el uso de este combustible en sustitución del de origen fósil, hace recomendable la gestión de promover su elaboración y uso lo más intensivo posible en la medida de su factibilidad económica, a pesar de que sus beneficios y contribución efectiva a la mejora del "efecto invernadero" justificarían la búsqueda de mecanismos de subvención para el sostenimiento de su uso. Como subproducto se obtiene glicerina, que se puede utilizar en otros procesos de interés industrial, suponiendo un factor positivo desde el punto de vista económico.

Entre las ventajas de utilizar biodiesel, encontramos una considerable baja en las emisiones siguientes:

- Monóxido de carbono (CO): la emisión durante la combustión del biodiesel en motores diesel es del orden del 50% inferior (comparada con aquella que produce el mismo motor con combustible diesel).
- Dióxido de azufre (SO₂): no se produce emisión de dióxido de azufre ya que el biodiesel no contiene azufre.

- Material particulado: se reduce del 65% respecto del combustible diesel.
- Productos orgánicos aromáticos: el biodiesel no contiene productos aromáticos (benceno y derivados), siendo conocida la elevada toxicidad de los mismos para la salud.
- Balance de dióxido de carbono (CO₂): el dióxido de carbono emitido durante la combustión del biodiesel es totalmente reabsorbido por los vegetales. Por lo tanto el biodiesel puede ser considerado un combustible renovable.
- Es más seguro de manipular gracias a su punto de inflamación elevado (150°C).

Proceso

El proceso de formación de biodiesel comprende la transesterificación del aceite o grasa con alcoholes ligeros, utilizándose un catalizador adecuado, para dar esteres de ácidos grasos (biodiesel). El alcohol que generalmente se utiliza es metanol, aunque se pueden utilizar otros alcoholes ligeros, como etanol, propanol o butanol. Como coproducto se obtiene glicerina, que se puede utilizar en otros procesos de interés industrial.

Las materias primas que se pueden emplear en la obtención de biodiesel son muy variadas y pueden clasificarse en:

Aceites vegetales: Aceites de semillas oleaginosas, aceites de frutos oleaginosos (como la palma), aceites vegetales; Aceites de fritura usados y Grasas animales: Sebo de distintas calidades.

El proceso se puede resumir de acuerdo al siguiente cuadro:

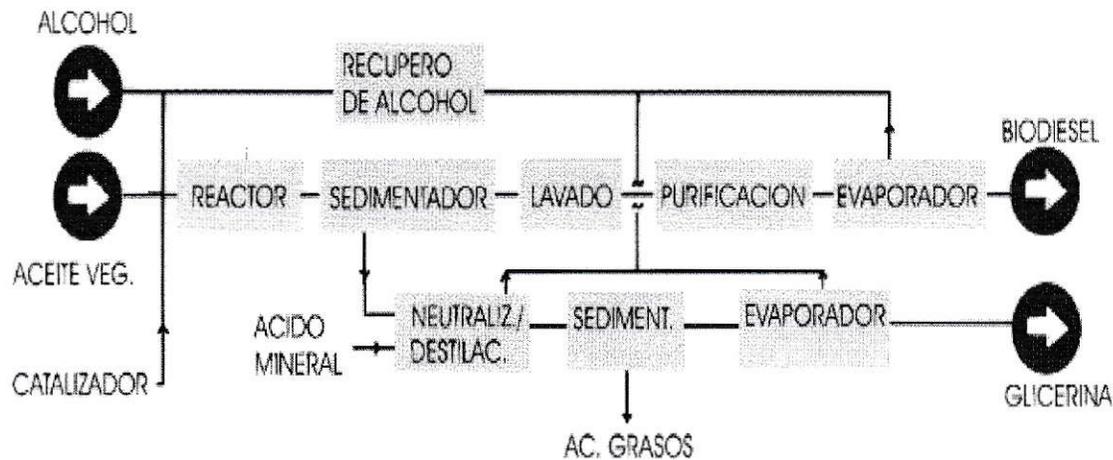


Figura 8: Proceso del Biodiesel

Separado el glicerol del biodiesel, se debe lavar el biodiesel con el fin de eliminar los jabones restantes. Para esto se emplea agua blanda, o sea que no contenga grandes concentraciones de minerales disueltos como calcio y magnesio (se mezcla mejor con los jabones), la cual arrastra los mismos por peso hacia el fondo del reactor. Para esto, debemos emplear resinas catiónicas que capturan el jabón y los restos de agua del biodiesel. La unidad ideal es la torre de lavado Polarix.

Insumos Básicos

- Alcohol de quemar (metanol)
- Soda Cáustica (NAOH)
- Aceites y/o Grasas Animales
- Agua de lavado o torre Polarix con resinas

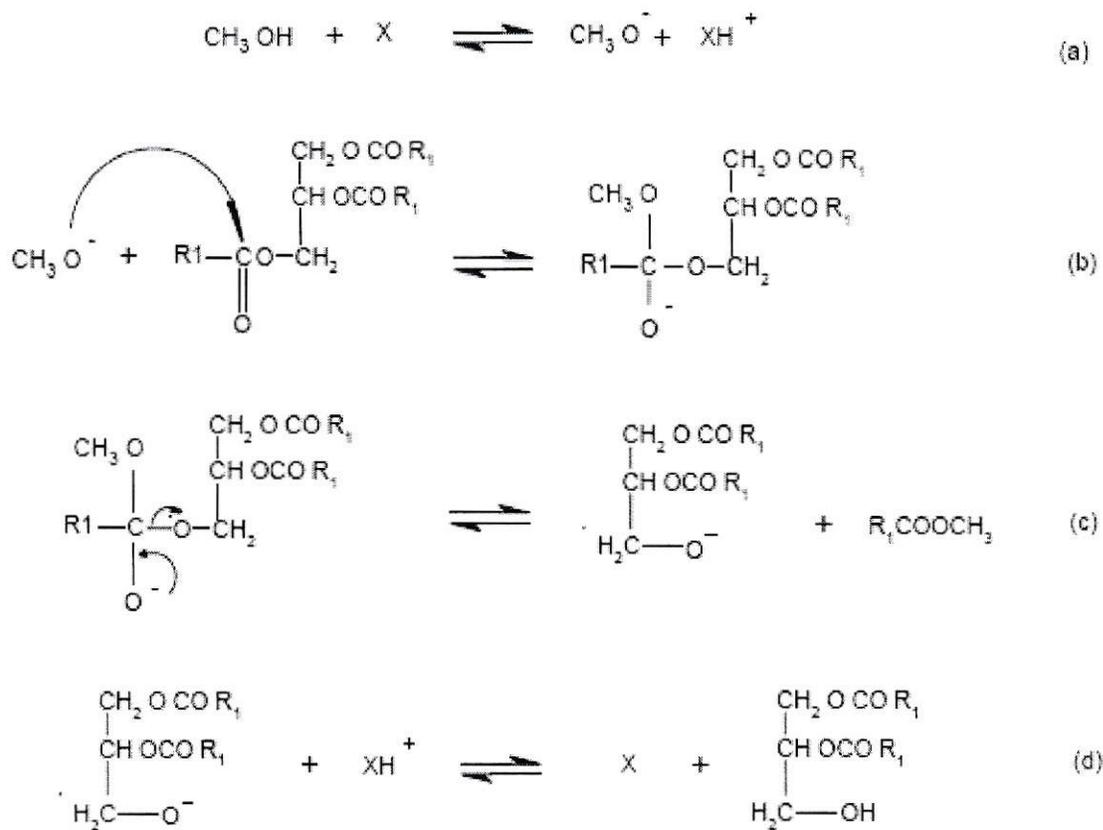


Figura 9: Mecanismo de la reacción de transesterificación

En el paso (a) de la reacción el alcohol (CH_3OH) reacciona con el catalizador básico. R_1 es el grupo alquilo que forma parte de la cadena del ácido graso del triglicérido. En el paso (b) el radical cargado negativamente (CH_3O^-) reacciona con el doble enlace del grupo carbonilo del triglicérido. En el paso (c) se forma una molécula del ester alquílico (R_1COOCH_3) – en nuestro caso específico se trata del metilester. En el paso (d) se regenera el catalizador formándose un diglicérido. Los pasos (a) al (d) se repiten hasta la desaparición del triglicérido con la formación del monoalquil ester y glicerina como productos finales.

1.10.3. Compost

Producto

De acuerdo a la NCh 2880, se define como el producto que resulta del proceso de compostaje, está constituido principalmente por materia orgánica estabilizada, donde no se reconoce su origen, puesto que se degrada generando partículas más finas y oscuras.

Descripción general del proceso:

El proceso de compostación aeróbica implica una descomposición de la materia orgánica en conjunto con aire: Dicho proceso resulta en una reducción considerable del volumen de residuos, y requiere condiciones rigurosamente controladas de temperatura, contenido de humedad y abastecimiento de aire (oxígeno) en la acumulación de desechos.

En instalaciones a gran escala, dicho método es el más apropiado para el tratamiento de la fracción orgánica de residuos domiciliarios, además de los desechos provenientes de parques y jardines. Asimismo, se puede considerar como complemento de un relleno sanitario. El producto final de la compostación puede ser utilizado como relleno, así como para la mejora del suelo en zonas verdes.

Descripción

El proceso de compostaje corresponde a la degradación bioquímica de la materia orgánica para transformarse en un producto denominado compost que es usado como fertilizante agrícola debido a su gran aporte de nutrientes esencial y mineral.

Durante el proceso de compostación están activos diversos microorganismos, estos utilizan oxígeno, se alimentan de materia orgánica y desarrollan tejido celular a partir de elementos tales como Nitrógeno, Fósforo, algo de Carbono y otros nutrientes necesarios.

Los métodos que comúnmente se utilizan corresponden a hilera con volteo periódico, pila estática aireada y sistemas de biorreactores. El método más empleado corresponde al de hileras, en el que no se requiere de tecnología sofisticada, pero el tiempo que demora el proceso de compostación puede durar de 3 meses a un año dependiendo del tipo de residuos a compostar, las condiciones climáticas y la frecuencia del volteo.

Existen sistemas más avanzados que permiten reducir el tiempo de compostación. En este proyecto presentamos el sistema Tellus -Biodegradation Compost, la que dentro de sus principales ventajas podemos mencionar el tiempo de compostación que va desde 15 a 20 días, la capacidad industrial del proceso y la calidad del compost final.

Variables que influyen en el proceso

La preparación de compost no es tarea sencilla. Para llevar a cabo esta tarea es necesario tener en consideración una serie de parámetros que inciden directamente en la demora del proceso.

Tamaño de Partículas

El tamaño de partículas reducido, incrementa la velocidad de las reacciones bioquímicas durante el proceso de compostaje aerobio (en presencia de oxígeno). El tamaño de partícula más deseable para el compostaje es menor de 5 cm, pero se pueden degradar partículas más grandes. Para obtener resultados óptimos el tamaño de los residuos sólidos orgánicos debería estar entre 25 y 27 mm.

Como la mayoría de los materiales que conforman los residuos sólidos son de forma irregular, se puede reducir esta irregularidad sustancialmente mediante trituración de los materiales orgánicos antes de compostarlos.

Humedad

El contenido de humedad óptimo para el compostaje aerobio está en el rango de 50 a 60 %. La humedad puede ajustarse mediante la mezcla de componentes o la adición de agua. Cuando el contenido de humedad cae por debajo del 40 % se reduce la velocidad de fermentación.

Relación Carbono / Nitrógeno

El factor ambiental más importante corresponde a la relación Carbono Nitrógeno. Para llevar a cabo un proceso de compostaje óptimo esta relación debe estar en el rango de 25 a 50, es decir siempre deben prevalecer residuos que contengan un alto contenido de carbono para mezclarlos con residuos que tengan alto contenido de nitrógeno. Las proporciones de la mezcla se deben realizar teniendo conocimiento de las relaciones carbono / nitrógeno de cada uno de los residuos a compostar, para posteriormente calcular las dosificaciones de cada uno para llegar a una relación óptima. Una de las técnicas más usadas para la compostación de residuos sólidos orgánicos, es mezclar residuos secos y que contengan alto contenido de carbono, como por ejemplo aserrín, con residuos húmedos que contengan alto contenido de nitrógeno, como por ejemplo restos de mataderos. Con relaciones C/N más bajas de lo normal se emite amoníaco, además de impedir la actividad biológica. Con relaciones más altas de lo normal, el nitrógeno puede ser un nutriente limitante.

Temperatura

Para obtener mejores resultados, la temperatura debe mantenerse entre 50 y 55 ° C durante los primeros días y entre 55 y 60 ° C para el resto del período de compostaje activo. En los sistemas de compostaje más sofisticados, con inyección de aire, la temperatura se regula controlando la corriente de aire. En el caso de compostaje en hileras la temperatura se controla en forma indirecta variando la frecuencia de volteo.

Aireación

En los procesos de aireación forzada, tales como sistemas de pila estática y biorreactores, el requerimiento total de aire y la tasa de flujo son parámetros esenciales del diseño. Este depende fundamentalmente del tipo de residuos que se deseen compostar, el contenido de humedad y el tiempo en que se desee realizar el proceso. En el caso de compostaje en pilas, el volteo del material orgánico durante el proceso es un factor operacional muy importante para mantener la actividad aerobia.

Control de pH

Para lograr una descomposición aerobia óptima, el pH debe permanecer en el rango de 7,0 a 7,5. Para minimizar la pérdida de nitrógeno en la forma de gas amonio, el pH no debe sobrepasar un valor de 8,5.

Formas de hacer compost

Como se ha mencionado anteriormente, en la actualidad existen diversas formas de hacer compost. Algunas incluyen mayor tecnología y otras se realizan en forma artesanal. A continuación se describen las técnicas más empleadas:

a) Compostaje en hileras:

Un sistema rápido de compostaje en hileras de alto rendimiento emplea hileras con una sección transversal normalmente de 2 a 2,3 m de altura por 4,5 a 5 m de ancho. Las dimensiones de la hilera dependen del tipo de equipamiento que se va a utilizar para voltear los residuos fermentados. Antes de formar las hileras se procesa el material orgánico mediante trituración y cribación hasta obtener un tamaño de partícula aproximadamente 2,5 a 7,5 cm y un contenido de humedad ajustado entre el 50 a 60 %.

En los sistemas de alto rendimiento se voltea la pila hasta dos veces por semana, así la fermentación completa puede obtenerse en tres o cuatro semanas.

b) Compostaje en pila estática aireada:

Este sistema consiste en una red de tuberías de escape o aireación sobre la cual se colocan los residuos para ser compostados. Las alturas de las pilas son aproximadamente de 2 a 2,5 m. A menudo se coloca encima de la pila recientemente formada una capa de compost cribado para el control de olores. El material se fermenta durante un período de 3 a 4 semanas, después se estabiliza el material durante 4 semanas más.

Beneficios del compost

Según Caviedes y Rivera (1988), algunos de los beneficios que se pueden mencionar son:

- Mejora las características físicas, químicas y biológicas del suelo como textura, estructura y capacidad de retención de humedad.
- Mantiene el balance nutricional, ya que es fuente de macro y micro nutrientes.

- Controla la erosión, ya que disminuye el escurrimiento superficial.

El compost tiene variados usos en el medio e incluso puede tener beneficios comparativos con los productos sustitutos. Es usado como fertilizante formando un producto con un alto contenido de nutrientes, que incluso presente concentraciones superiores a las del suelo natural, mejorando la capacidad productora del suelo (Santibáñez, 2002) y además puede aumentar la efectividad de los fertilizantes químicos (FAO, 1977).

Según CONAMA (2004), el compost disminuye el aporte de materia orgánica en rellenos sanitarios, minimiza las quemas y se presenta como un sustituto a la tierra de hoja, disminuyendo la explotación y los daños que esta actividad causa.

De acuerdo a la bibliografía revisada se recomienda la utilización de 20 ton/ha para aportar con los nutrientes requeridos por las plantas.

3.5. Opinión Social

Se realizó una encuesta para conocer la percepción de la población local con respecto al reciclaje de residuos orgánicos y la posibilidad de tener una planta de tratamiento en su comuna, la encuesta realizada puede observarse en Anexo 3.

Las encuestas se realizaron entre los meses de Mayo y Julio del año 2007, por una persona de la región, de estructura semicerrada y de 14 preguntas. Se aplicó en la comuna de Vallenar y se entrevistó a 145 personas de distintas edades. Los encuestados debían tener 18 años o más y vivir en alguna comuna de la provincia de Huasco. En el Tabla , se muestra el número de entrevistados y comuna a la que pertenecen.

Tabla 9. Total de entrevistados y porcentaje de participación por comuna.

Comuna residencia	N° entrevistados	Porcentaje (%)
Huasco	74	51
Vallenar	54	37
Freirina	17	12
Total	145	100

Como se puede observar en el Cuadro anterior, el mayor número de personas entrevistadas habitan en la comuna de Huasco, en segunda instancia en Vallenar y en menor participación de Freirina. No existió participación en la entrevistas de personas que habitaran en Alto del Carmen.

Del total de entrevistados se encontraron distintos grupos etarios y con distinta participación en el muestreo, que se puede observar a continuación:

Tabla 10. Participación grupo etario en las Encuestas

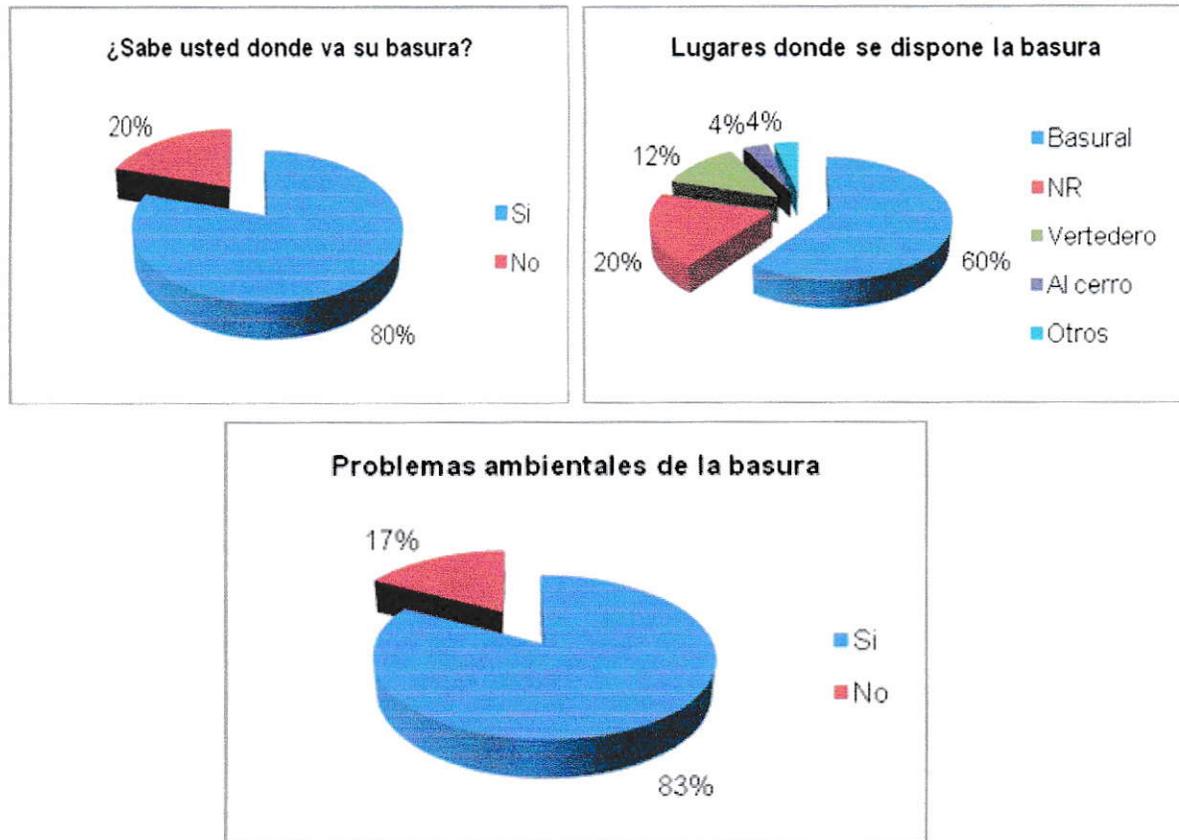
Grupo etario (años)	Porcentaje
18-30	46
31-40	19
40-50	17
50 o más	18

El grupo etario de mayor participación se encontró entre los 18 y 30 años. La participación de los entrevistados en las edades superiores poseen en promedio una participación del 18%.

A continuación se presentan los resultados de la encuesta, por una cuestión de claridad en ellas se ha considerado la gráfica de las respuestas y separada en 5 grupos de acuerdo a la temática específica. El primer grupo de respuestas está constituido por las preguntas (Anexo 3) desde la 1 a la 3; que hacen referencia al conocimiento de lo que pasa con la basura generada por la población por y el segundo grupo de la pregunta 4 a 6 sobre el reciclaje de la misma, el tercer grupo de la pregunta 7 a 9 sobre el conocimiento del compost y su percepción de instalación de una planta de este tratamiento en la comuna, el cuarto grupo en la misma temática que la anterior pero en relación al biogás, preguntas 10 a 12 y en relación a la recuperación de aguas en las preguntas 13 y 14 en el grupo 5.

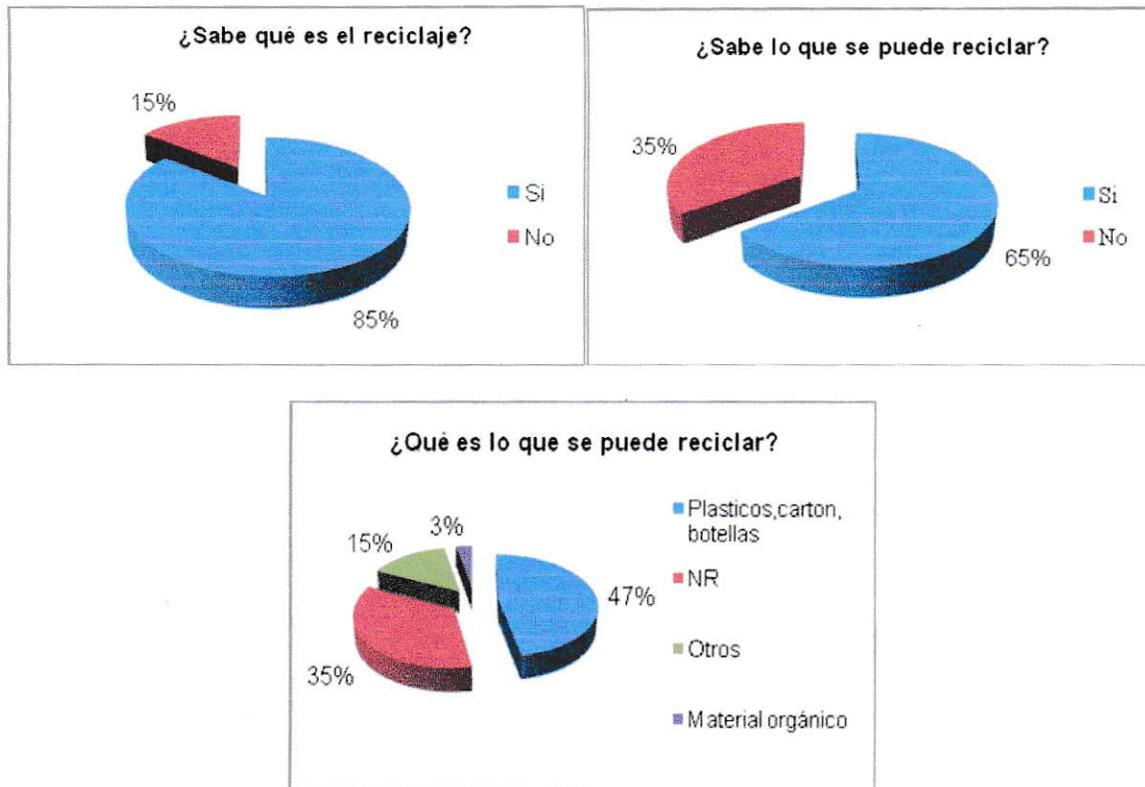
A continuación se muestran las figuras correspondientes a las respuestas:

Figura 10: Respuestas preguntas 1-3 (grupo 1)



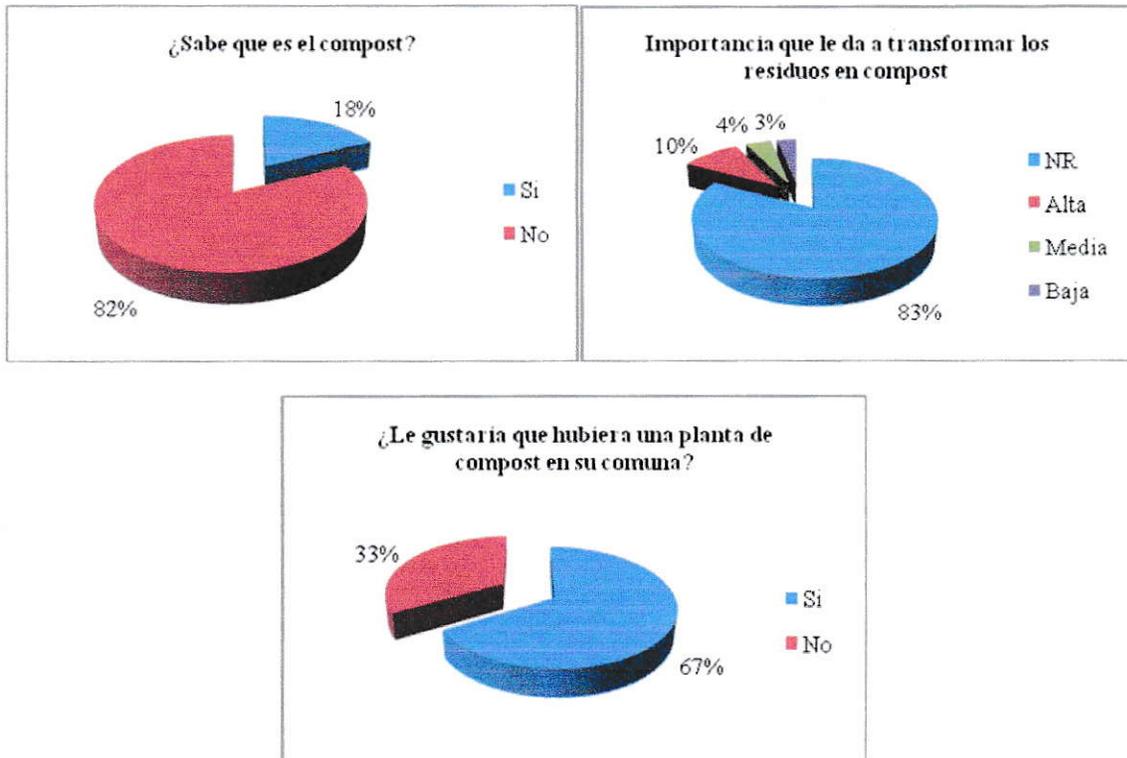
De las figuras anteriores se puede observar que la mayoría de las personas entrevistadas poseen algún conocimiento sobre donde va su basura, el 60% piensa que se va al basural, sólo el 12% piensa que se va al vertedero y el 83% de los entrevistados asocian a la basura con problemas ambientales.

Figura 11: Respuestas preguntas 4-6 (grupo 2).



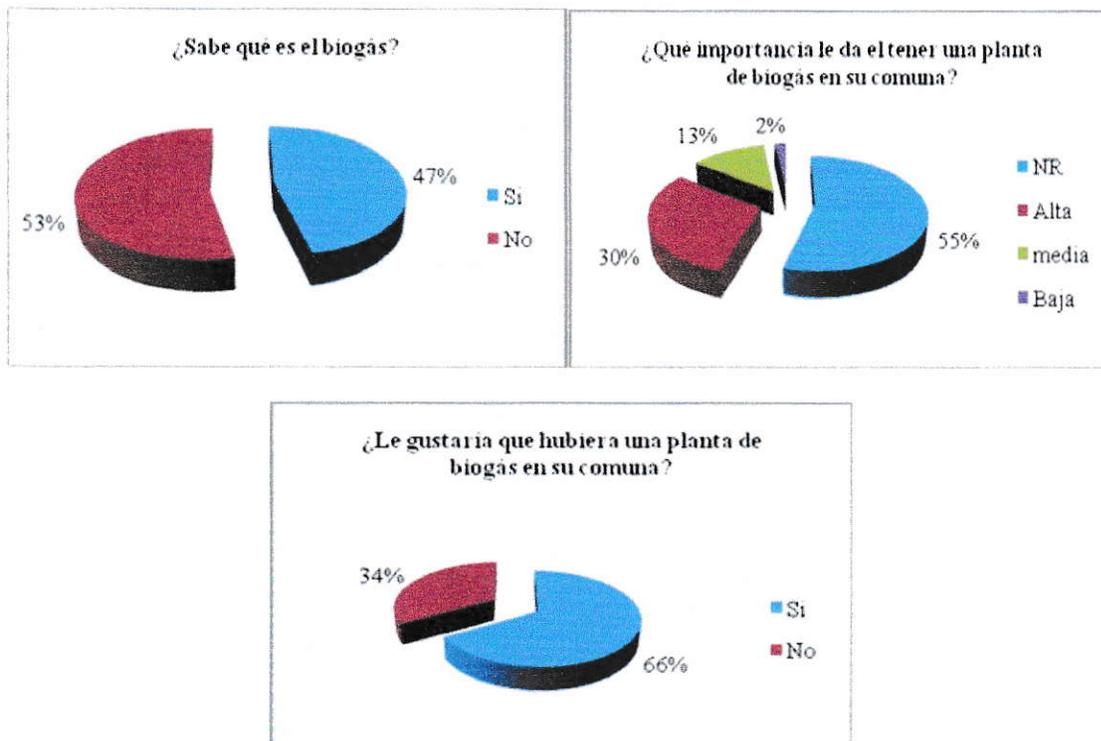
De las figuras anteriores se puede observa que el 85% de la población declara saber que es el reciclaje y el 65% que sabe lo que se puede reciclar. El 47% declara que lo reciclable son los cartones, plásticos y botellas y sólo el 3% dice que se puede reciclar el material orgánico.

Figura 12: Respuestas preguntas 7 – 9 (grupo 3)



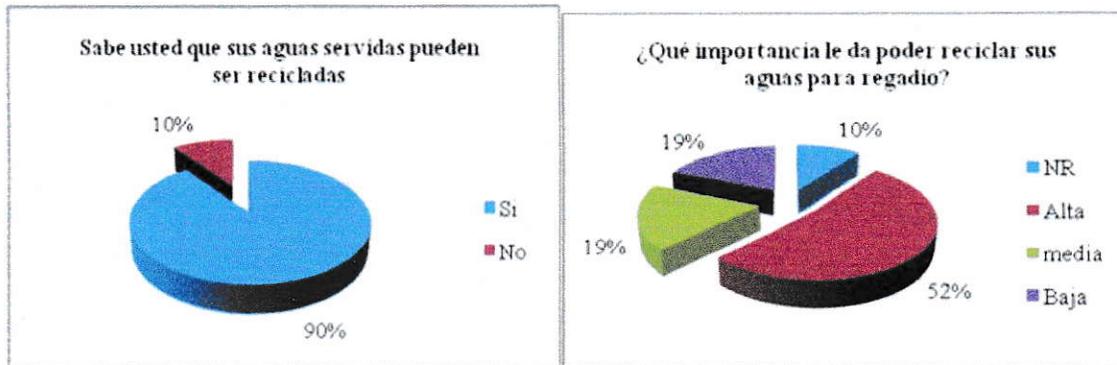
En cuanto al conocimiento del compost el 82% dice no conocer lo que es, el 83% no responde ante la importancia que le daría a una planta de compostaje en su comuna y el 10% de las personas que saben que es el compost (18%) declara que es de alta importancia. Al 67% le gustaría que hubiese una planta de compostaje en su comuna.

Figura 13: Respuesta preguntas 10-12 (grupo 4)



En cuanto al biogás, el 53% de la población no sabe lo que es y el 30% de las personas que si saben lo que es (47%) le da una alta importancia a obtener biogás y al 66% le gustaría que hubiese una planta en su comuna que produzca biogás.

Figura 14: Respuestas preguntas 13 y 14 (grupo 5)



En cuanto a las aguas servidas, el 90% dice conocer que éstas pueden ser recicladas y el 52% de las personas que tienen conocimientos de la recuperación de aguas le da un alto valor a ser recicladas.

II MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Antecedentes

En el presente capítulo se presenta la propuesta técnica para la solución integral al tratamiento de Residuos Industriales Líquidos que DISAL recolecta y transporta en la sucursal de Vallenar y zonas aledañas, en la Tercera Región.

Se ha desarrollado la propuesta de tratamiento integral en base a la información entregada. El análisis conceptual ha permitido configurar una alternativa óptima desde el punto de vista técnico y en base a las características del escenario. Durante el desarrollo del presente capítulo se presentará y explicará la propuesta desarrollada.

Las corrientes a tratar corresponden a 3 tipos de RILes (Residuos Industriales Líquidos) que actualmente DISAL gestiona en la zona de la sucursal de Vallenar.

- Residuos Líquidos provenientes de Baños Químicos.
- Residuos Líquidos provenientes de Fosas Sépticas.
- Aceites y grasas provenientes de restaurantes y casinos.

Para complementar el tratamiento integral se estimó agregar una cuarta “corriente” consistente en los residuos sólidos verdes agroindustriales, consistentes en restos de ferias libres y restos de podas de la I. Municipalidad de Vallenar.

Las características de las corrientes se describirán en las secciones siguientes.

2.2. Descripción de la Corrientes a tratar

2.2.1. Residuos de Sanitarios portátiles

DISAL tiene como negocio el arriendo de Sanitarios Portátiles a privados, lo que implica que después la empresa debe encargarse de asegurar el tratamiento y/o disposición final de los residuos contenidos dentro de los sanitarios.

En el Anexo 4 se muestra una caracterización promedio de un RIL de este tipo, mostrando sus valores mínimos y máximos. Comparando con la normativa atinente (D.S. 90/98 y D.S. 601/2004 ambos del MOP) se puede ver que el caudal en cuestión no cumple la norma, por lo que necesita perentoriamente un proceso de tratamiento.

Respecto al caudal de este RIL se ha estimado que tiene un valor máximo de 8 m³/día.

Aparte de presentar parámetros fuera de norma, esta corriente contiene el producto químico que es usado en los sanitarios portátiles, que es principalmente un formaldehído, de nombre comercial SANILET (de la empresa Clariant Colorquímica) usado para retardar los procesos de degradación microbiológica de los residuos vertidos en los sanitarios portátiles, se adjunta la hoja de biodegradabilidad presentada por la empresa proveedora (ver Anexo) en la que se muestra que el producto no afecta la biodegradabilidad mayormente (hay que destacar que el ensayo biodegradabilidad según la metodología solo se basa en la digestión aeróbica de los residuos, según la metodología estándar OCDE 301B). Por otro lado en conversaciones con la empresa se nos ha comentado que la presencia del formaldehído (Sanilet) en las muestras no es superior a 3 días, por lo que ya al segundo día comienza apreciarse acción de degradación microbiológica y la generación de olores.

En conclusión, se dispone de una corriente de aproximadamente de 8 m³/día, en las condiciones que se muestran en la Tabla del Anexo.

2.2.2. Residuos de Fosas Sépticas

Esta corriente tiene un valor de caudal máximo de 17 m³/día y corresponde a la extracción de acuoso desde fosas sépticas de la zona.

En visita a terreno se tomaron muestras de estas corrientes y se mandaron a analizar a DICTUC, obteniendo los resultados que se muestran en el Anexo 6. En instancia de análisis posterior el equipo de trabajo desestimó la muestra de fosa séptica (7916) debido a que los valores de la caracterización están muy por debajo de lo esperado. En principio las características de esta corriente no debiesen ser muy diferente de los parámetros de la muestra de sanitarios portátiles.

En conclusión la corriente estimada de fosas sépticas es del orden de 17 m³/día, de características similares a la de Sanitarios portátiles.

2.2.3. Residuos Sólidos

Tal como se puede observar en el capítulo anterior, existe un potencial mercado por capturar, el de los residuos sólidos agroindustriales.

De la estimación de mercado poder establecer un potencial volumen de residuos sólidos agroindustriales provenientes de ferias libres y de restos de podas municipales, los que han sido estimados en 324 m³ de residuos de ferias libres (considerando un 10% de descarte) y de 518 m³ de mantención de aéreas verdes, todos volúmenes anuales. Si consideramos que DISAL pudiese negociar un contrato para capturar estos volúmenes tendríamos un volumen anual (cautivo) de 842 m³/año, que asumiendo una generación en

6 días a la semana, en 52 semanas al año nos da una estimación del volumen de generación diaria promedio de $2,70 \text{ m}^3$ (con una densidad estimada de $0,8 \text{ ton/m}^3$).

En conclusión, se dispone de una tercera corriente de residuos sólidos de tipo agroindustriales y restos verdes, estimado en $2,70 \text{ m}^3/\text{día}$.

2.2.4. Aceites y Grasas

Se ha incluido dentro del análisis el caudal con aceites y grasas recolectadas desde los casinos y restaurants de la zona norte del país, los que son transportados hasta Santiago para dar una solución final a este tipo de residuos.

Se ha estimado que la frecuencia y cantidad de este tipo de residuos corresponde a 30 m^3 cada 10 días, lo que significa contar con un caudal promedio de $3 \text{ m}^3/\text{día}$ de caudal ecualizado.

Se cuenta con una caracterización de este tipo de residuo líquido, el que se presenta en el Anexo.

Se dispone de una cuarta corriente líquida que corresponde a volúmenes recolectados desde casinos y restaurantes de la zona norte de Chile y que tienen un caudal promedio de $3 \text{ m}^3/\text{día}$.

2.3. Análisis de las Corrientes a Tratar

Se tienen 4 corrientes-problema para procesar/tratar de forma que no generen pasivos ambientales y que las corrientes de salidas lo hagan cumpliendo la normativa atingente (D.S. 609 para descargas a alcantarillados o la NCh 1.333 para riego, dependiendo del uso final de la descarga). Es requisito y condición de diseño el recuperar aguas de

proceso, de forma de poder usarlas ya sea para riego (recurso de alto valor en la zona norte como Vallenar) o para aguas de proceso.

Las variables de comparación de la normativa se presentan en el Anexo para el D.S. 609 y en el Anexo N°6 para la NCh 1.333. Como no está claro el emplazamiento del terreno, y por lo tanto respecto a la urbanización del terreno, vamos a comparar las descargas acuosas en primera instancia con la NCh 1.333 para usar el agua para riego, y en segunda instancia con el D.S. 609 para descarga de efluentes a redes de alcantarillado que no cuenten con plantas de tratamiento de aguas servidas (Tabla de D.S. 609, en Anexo 8).

Al analizar los datos sobre la corriente N°1 (Anexo, Sanitarios Portátiles) vemos que los valores están altos para todos los parámetros, siendo los que mas llaman la atención la alta DBO y el alto nivel de SST.

Respecto a la corriente 2 de Fosas Sépticas la caracterización obtenida (por CESIUM AB) ha sido desestimada, debido a que los parámetros obtenidos han sido mas bajos de lo esperado (Anexo). En sondeos posteriores se ha determinado que la muestra fue mal tomada, representando el sobrenadante de un volumen decantado. Se ha estimado, sin perdida de generalización, que la corriente de fosa séptica tiene parámetros similares a la corriente 1 (sanitarios portátiles), la que ha sido corregida, en comparación a los valores máximos obtenidos por el muestreo de CESIUM AB, tal como se puede apreciar en el Anexo 6.

Corrigiendo los datos del Anexo, podemos asumir que las características de la corriente 1 (sanitarios portátiles) tiene la siguiente composición:

Tabla 11. Características de Corriente N°1 Sanitarios Portátiles

Parámetro	Unidad	Valor Min	Valor Max
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	9.243	20.200
Sólidos Suspendidos Total	mg/l	6.689	25.754
Sólidos Sedimentables	ml/l 1h	233	467
Aceites y Grasas	mg/l	687	1.373
Fosforo Total	mg/l	510	1.019
Nitrogeno Amoniacal	mg/l	807	1.613
pH		7,10	9,13
Humedad	%	96,9	
Caudal	m ³ /día	8	

En base a los argumentos anteriores hemos estimado que las características de la corriente 2 (Fosa Séptica) es igual a la anterior, y se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 12. Características de Corriente N°2 Fosa Séptica

Parámetro	Unidad	Valor Min	Valor Max
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	9.243	20.200
Sólidos Suspendidos Total	mg/l	6.689	25.754
Sólidos Sedimentables	ml/l 1h	233	467
Aceites y Grasas	mg/l	687	1.373
Fosforo Total	mg/l	510	1.019
Nitrógeno Amoniacal	mg/l	807	1.613
pH		7,10	9,13
Humedad	%	96,9	
Caudal	m ³ /día	17	

Respecto a la corriente 3, supondremos que los residuos de podas y ferias libres serán de una tipología similar en grados de humedad y nivel de Nitrógeno. Esta corriente será considerada como se muestra a continuación:

Tabla 13. Características de Corriente Residuos Sólidos

Caudal	2,70 m3/dia
Densidad Promedio	0,8 ton/m3

Respecto a la cuarta corriente, esta fue la última en contar información acerca de ella, por lo que los cálculos iniciales fueron considerando que la corriente era principalmente aceites y grasas, lo que fue corregido al ver los parámetros que se muestran en el anexo, ya que solo contiene 4,3 g/L de aceites y grasas, por lo que se puede concluir que la

corriente es principalmente agua, y las características de la corriente (respecto a tener un caudal con mayor porcentaje de aceites y grasas) podrían ser mejoradas al realizar un trabajo conjunto con el cliente. Se asume que es una corriente de 3 m³/día con las características presentadas en el anexo (no obstante lo anterior se realizó un análisis técnico respecto a una alternativa de tratamiento para corrientes de mayor pureza de aceites y grasas, considerando un procesamiento químico para la generación de biodiesel).

III RESULTADOS

3.1. Diseño Propuesta de Tratamiento

En base a las características de las corrientes de diseño, se han estimado 3 escenarios distintos para el tratamiento.

La información existente nos refiere que cuando los residuos a tratar presentan una concentración de materia orgánica elevada, expresada en términos de Demanda Química de Oxígeno (DQO) es mayor a 4.000 mg/L la mejor y mas eficiente alternativa de tratamiento es la digestión anaeróbica.

Si bien no contamos con el parámetro de DQO en ninguna de las muestras, sabemos *a priori* que la naturaleza de las corrientes significa un alto contenido de materia orgánica (lo que puede comprobarse con el alto nivel de DBO), es por esto que seleccionamos la alternativa de tratamiento anaeróbico como la primera opción de tratamiento, para la corriente 1 y 2.

Respecto a la corriente 3, desde el principio se focalizó en el diseño de una alternativa de tratamiento basada en el *expertise* de Cesium AB y que dice relación con soluciones de compostaje aeróbico forzado, que permitiría tratar los lodos generados del proceso anaeróbico y los residuos sólidos orgánicos.

Respecto a la corriente 4, el diseño partió considerando que este caudal contenía un alto grado de aceites y grasas (en nuestro primer supuesto asumimos que este caudal contenía solo un 10% de agua y el resto puro aceite), lo que significaría que, de introducir esta corriente directamente al biodigestor , se retardarían las cinéticas del sistema anaerobio, lo que implicaría de aumentar los tiempos de residencia (tiempo de residencia hidráulica TRH) y el volumen de diseño del equipo, en base a esto se optó en principio por una línea que permitiera procesar las aceites y grasas (en forma separada) de forma que

no generaran pasivos ambientales y que permitieran obtener un producto con valor agregado. La decisión consensuada fue la de proponer una línea de tratamiento químico de las grasas y que permitiera la generación de biodiesel y glicerol a través de una reacción de transesterificación, ambos productos con valor de mercado.

Pero al recibir los resultados de las caracterizaciones vimos que esta corriente tiene un alto porcentaje de agua, por lo que se optó por separar físicamente el aceite del agua (extracción líquido/líquido), y tratarlos separados, aunque de todas formas será informada la alternativa de producción de biodiesel, pues puede ser interesante en un futuro próximo como una forma de potenciar los negocios de la empresa.

En base a todo esto es que se configuró la primera alternativa de tratamiento a proponer, es decir, la corriente 1 y 2 eran sometidos a un proceso de digestión anaeróbica, los lodos generados, en conjunto con los residuos sólidos orgánicos eran procesados por la línea de compostaje, y las aceites y grasas sometidas a un separación física, la fase oleosa procesada en la línea de compostaje, y las fase acuosa mezclada con las corrientes acuosas en la primera línea de tratamiento Respecto a la fase acuosa del digestor anaeróbico se consideró en principio realizar un proceso de separación físico, de bajo costo y alta eficiencia como son los evaporadores solares (aprovechando la alta incidencia de luz solar en la zona de la tercera región), que actualmente se están desarrollando en fase piloto en CODELCO, para extraer la fase acuosa y generar agua "limpia" (teóricamente de alto nivel de pureza) y los lodos generados, procesados en la línea de compostaje, lo que sería la primera alternativa propuesta.

En reuniones de trabajo con el equipo de DISAL, se acordó prospectar la alternativa de tratamiento convencional de aguas, conocida como lodos activos, actualmente muy bien conocida y caracterizada, por lo que se comenzó la etapa de evaluación de esta tecnología y que, al diferenciarse tecnológicamente de la primera propuesta, permitió configurar una segunda alternativa de tratamiento.

En la etapa de lodos activos se generan lodos que son procesados en la línea de compostaje. Se mantiene el tratamiento de residuos orgánicos en la línea de compostaje y se decidió optar por ingresar las aceites y grasas a la línea de compostaje, de forma que se obtienen principalmente 2 productos con esta configuración: agua limpia cumpliendo la normativa ambiental y sustrato orgánico, producto muy atractivo para la zona con suelos degradados como la III^a Región en el norte de Chile.

A medida que se fue avanzando en el diseño de las alternativas, se reparó que la tecnología de lodos activos estaba recomendada para caudales que contengan valores de entrada del orden de 600 mg/L de DBO₅, por lo que no se puede diseñar una propuesta como la descrita anteriormente, usando lodos activos como tecnología de remoción principal, por lo que se optó por usar lodos activos en conjunto con el digestor anaeróbico, y tratar de esta forma las aguas claras generadas en los procesos de filtración.

En base a lo anterior se procedió a configurar una segunda alternativa basada en la tecnología que CESIUM AB maneja bien y en este escenario se optó por procesar todas las corrientes en base a la tecnología de compostaje aeróbico. Debido a la naturaleza de los caudales, se optó por procesar en forma separada la corriente 1 de la corriente 2, en 2 bioreactores uno para procesar la corriente de fosa séptica, residuos sólidos y aceites y grasas, y en el otro la corriente de sanitarios portátiles, esto es debido a que los elementos trazas de formaldehído pueden retardar fuertemente la cinética microbiana, y de esa forma afectar el rendimiento y características generales de los productos generados.

Pero en análisis posteriores se procedió a desestimar esta alternativa debido a que el alto nivel de agua de las corrientes acuosas (corrientes 1, 2 y 4) obligan a generar equipos de gran envergadura lo que hace a esta alternativa sobredimensionada y poco competitiva, mas aún que los residuos orgánicos no son suficientes para entregar la base seca para potenciar las cinéticas microbianas de degradación aeróbica en la que se basa el

compostaje. En caso de poder contar con mayores volúmenes de este tipo de residuos, esta última alternativa podría volver a ser interesadamente.

En base a lo anterior se han descartado el resto de alternativas inicialmente interesantes para el problema en cuestión, por lo que solo se propondrá una sola alternativa, la que será descrita y caracterizada a continuación. Se agregará además, la alternativa de procesamiento químico de aceites y grasas, generando biodiesel como un reporte extra, que podría ser interesante en futuro para la empresa.

5.1.1. Descripción Alternativa Propuesta

En base a lo expuesto en la sección anterior, se presenta a continuación el Flowsheet de la propuesta de alternativa de tratamiento (se puede observar este flowsheet ampliado en el Anexo 7).

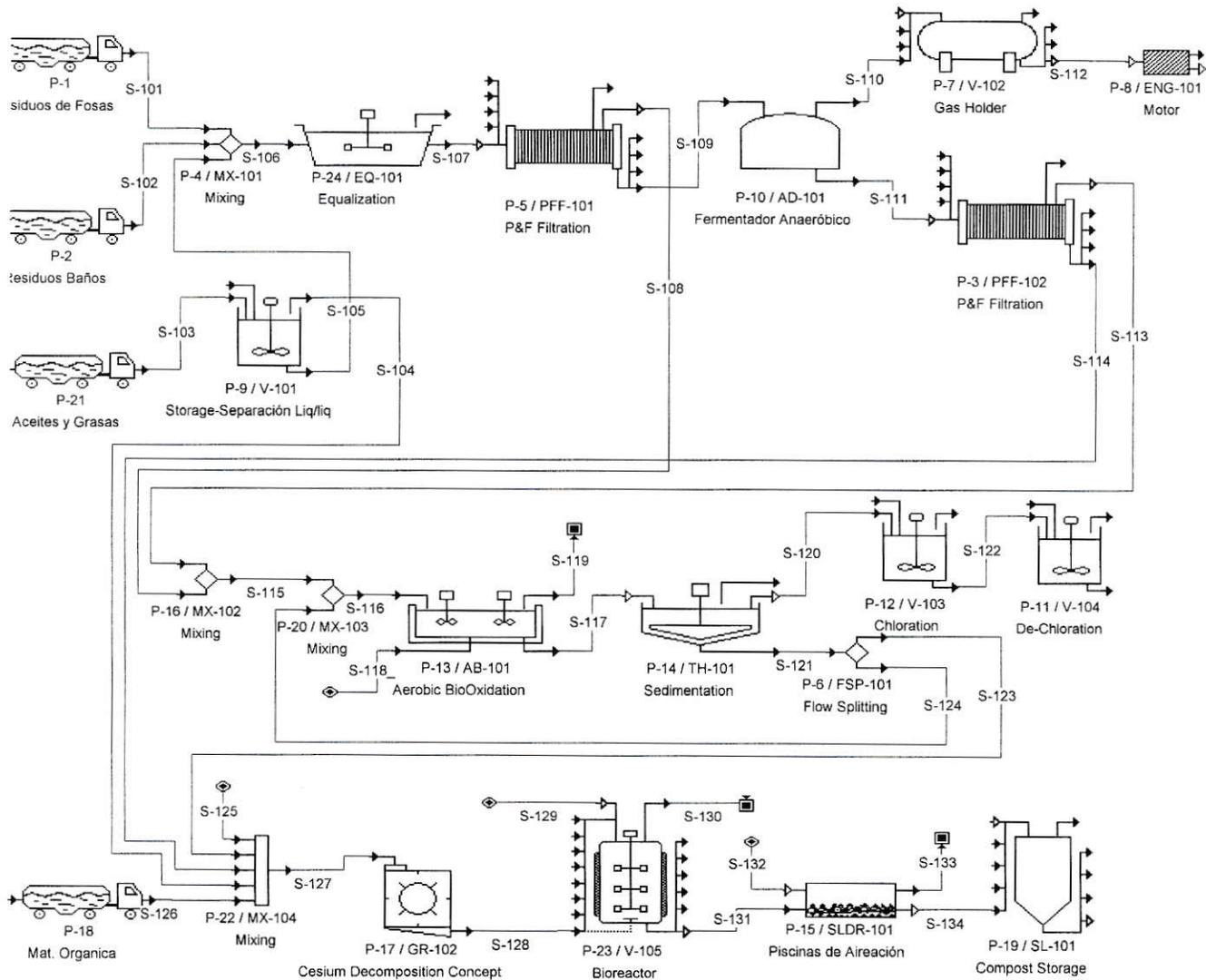


Figura 15: Flowsheet Alternativa propuesta

En esta alternativa de tratamiento la corriente 4 es ecualizada en un estanque, en la que se deja decantar y se separan la fase oleosa de la fase acuosa (proceso que ocurre en forma natural). La fase acuosa es mezclada con las corrientes 1 y 2 entra a un estanque ecualizador, para luego ser procesados en un filtro de prensa, que permite concentrar los sólidos suspendidos, ingresando el sólido concentrado (queque) al biodigestor, en condiciones de operación a 35°C y con un tiempo de residencia de 30 días (Montalvo, y col., 2003). El biogás generado es almacenado en un estanque (Gas Holder) y la corriente de biogás es llevada a combustión a un motor bencinero reacondicionado para funcionar con biogás.

Los lodos generados en el biodigestor son filtrados nuevamente, usando el mismo filtro de prensa, para enviar el solido filtrado (queque) a procesar en la línea de compostaje. El filtrado (aguas claras) es enviado a la sección de lodos activos en la que es sometido a procesamiento en el estanque de degradación biológica aeróbica, caracterizado por el ingreso de aire, para asegurar el proceso, en la que la materia orgánica (en suspensión- DBO_5) es degradada y transformada en CO_2 y síntesis celular. Esta corriente pasa luego a un sedimentador en la que decantan las células en suspensión y son recirculadas para mantener la población en el bioreactor, luego esta agua es clorada, para asegurar que no se descargue material biológico, y luego se declora, obteniendo finalmente agua limpia que cumple con la normativa ambiental de descarga (D.S. 609/98)

Los lodos que no son recirculados son enviados a procesamiento a la línea de compostaje, donde se juntan con los sólidos filtrados a la salida del biodigestor, junto con los residuos sólidos agroindustriales (corriente 3) y con las aceites y grasas separadas de la corriente 4.

En esta línea de proceso se mezclan todas las corrientes anteriores, se agrega la cantidad de carbono necesaria para asegurar la exacta relación carbono/nitrógeno, y comienza el proceso de inducción microbiana para que inicie el proceso de biodegradación, el que va a ser muy bien potenciado, al incluir los lodos activos en el proceso (aporte de consorcios bacterianos aeróbicos activos). Esta línea se caracteriza por generar temperatura, lo que permite evaporar los excesos de agua, y asegurar una degradación aeróbica, generando finalmente un producto muy rico en nutrientes, que puede ser almacenado, o ensacado y ser vendido a clientes particulares.

En resumen esta alternativa permite procesar todas las corrientes y generar externalidades positivas, con un valor de mercado como es el biogás (o energía eléctrica), sustrato orgánico y aguas limpias.

Las características técnicas y los criterios de diseño, así como el dimensionamiento de los equipos principales serán presentados en la sección siguiente.

3.2. Especificaciones Técnicas y Criterios de Diseño

Las principales variables de diseño (y que son precisamente los parámetros que se encuentran con los valores más altos en la corriente 1 y 2) son los parámetros SST y DBO, por lo que para efectos de los cálculos teóricos se estimará que las corrientes son básicamente estos 2 parámetros (se asume que la reducción del resto de los parámetros será lo suficientemente buena en los procesos propuestos, aunque se recomienda encarecidamente confirmar estas hipótesis en las etapas siguientes del proyecto de ingeniería base). Este supuesto nos permite

configurar el orden de magnitud del proyecto, en base al afinamiento y alcance de un proyecto de ingeniería conceptual.

El proceso se diseña en base a las caracterizaciones de las corrientes especificadas en la sección 1.1 del presente capítulo.

El cálculo y dimensionamiento de los equipos ha sido estimado a caudal máximo con las características presentadas en los anexos, asumiendo los siguientes caudales de entrada.

- Corriente 1 (sanitarios portátiles): 8 m³/día. Tag: S-101.
- Corriente 2 (fosas sépticas): 17 m³/día. Tag S-102.
- Corriente 3 (residuos sólidos): 2,70 m³/día. Tag S-126.
- Corriente 4 (aceites y grasas): 3 m³/día. Tag S-103.

Las caracterizaciones de estas corrientes se encuentran en los anexos.

Se describirá a continuación los criterios de diseño por equipos, en base al avance *downstream* del flowsheet de la alternativa propuesta.

3.2.1. Estanque de Recepción V-101

La línea S-103 es recibida en el Estanque V-101, donde se deja decantar por un período de 1 día (Tiempo de Residencia Hidráulico: TRH), para que las fases se separen. Luego la fase oleosa es bombeada desde la superficie en el caudal S-104 y llevada a procesar al homogenizador de la línea de compostaje GR-102, la fase acuosa (S-105) es bombeada al estanque ecualizador EQ-101.

El cálculo del volumen del reactor corresponde a $(Q \cdot TRH) \cdot F_s$, siendo Q de entrada 30 m³/día; F_s (factor de seguridad): 20% y TRH 1 día. El volumen del estanque es de 36 m³.

En este estanque se produce la extracción líquido/líquido con una eficiencia de al menos el 90%.

Se estima una condición de operación hasta obtener una fase oleosa con una concentración aproximada de 40 g/L.

La línea S-104 corresponde a 0,29 m³/día y la línea S-105 a 2,71 m³/día.

No hay restricciones respecto al material de este estanque.

3.2.2. Estanque de Ecuilizador EQ-101

La línea S-106 es la suma de la línea de las líneas S-101, S-102 y S-105. La suma de estos caudales corresponde a 27,71 m³/día.

El TRH es aquel que permita el almacenaje de estos volúmenes en el tiempo necesario, es decir, 1 día. $F_s = 20\%$, nos permite estimar el volumen del Estanque EQ-101 en 33,25 m³.

Este equipo debiese ser agitado, para favorecer la “desaparición” del Sanilet. Se ha estimado que según las pruebas de digestibilidad que deben ser realizadas en las etapas siguientes de ingeniería, este equipo podría ser eventualmente “cerrado” para evitar la generación de olores.

3.2.3. Filtro de Placas PFF-101

Filtro de placas es el mismo que se usa a la salida de los lodos del biodigestor anaeróbico (PFF-102)

Se estima una eficiencia de filtrado de al menos el 99%, en base a un paño filtrante de unos 300 μm . Se imponen las condiciones de operación para asegurar que el queque se encuentre al 6%, como condición de entrada al biodigestor.

Las corrientes S-108 y S-109 tendrán valores de 17,36 y 10,35 $\text{m}^3/\text{día}$.

3.2.4. Digestor Anaeróbico AD_101

El biodigestor operará en el rango mesófilo, con una temperatura de operación de 35°C (este es el valor en que las cinéticas de generación de CH_4 son mayores dentro del rango mesófilo). Se estima que el TRH será del orden de 30 días, lo que nos permite estimar el volumen del digestor (Fs: 20%, mas 10% del volumen para fase gas) en: 489,89 m^3 .

Se ha contactado a un proveedor de este tipo de estanques, en acero inoxidable, cubierto con resina epóxica, que nos impone la condición de operación de 30 mbar de presión positiva (para evitar la posible entrada de aire externo y evitar la interferencia en las cinéticas anaeróbicas).

La estimación de la generación de biogás en base a los datos de operación:

- SST al 6%.
- T° de operación 35°C.
- TRH de 30 días

Nos permite asumir una tasa de generación de biogás conservadora, estimada en 0,45 m^3/kg de orgánico seco (asimilable en este caso a la variable de SST).

El uso de materia orgánica para generación celular ha sido estimada en el 10%.

El biogás generado ha sido estimado en la siguiente relación de composición:

$\text{CH}_4:\text{CO}_2:\text{otros} = 50:45:5$.

En esas condiciones el caudal de generación ha sido estimado en 217,99 m³/día (caudal S-110), y la generación de lodos en 9,82 m³ (caudal S-111).

Es importante destacar que en las condiciones de operación normales, en este equipo debiese monitorearse continuamente la alcalinidad y el pH, ya que estos parámetros pueden afectar fuertemente la cinética del proceso. En particular, la medición del pH es una variable de control, que solo reporta un problema operativo dentro de los consorcios bacterianos en el biodigestor. Es por eso que la medición de la alcalinidad es de extrema importancia, para acusar oportunamente pérdidas del punto de operación del biodigestor, que a través de bucles de control deben dosificar reactivos para mantener los niveles de operación. Esto significa que debe disponerse de insumos que permitan regularizar o estabilizar la operación.

Es de suma importancia realizar estudios de biodigestionabilidad a escala de laboratorio para confirmar los rendimientos propuestos y es importante poder desarrollar un modelo desagregado de cinética de producción de biogás, en base a parámetros mas específicos y no “agregados” (compactados) como es el SST. En general se encuentra en la literatura parámetros de rendimientos en base a Sólidos Suspendidos Volátiles y otros parámetros. Por otro lado las reacciones estequiométricas de generación de biogás usadas se basan en asumir que principalmente la entrada es asimilable a carbohidratos y no a grasas ni a proteínas, por lo que es necesario afinar el modelo.

3.2.5. Gas Holder

Este estanque está pensado para permitir operar el motor reconvertido, por aproximadamente 9 hrs, lo que exige que debe ser almacenado 15 hrs diarias de producción.

Se han definido condiciones de operación de este equipo a 2 atm de presión interna y a 20 °C, y considerando un Factor de Seguridad del 20% nos permite estimar el volumen de este estanque en 110,95 m³.

3.2.6. Engine ENG-101

Este es un típico motor bencinero reconvertido para funcionar con biogás. Se ha estimado una eficiencia de operación cercana al 18%, lo que nos permite estimar que en las 9 horas de operación diaria el equipo puede generar 253,90 kwh. En principio se pensó que este equipo podía cubrir los requerimientos eléctricos de operación de la línea generadora de biodiesel, la cual en operación batch, necesitaba de 9 horas de operación. Este tiempo de operación alcanza a cubrir 1 turno laboral de la planta de proceso.

3.2.7. Filtro Placas PFF-102

Este es el mismo filtro que PFF-101.

Se asume una eficiencia en el proceso de filtrado del 99%, y por condiciones de operación se espera que el lodo obtenido tenga un porcentaje de 40% sólidos en el queque.

Podemos estimar que las corrientes de salida son las siguientes:

- Agua Clara (S-113): 9,3 m3/día

- Lodos filtrados (S-114): 0,46 m³/día.

3.2.8. Lodos Activos

El análisis de la sección de lodos activos ha sido estimada como un bloque cerrado, es decir con un balance global.

La corriente S-115, es la corriente de entrada para lodos activos, y que es la suma de la corriente S-113 (filtrado de PFF-102) y de S-108 (filtrado de S-108), lo que nos permite tener una corriente S-115 con un caudal estimado de 26,71 m³/día con una cantidad estimada de SST del orden de 459,00 mg/L y para la DBO del orden de 502,71 mg/L, lo que encaja perfectamente con el criterio de diseño, que exige a lodos activos entrar con una DBO menor o igual a 600 mg/L.

El reactor de Bio-oxidación (AB-101) tendrá un TRH de 24 horas (conservador para este tipo de caudales), y desestimando el volumen de lodos, podemos estimar que el volumen de este reactor es de 32,05 m³ (Fs: 20%). El parámetro de aireación está en el orden de 0,5 a 2 m³/(hr / m³).

La densidad celular en el reactor será estimada en 4 g/L y se estima que el 75% de la DBO de entrada será usada para síntesis celular. Se ha estimado un parámetro de recirculación de lodos del orden de 40%.

En estas condiciones, la DBO de salida será del orden del 10% de la DBO de entrada, permitiendo calcular las corrientes de salida como se muestra a continuación:

- Corriente S-122 (aguas limpias): 25,60 m³/día | DBO: 52,33 mg/L | SST: 238,55 mg/L
- Corriente S-123 (lodos activos): 1,01 m³/día | DBO: 994,07 mg/L | SST: 15000 mg/L

Lo que, estimativamente permite cumplir la normativa de descarga a alcantarillado (al menos para los parámetros principales y que estaban en mayor cantidad).

Luego de eso la corriente S-122 es sometida a cloración (típicamente con hipoclorito) y luego a dechloración permitiendo asegurar una descarga que cumpla la normativa atingente.

3.2.9. Línea de Compostaje

La entrada a la línea de compostaje corresponde a la corriente S-127, que es la suma de las siguientes líneas:

- S-126 (entrada de residuos sólidos): 2,70 m³/día
- S-125 (fuente de Carbono): 0,09 ton/día. Calculada en base al requerimiento de Carbono en base a la razón C:N= 1:25.
- S-114 (lodos de filtro a la salida de biodigestor): 0,46 m³/día.
- S-104 (aceites de separación física): 0,29 m³/día.

En base a las estimaciones de procesamiento de los manuales de operación de Cesium AB, permite estimar la producción de compostaje en 0,85 m³/día.

Los dimensionamientos estimados de los equipos de operación son:

- GR-102 Homogenizador. Volumen de procesamiento: 43,26 m³.
- V-105 Bioreactor: Volumen: 16,82 m³. (60% de volumen útil).

3.2.10. Resumen de Alternativa Propuesta

Líneas de Entrada:

- S-101 (Fosa Séptica) : 8 m³/día
- S-102 (Baño Químico): 17 m³/día
- S-103 (Aceites y grasas): 3 m³/día
- S-125 (Fuente de carbono): 0,09 ton/día
- S-126 (Residuos Sólidos): 2,70 m³/día

Corrientes de Salida

- S-110 ó S-112 (producción de biogás/ producción eléctrica): 217,99 m³/día ó 253,9 kwh (en producción diaria).
- S-122 (aguas limpias): 25,7 m³/día
- S-134 (producción de compost): 0,85 m³/día

(no han sido informadas en este análisis las líneas auxiliares de aire forzado para el reactor de oxidación biológica [AB-101] ni para el bioreactor de oxidación aeróbica forzada/compostaje [V-105]).

3.2.11.Propuesta Línea de Generación de Biodiesel

A continuación se reporta la propuesta de una planta modular para procesar químicamente aceites y grasas concentradas, que permitan generar glicerol y biodiesel. Esto, motivado por la información de que no habían soluciones para el tratamiento y disposición final de aceites y grasas en el norte de Chile, hasta la entrada en operación de la nueva planta de procesamiento de aceites y grasas en Antofagasta (reportada por DISAL).

Esta línea de procesamiento se basa en un procesamiento químico en base a una reacción de transesterificación a 70°C, en un tiempo de reacción por batch estimado en 3 horas.

La reacción de transesterificación transforma las aceites y grasas en biodiesel y glicerol, usando un alcohol (metanol) y en presencia de un catalizador (soda caustica).

Los requerimientos y rendimientos de esta reacción se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 14: Requerimientos y Rendimientos de proceso de producción de Biodiesel.

PROPORCIONES		
Producción Biodiesel	1000	kg
Requerimiento de Aceite y Grasa	1030	kg
Requerimiento Metanol	102	kg
Requerimiento Catalizador (NaOH)	6,2	kg
Producción Glicerina Bruta	112	kg (85%)

En base a lo anterior el flowsheet de diseño para una alternativa usando este tipo de procesamiento es la siguiente:

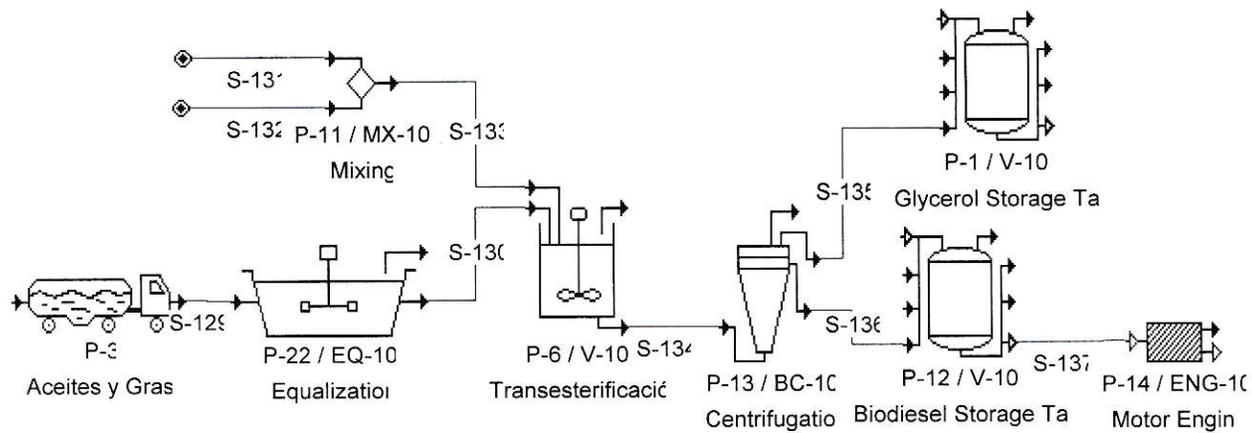


Figura 16: Flowsheet tentativo para producción de Biodiesel

El rango de los equipos presentados en esta alternativa será el siguiente:

(los tags de esta propuesta no guardan relación con los tags de equipos y corrientes de la alternativa propuesta, son solo referenciales)

Tabla 15: Equipos Utilizados

EQ-102	Estanque Ecuizador	
Fs	20%	
V	36	m ³
V-103	Reactor de Transesterificacion	
Fs	20%	
V	4,01	m ³
V-104	Biodiesel Storage	
Fs	20%	
Tr	1	dia
V	3,57	m ³
V-105	Glyceol Storage Tank	
Fs	20%	
Tr	67,00	(20 ton orden compra)
V	19,14	m ³

3.3. Estudio de Prefactibilidad

La situación actual país, que muestra una alta contingencia en el tema de manejo de residuos a toda escala y composición, y la crisis energética, son a todas luces un problema que tenderá a crecer peligrosamente, transformándose en una contingencia de carácter estratégico para todos los actores de la sociedad.

Esto ya no es sólo un problema sanitario-social, sino un problema económico, por los altos costos asociados a la recolección, transporte y disposición final, dónde inciden particularmente la saturación de los lugares de disposición, el costo del petróleo y el problema energético.

Es por esto que la idea principal del proyecto es buscar una solución técnicamente factible y económicamente rentable al problema de la disposición final de los RILes. Una solución que se adecúa a este objetivo es la producción de biogás y sustratos orgánicos a partir de los residuos, ya que además de estar disponiendo de forma segura los residuos que traslada la empresa, le estamos otorgando un valor agregado, usando la energía producida a partir del biogás para beneficio de la empresa, disminuyendo los costos operativos de esta. Esto además le otorga una imagen positiva a la empresa en el cuidado del medio ambiente y puede ser utilizado como una herramienta de marketing verde.

Por otro lado la alternativa actual de disposición final en la zona de Vallenar es la de disponer en la planta de Tratamiento de Aguas Servidas de Aguas Chañar, con un costo

aproximado de \$ 10.000.- por m³. En el caso de los residuos sólidos orgánicos, estos son retirados desde dependencias de casinos de empresas privadas (como mineras u otros) y son transportados para ser dispuestos en un vertedero que está actualmente muy mal manejado y sin autorización final de operación.

5.3.2. Análisis Financiero

Para ésto, se realizó un flujo de caja del proyecto, que permitirá estimar los indicadores financieros TIR y VAN .

Para poder estimar los flujos proyectados del proyecto, se definirá el modelo de negocio y se desarrollará la estructura de costos así como la estimación de los ingresos, respaldado por la estimación de mercado realizado en la primera parte de este estudio.

5.3.3. Estimación de Costos de Inversión

Los costos de inversión han sido estimados en base a los requerimientos de equipos de la planta propuesta, donde se deben cumplir los requerimientos técnicos del proceso. Los equipos fueron cotizados y evaluados en distintos lugares con diferentes proveedores.

Además, están contemplados los costos asociados a las ingenierías base y detalles, como los estudios empíricos concernientes a una D.I.A. y declaraciones complementarias vial y acústica, como también las especificaciones técnicas de construcción. Que se denominan en la tabla como "otros".

En las tablas a continuación se muestra el detalle del precio de los equipos y del total de la inversión

Tabla 16: Detalle de precio de los equipos

LINEA 1	
Equipo	US\$
Fermentador*	94.428
Lodos activos	54.428
Tanque ecualizador	20.428
Holder gas	20.428
Filtro prensa	55.428
Motor	17.428
Separador Líquidos	20.428
TOTAL	282.996
LINEA 2	
Equipos	US\$
Maquina compostaje	40.428
Asp. Neumática	20.428
Reactor	34.054
Cancha aireación	35.428
Chipeadora	20.428
Piscina homogenización	25.428
Control	25.428
TOTAL	201.622
Otros	98.000
TOTAL INVERSIÓN	582.618

Costos fijos de Operación:

Para el funcionamiento de la planta se recomienda la contratación de cinco personas, donde una se encargará de las labores de administración de la planta, 3 operarios que se encargarán del proceso y de la carga del material en el comienzo del proceso y 1 Ingeniero Part time (medio tiempo) que evalúe el proceso y su adecuado funcionamiento.

Tabla 17: Valores asignados como sueldos tentativos (de mercado).

COSTOS FIJOS			
Sueldos	Cantidad	Valor unitario mensual	Valor anual
Administración	1	USD 954	USD 11.450
Operarios	3	USD 477	USD 5.725
Ing. Part time*	1	USD 1.908	USD 11.450
TOTAL	5	USD 3.340	USD 28.626

Como se puede observar de la tabla anterior, el total de costos fijos es de USD 28.626

Ingresos

De acuerdo a la producción definida en el acápite de Ingeniería de conceptos y al estudio de mercado, se han estimado los ingresos operacionales y no operacionales.

En cuando a la producción de la planta, se pueden obtener los siguientes productos:

Tabla 18: Producción de la planta

PRODUCCIÓN (año)	
Biogás (m³/año)*	74.117
Sustrato (kilos/año)	136.000

*1 m³ de biogás corresponde a 5.564 Kcal. Precio de biogás es de USD 2,5/MMBTU

Los ingresos operacionales consideran la producción de la planta de Biogás y Sustratos orgánicos detallados en la tabla anterior y los precios de mercado. Para el caso del sustrato orgánico se ha considerado un precio retail de USD 0,28 Kilo (\$150) y para el biogás es de USD 0,00009 Kcal.

Tabla 19: Ingresos Operacionales

INGRESOS OPERACIONALES (año)	
Biogás	USD 4.091
Sustrato	USD 38.931
Total	USD 43.022

Como ingresos no operacionales se considera a aquellos generados por concepto de disposición de residuos en la planta, que en la actualidad tiene distintos destinos. De aceites y grasas se consideró 3 m³ diarios, para Residuos verdes (ferias libres y mantención áreas verdes) se estimó en cerca de 2 m³ diarios, a un precio de USD 29 m³ y USD 1,9 m³ respectivamente.

Por disposición de RILes, se consideran los volúmenes que transporta la empresa y que de realizarse la planta, se ingresarán a ella; por lo que es un costo de ahorro por concepto de disposición para la planta. Es así que se considera la disposición de 10 m³/día a un precio de USD 19 m³.

Tabla 20: Ingresos no Operacionales

INGRESOS NO OPERACIONALES (año)	
Disposición Aceites y Grasas	USD 29.198
Disposición residuos Verdes****	USD 1.607
Disposición RILes	USD 64.885
Total	USD 95.691

De acuerdo a la tabla anterior los ingresos no operacionales llegan a la suma de USD 138.713. Es así que podemos estimar el ingreso total en USD 138.713

3.3.4. Flujo de Caja

Con la información anterior es posible construir un Flujo de caja que está realizado a 10 años con una tasa de interés del 12% y un impuesto a la renta del 17%.

La depreciación se calculó lineal para todos los equipos y con una vida útil de 10 años, por lo que no se obtienen valores libro.

De acuerdo al flujo de caja presentado en los anexos se ha podido evaluar distintos criterios de evaluación del proyecto, donde se utilizó la Tasa de interés de retorno y el Valor Presente de Neto, con una tasa de interés del 12%.

Tabla 21: TIR y VPN

R	12%
TIR	16,01%
VPN	109.006

El valor del VPN es de USD 109.006, lo que como criterio de evaluación simple, indica que el proyecto es favorable para la inversión y de acuerdo al criterio de la TIR que da como resultado un 16% lo cual también nos indica que es interesante.

Con la misma información se deduce que se el período de retorno de la inversión es aproximadamente de 6 años.

3.3.5. Análisis de Sensibilidad

De manera de complementar el estudio económico, se crea un nuevo escenario “optimista” con un aumento de un 20% total de los residuos. De acuerdo a lo anterior y los mismos parámetros utilizados anteriormente. Obtenemos lo siguiente:

Ingresos

La producción de acuerdo al aumento de la recepción de los residuos y por ende al volumen a tratar, se produce lo siguiente:

Tabla 22: Producción Anual

PRODUCCIÓN (año)	
Biogás (m³/año)*	88.937
Sustrato (kilos/año)	139.400

Por los tanto el total de los ingresos operacionales y no operacionales son

Tabla 23: Total de Ingresos

INGRESOS OPERACIONALES (AÑO)	
Biogás	USD 4.909
Sustrato	USD 39.905
Total	USD 44.814
INGRESOS NO OPERACIONALES (año)	
Disposición Aceites y Grasas	USD 35.038
Disposición residuos Verdes	USD 1.928
Disposición riles	USD 77.863
Total	USD 114.829
TOTAL INGRESOS	USD 159.643

Flujo de caja

De acuerdo a los valores obtenidos se ha estimado el flujo de caja (revisar Anexos), donde al igual que el análisis anterior se ha considerado el estudio de dos criterios de análisis como son el VPN y la TIR.

Tabla 24: TIR y VPN

r	12%
TIR	20,05%
VPN	227.018

De acuerdo a los resultados observados se puede inferir que mejoran las variables con respecto a la situación inicial de la planta, mejorando casi al doble del valor del VPN y en un 5% de la TIR.

Tabla 25: Flujo de caja

FLUJO CAJA (situación actual)											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos*		138.713	145.649	152.931	160.578	168.607	177.037	185.889	195.183	204.943	215.190
Costos fijos		28.626	28.626	28.626	28.626	28.626	28.626	28.626	28.626	28.626	28.626
Depreciación		45.529	45.529	45.529	45.529	45.529	45.529	45.529	45.529	45.529	45.529
Utilidad antes del impuesto		64.558	71.494	78.776	86.423	94.452	102.882	111.734	121.028	130.787	141.035
Impuesto (17%)		10.975	12.154	13.392	14.692	16.057	17.490	18.995	20.575	22.234	23.976
Utilidad neta		53.583	59.340	65.384	71.731	78.395	85.392	92.739	100.453	108.554	117.059
Depreciación		45.529	45.529	45.529	45.529	45.529	45.529	45.529	45.529	45.529	45.529
Inversión Inicial	-										
	582.620										
Flujo caja	-	99.112	104.869	110.913	117.260	123.924	130.921	138.268	145.983	154.083	162.588
	582.620										

Tabla 26: Análisis de Sensibilidad

FLUJO CAJA (Análisis Sensibilidad)											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ingresos*		159.643	167.625	176.006	184.806	194.047	203.749	213.937	224.633	235.865	247.658
Costos fijos		28.626	28.626	28.626	28.626	28.626	28.626	28.626	28.626	28.626	28.626
Depreciación		45.529	45.529	45.529	45.529	45.529	45.529	45.529	45.529	45.529	45.529
Utilidad antes del impuesto		85.488	93.470	101.851	110.651	119.892	129.594	139.781	150.478	161.710	173.503
Impuesto (17%)		14.533	15.890	17.315	18.811	20.382	22.031	23.763	25.581	27.491	29.496
Utilidad neta		70.955	77.580	84.536	91.841	99.510	107.563	116.019	124.897	134.219	144.008
Depreciación		45.529	45.529	45.529	45.529	45.529	45.529	45.529	45.529	45.529	45.529
Inversión Inicial	-										
	582.620										
Flujo caja	-	116.484	123.109	130.066	137.370	145.039	153.092	161.548	170.426	179.748	189.537
	582.620										

5.4. Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL)

Las condiciones climáticas en el mundo han cambiado de manera drástica los últimos años, lo cual es causado, según la gran mayoría de la comunidad científica, por la acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera.

Es por esto que en el año 1992, los países aprobaron la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. De esta convención, nace el Protocolo de Kyoto, el cual fija metas de reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), según la cual los países desarrollados deberán reducir el 5% de sus emisiones totales de GEI para el periodo 2008-2012. El protocolo de Kyoto contempla una serie de instrumentos que permiten que los países desarrollados cumplan con sus metas de reducción de emisiones de gases de efectos invernadero, con flexibilidad y a un menor costo. Entre estos está el Mecanismo de Desarrollo Limpio (MDL), el cual es un mecanismo establecido bajo el Protocolo de Kyoto, el cuál tiene por objetivo ayudar a los países en desarrollo a alcanzar un desarrollo sostenible mediante la promoción de inversiones ambientalmente amigables por parte de gobiernos o empresas de los países industrializados. De esta forma, aquellos proyectos que reduzcan o capturen emisiones de GEI, podrán generar Certificados de Reducción de Emisiones, los que se podrán vender a los países en desarrollo, para que puedan acreditar el cumplimiento de sus obligaciones. La adicionalidad del proyecto en estos mecanismos se refiere a que éstos deben asegurar que las emisiones generadas con ellos son menores a las de la línea base del mismo o bien ser menores a la situación sin proyecto (CNE y col., 2006).

Los proyectos que pueden postular al Mecanismo de Desarrollo Limpio, deben reducir o capturar GEI y corresponderán principalmente a:

- Proyectos Forestales y Agrícolas
- Proyectos de Transporte
- Proyectos Energéticos
- Proyecto de Manejo de Residuos

Las características que el proyecto debe poseer son

- El proyecto debe contribuir al desarrollo sustentable del país.
- El proyecto debe contar con la aprobación de la Autoridad Nacional designada.
- El proyecto debe contribuir a reducir los GEI.
- Las reducciones de GEI deben ser reales, medibles y de largo plazo.

Podemos resumir un MDL como:

*“Una actividad **MDL** es adicional si las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero por fuentes, son reducidas por debajo de aquellas que hubiesen ocurrido en ausencia del proyecto **MDL** registrado”*

→ Ventajas de desarrollar un proyecto MDL:

- Financiamiento de tecnología
- Mejora imagen y sustentabilidad de la compañía

- Mejora las relaciones con la comunidad
- Aporte al desarrollo sustentable nacional

En este caso, la producción de biogás, para su posterior utilización energética, reduce las emisiones que este biogás produciría en caso de estar en un vertedero o relleno sanitario, por lo que se produce una reducción de emisiones de Gases de Efecto Invernadero.

De acuerdo al ingreso de residuos a la planta, la producción diaria de biogás corresponde a 217,99 m³/día, o 235,42 Kg/día, lo cual tiene una equivalencia de 117,71 Kg/día de metano, o sea anualmente 38,844,3 Kg de CH₄ o 38,84 Ton de este gas invernadero no se emitirían a la atmósfera.

El precio estimado de MDL para los bonos de carbono, el CH₄ tiene un costo por ton de US\$9. Con la cantidad anual de producción podemos tener utilidades de US\$349.598,7 por la reducción de esta cantidad de GEI a la atmósfera.

IV DISCUSION

Con respecto a la instalación de la Planta de Tratamiento en la comuna de Vallenar, se debe tener consideradas las condiciones de clima y geografía al momento del diseño de la planta, como las temperaturas extremas y su alta variabilidad, al igual de la baja humedad en la zona de los valles y alejadas de las costas. Además, la construcción debiera realizarse bajo superficie, por las condiciones sismológicas de la región y la velocidad de los vientos.

El potencial de la empresa se encuentra en el servicio de arriendo de baños químicos y su transporte. Por lo mismo, existe un gran potencial en aumentar estos servicios, debido a la puesta en marcha de grandes proyectos en la región, como Pascua Lama, segunda etapa de proyecto Agrosuper, y construcción de caminos.

Por la composición de residuos cautivos y sus características químicas, se hace imprescindible para la empresa tratar los residuos antes de ser dispuestos en el alcantarillado y/o ser tratados para riego, ya que sus valores de DBO₅ y de Sólidos suspendidos volátiles, superan las normas.

Los residuos provenientes de ferias y mantención de áreas verdes no son tratadas en la actualidad. Estos residuos tienen un volumen de 3,25 m³ diarios en total, lo que permitiría aumentar la cantidad de materia orgánica a tratar en el proceso.

En la Provincia se encuentran 1900 litros mensuales de residuos de aceites y grasas provenientes de establecimientos educacionales y se estima que cerca de 1.400 en la actualidad son mezclados con el retiro de residuos domiciliarios.

V CONCLUSIONES

Entonces, existen principalmente 3 alternativas de procesos para obtener 4 productos distintos, como son el biogás, biodiesel, sustrato orgánico (compost) y aguas de riego. Para el sustrato orgánico existe un mercado establecido y con alto valor en la comuna en estudio que posee principalmente suelos salinos con bajo material orgánico. El precio del metro cúbico podría llegar por sobre los \$12.000. El biogás puede ser utilizado para autoconsumo de la planta o bien ser quemado, ya que su almacenamiento es de alto riesgo. El biodiesel por su baja productividad esperada se puede utilizar en los mismos camiones del transporte de los residuos y poder disminuir el consumo en petróleo. En cuanto a su subproducto, la glicerina, puede ser comercializada sin necesidad de purificación, como Glicerol, a un valor de US\$50 / ton. En cuanto al agua recuperada se puede utilizar para obtener alguna plantación en las mismas instalaciones y utilizar el sustrato orgánico para formar una huerta orgánica o plantaciones de especies en peligro de extinción o bien para uso ornamental.

Los antecedentes generales que se desprenden del análisis financiero, comparado con procedimientos normalmente aceptados en el mercado, indican, que estamos frente a una opción favorable y recomendable.

Las variables conjugadas en la evaluación, consideran el cruce de elementos e información no sólo económicos, sino también ambientales y sociales.

Es indudable que el escenario tiende a optimizarse rápidamente, en la medida que la gestión del usuario (DISAL) tienda a capturar más materia prima que se genera en el radio de acción de su potencial cobertura.

El criterio de diseño está dispuesto de tal manera, que permita aumentar la capacidad de proceso en forma escalada, incorporando componentes de proceso tipo mecano, o la replica de unidades estratégicas de negocio similares en otras zonas o regiones.

Los volúmenes de generación de biogás, son menores para comercializarlos como “bonos de carbono”, a través de MDL (mecanismos de desarrollo limpio), pero en la medida que se aumente la producción de metano, es viable generar nuevos ingresos por este concepto.

La elaboración de sustratos orgánicos puede tener un aumento significativo por concepto de ventas, en la medida de optimizar su producción para el sector productivo.

La zona norte, pobre en materia orgánica y foliar, presenta características atractivas para desarrollar productos orientados a satisfacer la necesidad de abonos específicos, dónde el nivel de humedad de los mismos, puede representar una diferencia de fondo en la venta de este potencial producto.

También la creación de huertos convencionales, orgánicos, granjas educativas en sectores aledaños a la planta, optimizan la generación de otros inputs por este concepto.

Finalmente, es necesario indicar la alternativa de explotar las herramientas de marketing verde, que genera la implementación de un proyecto de estas características, dónde se combinan la autosustentabilidad, al emitir certificados verdes de disposición, que requieren hoy día exportadores vinculados a proyectos que exigen trasabilidad.

Disal quedaría ad-portas de implementar soluciones integrales verdes, solucionando un problema grave nacional, como lo es la disposición final, introduciendo un nuevo concepto de transformar residuos en materias primas para otros procesos industriales.

El conocimiento de la población local por las alternativas de reciclaje o recuperación y/o tratamiento es bajo, en cuanto al material orgánico y la percepción de las personas a que se construyan plantas es mediana. Por lo anterior es que se recomienda que al iniciar la construcción se debe sensibilizar a la población con los beneficios y virtudes de tratar los residuos y construir la planta dentro de la comuna.

ANEXOS

Contactos

Gerardo Jara: Encargado de Protección de Recursos Naturales. COREMA, III Región

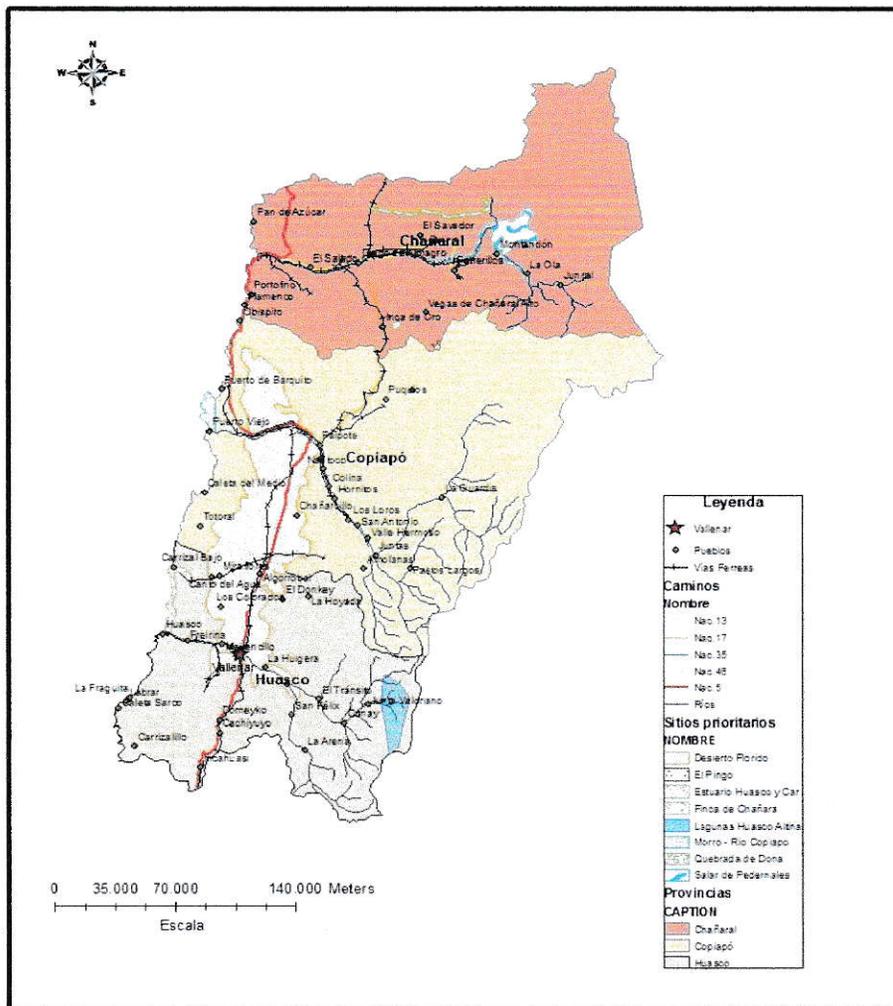
Atacama. Mail: gjara.3@conama.cl

Brigido Flores G.: Encargado de Recolección de residuos proveniente de Ferias

Libres.

Anexo 1

III Región SitiOS Prioritarios para la Conversación Biodiversidad



Anexo 2. Encuesta Empresas

Encuesta N°__

Fecha:_____

Nombre Empresa:_____

Dirección:_____

Esta encuesta se realiza dentro de un estudio para la empresa Disal, donde queremos conocer la cantidad de grasas y aceites que se producen en su establecimiento, sólo con el fin de proyectar una posible planta para su disposición final. Esta idea nos nace desde la inquietud que en la comuna no tenemos lugares autorizados para hacer esta disposición y desde nuestra preocupación por le medio ambiente para evitar la contaminación de nuestras aguas.

Agradecería si pudiera contestar esta encuesta con la mayor veracidad en la información.

1-. ¿Cuánto consume de aceite?

2-. ¿Sabe cuánto aceite bota?

3-. ¿Dónde dispone el aceite utilizado?

4-. ¿Si dispone los aceites en un lugar particular, paga por este servicio?

5-. ¿Si hubiera un lugar autorizado dentro de la comuna para disponer de los aceites y grasas, estaría dispuesto a implementar contenedores para su acumulación?

Gracias.

Anexo 3 Encuesta Social

Mayo, 2007

Nº ____ Encuesta Social

Edad: ____

Comuna: _____

1-. ¿Sabe usted donde va su basura?

Si ____ No ____

2-. Si la pregunta anterior es SI, ¿para donde va?

3-. ¿Conoce los problemas ambientales que puede generar la basura?

Si ____ No ____

Si la respuesta es si, ¿Cuáles?

4-. ¿Usted conoce lo que es el reciclaje?

Si ____ No ____

5-. ¿Sabe usted que es lo que se puede reciclar?

Si ___ No ___

6-. Si la respuesta anterior es SI, ¿Qué es lo que se puede reciclar?

7-. ¿Usted sabe lo que es el compost?

Si ___ No ___

8-. Si la respuesta anterior es si. ¿Qué importancia le da a usted que sus residuos se transformen en compost?

Alta _____

Media _____

Baja _____

9- ¿Le gustaría que hubiera una planta que obtenga compost, en su comuna?

Si ___ No ___

10-. ¿Sabe usted lo que es el Biogás?

Si ___ No ___

11-. Si la respuesta anterior es SI, ¿Qué importancia le da a usted que sus residuos se transformen en Biogás?

Alta _____

Media _____

Baja _____

12-. ¿Le gustaría que hubiera una planta que obtenga Biogás, en su comuna?

Si ___ No___

13-. ¿Sabe usted que sus aguas servidas pueden ser recuperadas y transformadas en agua para regar cultivos?

Si ___ No___

14-. Si la respuesta anterior es SI, ¿Qué importancia le da a usted que sus aguas servidas se trasformen en agua de regadío?

Alta _____

Media _____

Baja _____

Gracias.

Anexo 4: Parámetros de Corriente de Descarga de Sanitarios Portátiles

Parámetro	Unidad	Valor Min	Valor Max
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	9243	18486
Sólidos Suspendidos Total	mg/L	6689	13377
Sólidos Sedimentables	mL/L 1h	233	467
Aceites y Grasas	mg/L	687	1373
Fosforo Total	mg/L	510	1019
Nitrogeno Amoniacal	mg/L	807	1613
pH		7,10	9,13

Fuente: Datos internos DISAL.

Anexo 5: Certificado de Biodegradabilidad de Sanilet



Clariant Colorquímica (Chile) Ltda.

Division Functional Chemicals
Camino a Melipilla 15170 Maipú
Santiago de Chile
Tel. : 56 - 2 – 373 41 00
Fax : 56 - 2 – 373 41 20
www.clariant.com

Santiago, 16 de Junio de 2005

Señores
DISAL CHILE S.A.
Presente.

Att. Sr. Nelson Lillo

Estimados Señores:

En función de las materias primas con las cuales se fabrican los productos Sanilet F y Sanilet GA, podemos informar que los porcentajes de Biodegradabilidad de estos materiales son los siguientes:

<u>Producto</u>	<u>%</u>	<u>Método</u>
Sanilet F	80%	(OECD 301 B)
Sanilet GA	70%	(OECD 301 B)

Sin otro particular, se despide atentamente

Victor Tapia
QM - División FUN
Clariant Colorquímica CHILE
Dirección: Camino Melipilla 15170
Fono: 3734284 Fax: 56-2-3734190
E-mail: victor.tapia@clariant.com



**Anexo 6: Caracterización de Sanitarios Portátiles y Fosas Sépticas
encargada por Cesuim AB**

700779

05 de Julio de 2007

IDENTIFICACION

Muestras : Agua Servida
Fecha de Recepción : 27-06-07
Análisis Solicitado : Químico
Solicitado por : **Mabel Rivera**
Dirección : Eucaliptus Sur N° 18884, Maipú
Atención : Sta. Carolina Córdova

RESULTADOS

Muestra N° Identificación	7915	7916	Fecha de Análisis	Método de Análisis
	Baño Químico	Fosa Séptica		
Conductividad específica (umho/cm)	12300	1451	27-06-07	2510 B
DBO5 (mg/L)	20200	211	27-06-07	NCh 2313/5
Sólidos Suspendidos Totales (mg/L)	25754	48	28-06-07	NCh 2313/3
Humedad %	96,9	99,8	28-06-04	gravimetría

OBSERVACIONES

1. Las muestras fueron tomadas por el cliente, quién se responsabiliza por la correcta preservación e identificación de ellas.
2. Análisis dentro del alcance de la acreditación del Laboratorio (Certificado INN LE 150).
3. Los resultados expuestos son válidos para las muestras analizadas.

MSc. Victoria Leighton Méndez
Sub Gerente Área de Análisis de Aguas y Riles

División Ingeniería Hidráulica y Ambiental

Anexo 7: Muestra de Agua Residual de Carga de Aceites y Grasas

Componente	Fecha		Método	Mín	Máx	Unidad	Muestra
	Ensayo						
							306990
Aluminio total	(Al)	07-08-2007	StMet 3500Al (A)		10	mg/L	36,6
Arsénico total	(As)	09-08-2007	NCh 2313/9 (A)		0,5	mg/L	0,022
Aceites y Grasas	(AyG)	02-08-2007	NCh 2313/6 (A)		150	mg/L	4343
Azótrototal	(B)	07-08-2007	EPA 200.8 (NA)			mg/L	<0,25
Cadmio total	(Cd)	07-08-2007	NCh 2313/10 (A)		0,5	mg/L	<0,01
Cianuro	(CN-)	06-08-2007	NCh 2313/14 (A)		1	mg/L	<0,06
Cromo total	(Cr)	07-08-2007	NCh 2313/10 (A)		10	mg/L	0,33
Cromo hexavalente	(Cr)	01-08-2007	NCh 2313/11 (A)		0,5	mg/L	<0,24
Cobre total	(Cu)	07-08-2007	NCh 2313/10 (A)		3	mg/L	2,16
Demanda Bioquímica de							
Oxígeno	(DBO)	01-08-2007	NCh 2313/5 (A)			mg/L	7705
hidrocarburos Fijos		03-08-2007	NCh 2313/7 (A)			mg/L	11
hidrocarburos Totales		03-08-2007	NCh 2313/7 (A)		20	mg/L	13
Mercurio total	(Hg)	09-08-2007	NCh 2313/12 (A)		0,02	mg/L	<0,001
Manganeso total	(Mn)	07-08-2007	NCh 2313/10 (A)		4	mg/L	1,65
Nitrógeno amoniacal	(NH4+)	08-08-2007	NCh 2313/16 (A)		80	mg/L	34,57
Níquel total	(Ni)	07-08-2007	NCh 2313/10 (A)		4	mg/L	0,17
Fosforo	(P)	10-08-2007	NCh 2313/15 (A)		15	mg/L	23,1
Plomo Total	(Pb)	07-08-2007	NCh 2313/10 (A)		1	mg/L	<0,11
Poder Espumógeno	(PE)	01-08-2007	NCh 2313/21 (A)		7	mm	<2,5
Sulfuro	(S-2)	03-08-2007	NCh 2313/17 (A)		5	mg/L	<0,03
						mL/L	
Sólidos Sedimentables	(SD)	01-08-2007	NCh 2313/4 (A)		20	1h	200
	(SO4-						
Sulfato	2)	02-08-2007	NCh 2313/18 (A)		1000	mg/L	264

Sólidos Suspendidos	Totales	01-08-2007	NCh	2313/3	(A)	300	mg/L	8550
Zinc total	(Zn)	07-08-2007	NCh	2313/10	(A)	5	mg/L	1,67
hidrocarburos Volátiles		01-08-2007	NCh	2313/7	(A)		mg/L	1,83

Anexo 8: Tabla N°3 de D.S. 609/98

Tabla N°3: Límites máximos permitidos para descargas de efluentes que se efectúen a redes de alcantarillado que no cuenten con plantas de tratamiento de aguas servidas.

PARÁMETROS	UNIDAD	EXPRESIÓN	LÍMITE MÁXIMO PERMITIDO
Aceites y grasas	mg/L	A y G	150
Aluminio	mg/L	Al	10
Arsénico	mg/L	As	0,5
Boro	mg/L	B	4 ⁽¹⁾
Cadmio	mg/L	Cd	0,5
Cianuro	mg/L	CN ⁻	1
Cobre	mg/L	Cu	3
Cromo hexavalente	mg/L	Cr ⁺⁶	0,5
Cromo total	mg/L	Cr	10
Hidrocarburos totales	mg/L	HC	20
Manganeso	mg/L	Mn	4
Mercurio	mg/L	Hg	0,02
Níquel	mg/L	Ni	4
pH	unidad	PH	5,5-9,0
Plomo	mg/L	Pb	1
Poder espumógeno	mm	PE	7
Sólidos sedimentables	ml/L 1 h	S.D.	20
Sulfatos	mg/L	SO ₄ ⁻²	1.000 ⁽²⁾
Sulfuros	mg/L	S ⁻²	5
Temperatura	°C	T°	35
Zinc	mg/L	Zn	5
DBO ₅	mg/L	DBO ₅	⁽³⁾
Fósforo	mg/L	P	10-45 ⁽⁴⁾
Nitrógeno amoniacal	mg/L	NH ₄ ⁺	80
Sólidos suspendidos totales	mg/L	S.S.	300 ⁽⁵⁾

Anexo 9: Tabla N°1 y 2 de NCh 1.333/78

TABLA 1 - Concentraciones máximas de elementos químicos en agua para riego.

ELEMENTO	UNIDAD	LIMITE MAXIMO
Aluminio (Al)	mg/l	5,00
Arsénico (As)	mg/l	0,10
Bario (Ba)	mg/l	4,00
Berilio (Be)	mg/l	0,10
Boro (B)	mg/l	0,75
Cadmio (Cd)	mg/l	0,010
Cianuro (CN ⁻)	mg/l	0,20
Cloruro (Cl ⁻)	mg/l	200,00
Cobalto (Co)	mg/l	0,050
Cobre (Cu)	mg/l	0,20
Cromo (Cr)	mg/l	0,10

ELEMENTO	UNIDAD	LIMITE MAXIMO
Fluoruro (F ⁻)	mg/l	1,00
Hierro (Fe)	mg/l	5,00
Litio (Li)	mg/l	2,50
Litio (cítricos) (Li)	mg/l	0,075
Manganeso (Mn)	mg/l	0,20
Mercurio (Hg)	mg/l	0,001
Molibdeno (Mo)	mg/l	0,010
Níquel (Ni)	mg/l	0,20
Plata (Ag)	mg/l	0,20
Plomo (Pb)	mg/l	5,00
Selenio (Se)	mg/l	0,020
Sodio porcentual (Na)	%	35,00
Sulfato (SO ₄ ⁼)	mg/l	250,00
Vanadio (V)	mg/l	0,10
Zinc (Zn)	mg/l	2,00

TABLA 2 - Clasificación de aguas para riego según su salinidad.

CLASIFICACION	CONDUCTIVIDAD ESPECIFICA ρ , µmhos/cm a 25°C	SOLIDOS DISUELTOS TOTALES, s, mg/l a 105°C
Agua con la cual generalmente no se observarán efectos perjudiciales.	$c \leq 750$	$s \leq 500$
Agua que puede tener efectos perjudiciales en cultivos sensibles.	$750 < c \leq 1500$	$500 < s \leq 1000$
Agua que puede tener efectos adversos en muchos cultivos y necesita de métodos de manejo cuidadosos.	$1500 < c \leq 3000$	$1000 < s \leq 2000$
Agua que puede ser usada para plantas tolerantes en suelos permeables con métodos de manejo cuidadosos.	$3000 < c \leq 7500$	$2000 < s \leq 5000$

VI REFERENCIAS

BARRANCO, D., FERNÁNDEZ-ESCOBAR, R Y RALLO, L. (2001). El cultivo del olivo. 4º edición, revisada y ampliada. Coedición Mundi-prensa y Junta de Andalucía. 724 p.

GUERREROS, L. Y MONTALVO, S. 2003. Tratamientos Anaeróbicos de Residuos: Producción de biogás. Universidad Federico Santa María. P. 403.

COMISIÓN NACIONAL DE ENERGÍA Y COMISIÓN NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE. 2006. Guía del Mecanismo de desarrollo limpio, para proyectos del sector de energía. Edición CNE y GTZ. 69p.

HIDALGO, L. Y HIDALGO, J. (2001). Ingeniería y Mecanización Vitícola. Ediciones Mundi-Prensa. 719 pp.

INE. 2006. Boletín exportaciones Región de Atacama. [En línea] <<http://www.ineatacama.cl>>. [Consulta: Junio, 2007].

Dirección Meteorológica de Chile. [En Línea] <http://www.meteochile.cl/climas/climas_tercera_region.html> [Consulta: Mayo, 2007]