

UCH-FC
B Ambiental
E 318
C 1



UNIVERSIDAD DE CHILE -FACULTAD DE CIENCIAS -ESCUELA DE PREGRADO

"FACTIBILIDAD TÉCNICA Y SOCIAL DE LA IMPLEMENTACIÓN DE BIODIGESTIÓN
PARA EL TRATAMIENTO DE DESECHOS URBANOS"

Seminario de Título entregado a la Universidad de Chile en cumplimiento parcial de los
requisitos para optar al Título de **Biólogo**,
Mención en Medio Ambiente

DOMINGO LARA IZQUIERDO

Director del Seminario de Título:

María Teresa Varnero M

Co-Director: Ian Homer B

Patrocinante: Dra. Margarita Carú M.

Septiembre 2014

Santiago - Chile



UNIVERSIDAD DE CHILE- FACULTAD DE CIENCIAS-ESCUELA DE PREGRADO

FACTIBILIDAD TÉCNICA Y SOCIAL DE LA IMPLEMENTACIÓN DE BIODIGESTIÓN
PARA EL TRATAMIENTO DE DESECHOS URBANOS

**Memoria para optar al título profesional de Biólogo,
Mención en Medio Ambiente**

Domingo Lara Izquierdo

Director de Tesis: María Teresa Varnero M.



INFORME DE APROBACIÓN SEMINARIO DE TITULO

Se informa a la Escuela de Pregrado de la Facultad de Ciencias, que el Seminario de Título presentado por el candidato:

DOMINGO LARA IZQUIERDO

“FACTIBILIDAD TÉCNICA Y SOCIAL DE LA IMPLEMENTACIÓN DE BIODIGESTIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE DESECHOS URBANOS”

Este Seminario ha sido aprobado por la Comisión evaluadora y revisora, como requisito parcial para optar al título profesional de Biólogo con Mención en Medio Ambiente.

Dra. María Teresa Varnero M.
Directora Seminario de Título

Dr. Ian Homer
Co- Director Seminario de Título

Dra. Margarita Carú M.
Prof. Patrocinante



Comisión de Evaluación Seminario de Título

Dr. David V.
Presidente Comisión

Dr. Gerardo Soto M.
Evaluador

Santiago, septiembre de 2014

Índice de Contenidos

1. RESUMEN.....	3
2. INTRODUCCIÓN.....	7
2.1 El problema de los desechos.....	7
2.2 La tecnología de los Biodigestores	10
2.3 Aspecto histórico social.....	13
2.4 Objetivo general.....	14
2.5 Objetivos específicos	14
3 MATERIALES Y METODOS	15
3.1 Criterio metodológico para la factibilidad social.....	17
3.2 Prioridades y aspectos que no se consideró.....	17
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	19
4.1. Factibilidad técnica:.....	19
4.1.1 El sustrato	19
4.1.1.1 Cantidad de sustrato.....	19
4.1.1.2 Composición y relación carbono nitrógeno	21
4.1.2.1 Características del proceso y tecnología	26
4.1.2.2 Pre tratamiento	26
4.1.2.2.1 Dilución	26
4.1.2.2.2 Inoculación	31
4.1.2.3 Modalidades de carga	33
4.1.2.4 Regulación del pH.....	34
4.1.2.5 Temperatura, Tiempos Estimados y Volúmenes	36
4.1.2.5.1 Temperatura.....	36
4.1.2.5.2 Tiempo de Retención Hidráulico	39
4.1.2.5.3 Volumen del biodigestor y Volumen de carga.....	41
4.1.2.6 Biogás generado	43
4.1.2.7 Efluentes	46
4.2 Factibilidad social.....	47
4.2.1 Algunos datos sociales relevantes.....	47
4.2.2 Resultados y análisis de la encuesta.....	48
4.2.3 Aspectos legales, y de gestión	51

4.2.4 Aspectos económicos	53
5. CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES	55
5.1 Ventajas y desventajas	56
5.2 Recomendaciones	58
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
7 ANEXOS	65
Anexo I.....	65
Anexo II.....	66

1. RESUMEN

El propósito general de este trabajo es evaluar aspectos relevantes de la factibilidad técnica y social para el tratamiento de los residuos orgánicos urbanos mediante la tecnología de biodigestores. El proyecto consistió en investigar sobre algunos aspectos relevantes de la factibilidad técnica y social, para el uso de biodigestores en zonas urbanas. La implementación de esta tecnología, permitiría disminuir la contaminación por Desechos Sólidos Orgánicos Urbanos (DSOU), con la consecuente generación de biogás y de biofertilizante, denominado biol. Este trabajo se llevó a cabo realizando una revisión bibliográfica, y elaborando una encuesta que se aplicó a potenciales usuarios de una feria libre, para evaluar distintos casos teóricos de aplicación de esta tecnología. Para el estudio de la factibilidad de esta tecnología, se consideró los siguientes casos tipos o modelos:

- a) Las ferias libres, con una alta producción de DSOU.
- b) Las viviendas a nivel comunitario.
- c) Los edificios, como tecnología integrada a su construcción.

El haber estudiado estos tres casos, permitió mostrar la amplitud de aplicabilidad de la tecnología de los biodigestores emplazados en zonas urbanas, y sus potencialidades de adaptación, y con ello aportar simultáneamente a enfrentar tanto los desafíos de la contaminación por DSOU,

como su aprovechamiento para generar energías limpias de manera sustentable. Se concluyó que es factible la aplicación de esta tecnología, considerando las variables estudiadas en la evaluación técnica y social para los tres casos teóricos, donde cada cual tiene ventajas y desventajas. Sin embargo, claramente el caso "a" es el más favorable, por su mayor producción concentrada de DSOU. Es necesario enfatizar que este trabajo se orientó a estudiar la factibilidad técnico-social de biodigestores de emplazamiento urbano. El integrar ambas dimensiones de la factibilidad, cobra especial relevancia, ya que el punto de vista técnico, aislado de la realidad social, reproduce la tendencia que concibe intervenciones para la comunidad, en vez de con la comunidad. Por último, en términos de futuros estudios a realizar, de forma complementaria, éstos deben estar enfocados en el campo de nuevas tecnologías, basadas en la experimentación con modelos de laboratorio, e indagar en cuanto a la disposición de los actores sociales, en términos económicos y políticos.

1. ABSTRACT

The overall purpose of this work is to evaluate relevant aspects of technical and social feasibility for the treatment of urban organic waste by biodigester technology. This project involved researching some relevant aspects regarding the technical and social feasibility of using biodigesters in urban areas. The implementation of this technology would allow the reduction of pollution from urban organic solid waste (in Spanish: DSOU), with the consequent generation of biogás and biofertilizer (called biol). This work was carried out by reviewing bibliography, and preparing a survey of potential users from outdoor street markets, called "ferias libres", to evaluate different theoretical cases of application of this technology. To study the feasibility of this technology, the following "case types or models" were considered:

- a) The "ferias libres" (outdoor street markets) with a high production of DSOU
- b) The housing at the community level
- c) The building, integrating this technology into the construction.

Having studied these three cases, allowed to show the breadth of applicability of the biodigesters technology, deployed in urban areas, and its potential for adaptation, and thereby contribute simultaneously to face both challenges: contamination DSOU, as its use for generate clean energy sustainably. It was

concluded that given the variables considered in the technical and social assessment, was feasible to apply this technology for the three theoretical cases, where each one has advantages and disadvantages. However, clearly case "a" is the most favorable, due to the higher concentrated production of DSO. It should be emphasized that this work was oriented towards studying the technical and social feasibility of digesters urban location. Integrating both dimensions of feasibility is particularly relevant, since the technical point of view, isolated from the social reality, reproduces the trend that conceive interventions for the community rather than with the community. Is a democratic-participative approaching way for the implementation of sustainable and advantageous technologies to solve serious energy and pollution dilemmas facing today's. This way runs from the consultation of social groups involved, to social management as co-subjects of technology implementation decisions. Finally, in terms of new complementary studies to be performed, they should be focus on the field of new technologies, based on experimentation with laboratory models, and exploring the willingness of social actors to develop these technologies in economic and political terms.

2. INTRODUCCIÓN

2.1 El problema de los desechos

En la última década se han acrecentado los conflictos relacionados con el impacto ambiental, económico y social de las instalaciones sanitarias en áreas pobladas. El problema de la disponibilidad de terrenos, y el de los costos de transporte hacia rellenos sanitarios, situados cada vez más lejos de los centros de generación de residuos, es apremiante (Lerda y Sabatini, 1996). Además, en términos cualitativos, los desechos sólidos orgánicos (DSO) son en parte responsables de los malos olores y líquidos percolados, entre otros efectos negativos.

2.1.1 La generación de desechos

La disposición final de los residuos sólidos del Gran Santiago es un problema no resuelto desde el punto de vista de la política pública. En el año 2009 la generación de desechos anual en Chile fue de 16,9 millones de toneladas (CONAMA, 2010), siendo el mayor productor de desechos urbanos por habitante de Latinoamérica (CEPAL, 2013). En particular, la relevancia de los desechos sólidos orgánicos urbanos en Chile es cuantitativamente importante, ya que son un alto porcentaje del total de los residuos sólidos municipales. Durante el año 2009 CONAMA los estimó en un 53,3% del total de los residuos municipales recolectados en Chile, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición porcentual de los residuos municipales durante el año 2009. Más del 50% corresponde a materia orgánica. Información obtenida del Ministerio de Medio Ambiente (CONAMA, 2010).

Tipo de residuo	Composición (%)
Papeles y cartones	12,4
Textiles	2,0
Plásticos	9,4
Vidrios	6,6
Metales	2,3
Materia orgánica	53,3
Otros	14,0

Comparando con otros desechos en la composición porcentual hay una leve tendencia a la disminución de los residuos orgánicos (Fig. 1). Cuestión que no significa que disminuya necesariamente su cantidad, ya que como muestra la Fig. 2 es en un marco de aumento del total de los residuos, es decir es probable que sean el resto de los residuos los que aumentan a mayor velocidad.

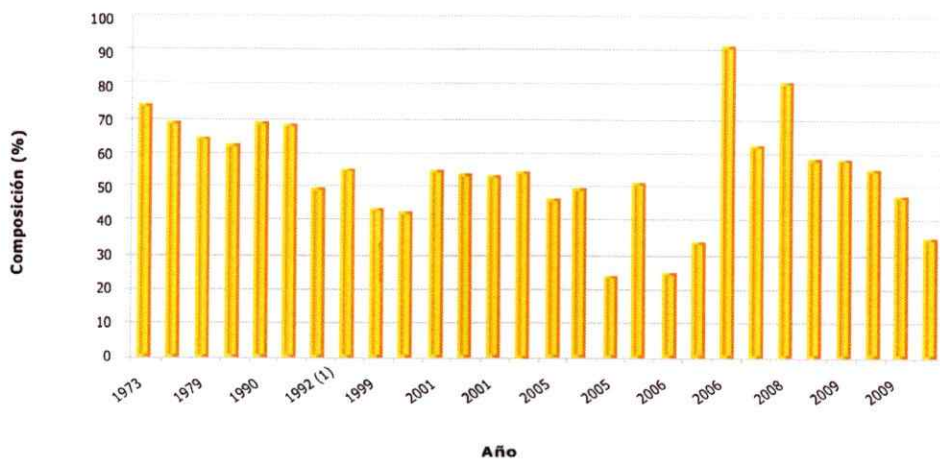


Figura 1. Evolución de la composición porcentual de materia orgánica para residuos sólidos municipales a nivel nacional, muestra una irregular pero leve tendencia a la disminución desde las mediciones de 1973 al 2009. (CONAMA, 2010).

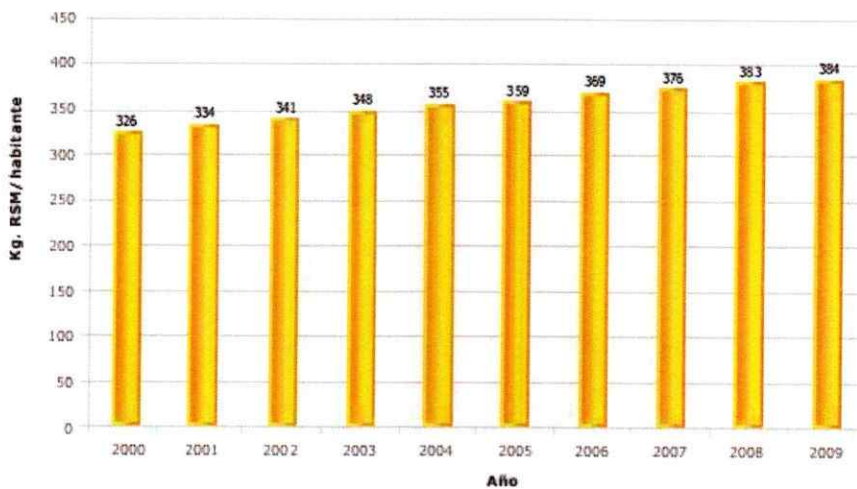


Figura 2. Tasa anual de Residuos Sólidos Municipales (RSM), en kg, por habitante. El promedio nacional muestra un aumento anual de los RSM por habitante (CONAMA, 2010).

Una forma de cuantificar la condición de los desechos orgánicos es su valoración económica, que desde el 2000 al 2009 no ha aumentado más de un 7% (CONAMA, 2010), es decir, en todos estos años no ha existido una política exitosa para transformar estos desechos en productos de mayor valor. Si se considera que el valor y la utilidad son cosas que hoy están ligadas, hay un campo abierto para mejorar la utilización de estos residuos.

2.2 La tecnología de los Biodigestores

Básicamente, un biodigestor consiste en un contenedor cerrado, hermético e impermeable, llamado reactor, dentro del cual se deposita el material orgánico a fermentar: excrementos de animales y humanos, desechos vegetales en determinada dilución de agua, para que a través de la fermentación anaerobia se produzca gas metano y fertilizantes orgánicos, ricos en nitrógeno, fósforo y potasio, y además, se disminuya el potencial contaminante de los DSOU. (FAO, 2011).

La tecnología de los biodigestores puede contribuir a dar una respuesta al problema de la disposición final de los residuos sólidos orgánicos en el Gran Santiago, en el cual se utilizan estos desechos transformándolos en biogás y biofertilizantes. Esto es lo que permite darles una utilidad, y por ende, valorizarlos. Actualmente, esta tecnología en Chile no está masificada. Se pueden contar diez proyectos de producción industrial de biogás operativos al

2011, descontando los rellenos sanitarios, y 6 en desarrollo (Ministerio de Energía, 2011). Sin embargo, existen múltiples experiencias internacionales, en lugares como China, India, y algunos países de Europa, constituyendo un referente en la aplicación y masificación de esta herramienta. Por otra parte, también hay ejemplos latinoamericanos, como en Bolivia, donde en las zonas rurales se ha implementado exitosamente.

Si bien, estas experiencias han sido utilizadas principalmente en zonas rurales, también hay ejemplos urbanos, que tienen distintas escalas. Entre éstos, existe la construcción de biodigestores de forma casera hasta modernos biodigestores industriales, utilizados para el tratamiento de aguas servidas de las ciudades u otros desechos. Tan importante como comprender el funcionamiento de la tecnología, es considerar los factores del medio social en que ésta se aplica, como la valoración y disposición de los usuarios frente al uso de biodigestores. Una parte de la investigación incluyó estas variables para seleccionar fuentes de desechos orgánicos urbanos apropiados para la aplicación de tecnologías de biodigestión como: zonas de viviendas, ferias libres y edificios. Los biodigestores para la disposición de los desechos y producción de energía son una tecnología disponible y accesible (INTA, 2010), pero aún falta enfrentar y resolver obstáculos de factibilidad.

Los biodigestores dependen de varios factores relacionados con la eficiencia de esta descomposición, que afectan el óptimo desempeño de los

microorganismos: temperatura, tiempo de retención, relación carbono-nitrógeno (C/N), porcentaje de sólidos, pH y agitación. El proceso consiste en cuatro etapas. Básicamente, estas son: hidrólisis, etapa fermentativa, acetogénica, metanogénica (FAO, 2011), las cuales se pueden esquematizar del siguiente modo:

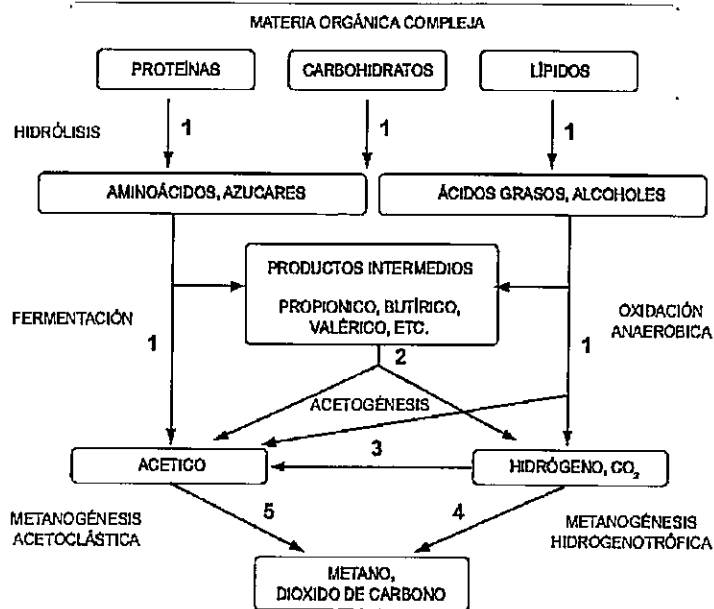


Figura 3. Esquema básico simplificado de los procesos microbiológicos de la transformación de la materia orgánica compleja a metano y dióxido de carbono (FAO, 2011). Cada número representa el tipo de bacteria que actúa en el proceso: 1) bacterias fermentativas o acidogénicas; 2) bacterias acetogénicas que producen hidrógeno; 3) bacterias homoacetogénicas; 4) bacterias metanogénicas hidrogenotróficas; 5) bacterias metanogénicas acetoclásticas.



2.3 Aspecto histórico social

El desarrollo de la tecnología de la biodigestión anaeróbica, ha cobrado gran relevancia en la historia. En un principio, por el encarecimiento de los hidrocarburos como fuente energética, tras las guerras mundiales, comienza a difundirse en Europa la producción de biogás, cuyo producto se empleaba de variadas formas, en algunas ciudades se lo llegó a inyectar en la red de gas comunal. Durante la segunda guerra mundial, comienza la difusión de los biodigestores a nivel rural, tanto en Europa como en China e India, que se transforman en líderes en la materia. Esta difusión se ve interrumpida por el fácil acceso a los combustibles fósiles (INTA, 2010).

En la década de los 70 como parte del proceso de modernización del campo, el gobierno chino desarrolló el primer programa de biomasa a gran escala, cuando instaló 7 millones de biodigestores que proporcionaron biogás para cocinar y alumbrar a más 25 millones de chinos. Además dispusieron cerca de 10 mil biodigestores de tamaño grande y mediano que sirvieron para suministrar electricidad a las granjas. Así se retoma la investigación y extensión de biodigestores en todo el mundo. La tendencia de construcción de biodigestores en Europa se mantiene y ha llegado a países Latinoamericanos como Argentina, Brasil, Bolivia, Costa Rica y Países Centroamericanos que han

desplegado programas para el uso de Biodigestores, donde el desarrollo de estas tecnologías ha sido de suma importancia (INTA, 2010) . Cabe destacar que al 2007 hay 25 millones de hogares que cocinan y cuentan con alumbrado a base del biogás, fundamentalmente en países como China e India, y un número creciente de pequeñas industrias, incluyendo los procesos agrícolas, obtienen calor de proceso y fuerza motriz de los digestores de biogás de pequeña escala (INNOVACHILE-CORFO, 2009).

En Chile, la Estrategia Nacional de Energía 2012 – 2030, considera desarrollar las energías renovables no convencionales como una prioridad que significa subvenciones y apoyo para el desarrollo de este tipo de proyectos (Ministerio de Energía, 2012).

2.4 Objetivo general

Evaluar aspectos de la factibilidad técnica y social para el tratamiento de los residuos orgánicos urbanos mediante la tecnología de biodigestores.

2.5 Objetivos específicos

Evaluar las condiciones de aplicación de esta tecnología en tres estudios de casos urbanos, que se explican en la metodología.

Establecer ventajas y desventajas de aplicar esta tecnología de forma urbana.

Estimar potenciales volúmenes de obtención de biogás.

3 MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se desarrolló durante el segundo semestre del 2013 en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Chile.

La Figura 4 muestra los flujos de materia desde su inicio, como desechos sólidos urbanos, hasta su transformación en biogás atravesando tres reservorios sucesivos. Un primer proceso consiste en retirar mediante clasificación los desechos no orgánicos. Un segundo proceso consiste en la biodigestión de los desechos orgánicos seleccionados, generando Biol, biogás y otros gases (H_2S , NH_3 , H_2), que pueden afectar negativamente la calidad del biogás, por lo cual se deben eliminar. Las características de la generación de estos gases y los procedimientos de su eliminación no son parte de este trabajo.

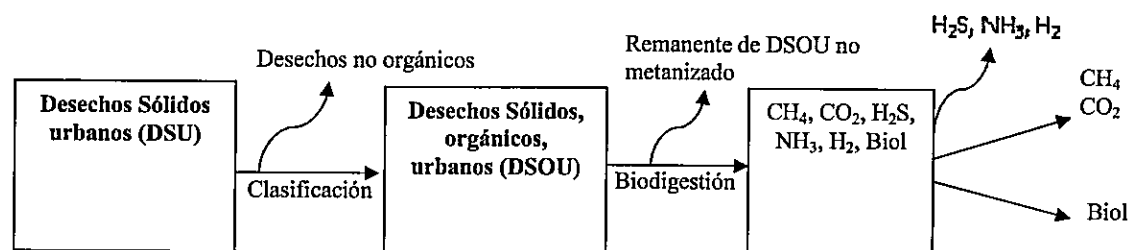


Figura 4. Esquema del flujo de DSU a biogás y otros subproductos.

Se consideró tres estudios de casos, para evaluar la factibilidad técnica y social de aplicar los biodigestores.

a) Ferias libres

El primer caso consiste en una feria libre, que es un lugar de alta producción de DSOU. Pese a que esta es una zona urbana, debiese ser apta para aplicar este tipo de tecnología, al menos en lo que respecta a los volúmenes de DSOU. En esta feria se realizó una encuesta, en Anexo I, donde se obtuvieron datos sobre la disposición de los usuarios ante esta tecnología.

b) Viviendas

El segundo caso consistió en considerar las condiciones de generación de sustrato en una población de viviendas en Santiago, donde es menor la producción de DSOU comparado con las ferias libres y los tiempos de generación de desechos son de forma continua. En este sistema se consideran los residuos de jardín y de alimentos, excluyéndose las heces.

c) Edificio

El tercer caso se trató del estudio teórico de las condiciones de aplicación en un edificio, donde al igual que en el segundo caso, la generación de DSO es continua, pero la diferencia radicó en que la cantidad de DSO es producida de

forma concentrada y puede ser mayor; considerándose, residuos de alimentos y heces humanas.

Finalmente se analizó los datos obtenidos sobre la factibilidad, y se consideró las variables que pueden ayudar a hacer factible la implementación, tanto en el campo de los aspectos tecnológicos como en los aspectos científicos y sociales.

3.1 Criterio metodológico para la factibilidad social

Como criterio metodológico para la factibilidad social se consideró recomendaciones de Contreras. E (2004), para proyectos que la evaluación de sus beneficios y costos no están concentrados en un análisis de mercado, como es el presente estudio, puesto que los beneficios generados son de múltiples alcances, y su principal importancia está dada por resolver una problemática ambiental, que es la disposición de los DSOU y aportar en la producción de energía de forma limpia.

3.2 Prioridades y aspectos que no se consideró

Como se mencionó en la introducción y en los antecedentes, la factibilidad de una tecnología está cruzada por múltiples variables tanto sociales como técnicas esto hace difícil abarcarlas en su conjunto.

Se evaluaron los siguientes aspectos considerados relevantes: cantidad y calidad del sustrato, características del proceso de digestión anaeróbica y características básicas del biodigestor. De estas últimas se evaluó: uso de inóculo, modalidad de carga apropiada, regulación del PH, temperatura, tiempos estimados, tamaño del biodigestor, cantidad de biogás generado. En cuanto a la factibilidad social se consideró una primera aproximación a los aspectos legales y normativos, la aceptación de esta tecnología por parte de los feriantes, ya que son uno de los actores relevantes en la generación de desechos, y un aspecto económico inicial sobre el aumento del precio del gas licuado y de la gasolina automotriz.

Estos aspectos fueron seleccionados bajo el criterio de obtener datos básicos fundamentales para una primera aproximación a la factibilidad de esta tecnología, y así cumplir con el objetivo propuesto.

Por otro lado, no se consideró en el análisis: la purificación del biogás, los aspectos de políticas ambientales (más allá de aspectos de la legislación), el uso del biol, el diseño del biodigestor, entre otros aspectos que superan los alcances de esta investigación.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Factibilidad técnica:

La factibilidad técnica para las ferias libres considera los siguientes aspectos como relevantes: las características de los residuos del proceso y la tecnología. Mientras que, para el caso de viviendas, se consideró un flujo continuo de DSO y de menor cantidad de desechos. Esto, llevó a plantear algunos cambios en la tecnología, lo que se explicará más adelante. En el caso del edificio, se consideró la misma calidad de sustrato con un flujo mayor, por la mayor concentración de habitantes, en comparación con las viviendas. También se consideró una conexión a retretes integrando de forma aplicada una tecnología ya existente.

4.1.1 El sustrato

4.1.1.1 Cantidad de sustrato

Uno de los aspectos más complejos de implementar en áreas urbanas es caracterizar correctamente la cantidad y calidad del sustrato.

a) En Ferias libres

En cuanto a la cantidad de residuos, las ferias libres producen varias toneladas. En la Región Metropolitana se producen 1.500.000 toneladas de residuos sólidos orgánicos al año, de los cuales 76.500 están directamente asociados a ferias libres (Ecoamérica, 2011). Estas, al dividirse en las 411 ferias de la Región Metropolitana, otorgan una cifra de 186 toneladas anuales promedio por feria, es decir un aproximado de 3,6 toneladas por semana, lo que da un promedio diario de 510 kg diarios generados por cada feria.

b) En viviendas y edificios.

El flujo anual es creciente, pasando de 326 kg por habitante, el año 2000, a 384 kg por habitante el año 2009 (CONAMA, 2010), es decir $1,05 \text{ kg} \cdot \text{día}^{-1}$ por cada habitante, de los cuales un 53,3% corresponde a desechos orgánicos, dicho de otro modo cada habitante produce un total de 0,56 kg/día de DSO, como se desprende del cálculo 1. Algunos de estas cantidades podrían variar. Existe la tendencia de que en los sectores de menor ingreso el porcentaje de DSO sea mayor al 53,3% pero con una menor producción de desechos por habitante (Orccosupa, 2002), con esta información se puede calcular la cantidad de sustrato generado diariamente por habitante.

Formula:

$DSO [kg * (día * habitante)^{-1}] = DSU [kg * (año * habitante)^{-1}] * fracción\ orgánica * (días\ del\ año)^{-1}$

Calculo 1

Datos:

$DSU = 384kg * (año * habitante)^{-1}$

Fracción orgánica: 53,33%

$kg*(habitante*día)^{-1} = (384kg*0,533)*(365\ días\ del\ año)^{-1} = 0,56\ kg.día^{-1}$

a) Ferias Libres

Los DSO en las ferias libres, son de origen hortofrutícola y varían en parte con la estacionalidad. Se pueden clasificar en: frutas, verduras y papas. Las mermas de las ferias, calculadas como la diferencia porcentual entre lo comprado por los distintos puestos de la feria y lo vendido, entregan los siguientes valores en la Tabla 2, que son un equivalente a la composición de los DSO de las ferias.

Tabla 2. Desechos provenientes de frutas verduras y papas, que muestra una suficiente, relación C/N promedio, para su uso como sustrato. Información obtenida de Sáez, *et al* (2010) y Lipp GMBH (2007).

Origen de los DSO	Merma del 100% los productos de la feria	Composición porcentual de los DSO	Relación C/N
Frutas	18,4%	44,4%	50
Verduras	15,8%	38,2%	15
Papas	7,2%	17,4%	16
Estimación promedio C/N			30,7

La composición de los DSOU estudiados es heterogénea, donde existen al menos entre 10 a 15 tipos de residuos distintos. A diferencia de otros casos no urbanos, como pueden ser los desechos agrícolas de monocultivo que son de mayor homogeneidad (Sáez *et al.*, 2010).

Es necesario establecer una relación carbono- nitrógeno (C/N), comprendida entre rangos de 20/1 a 30/1. Estos valores son adecuados para permitir el óptimo desarrollo y crecimiento de la biomasa microbiana (FAO, 2011). Por lo tanto se considera aceptable un resultado 30/1, pero tendiente a tener menos Nitrógeno del necesario. Como medida de compensación se puede aportar pequeñas dosis de Nitrógeno, o disminuir la proporción de desechos de frutas en la mezcla.

En general, los materiales que son verdes y húmedos, como residuos de césped, plantas, restos de frutas y verduras, poseen alto contenidos de nitrógeno y por lo tanto, una relación C/N más baja. En cambio, una relación más alta la poseen aquellos que son de color café y secos, como hojas otoñales, chips de madera, aserrín y papel, ya que contienen mayor cantidad de carbono (Alvarez *et al.*, 2004).

Pese a tener un resultado estimado suficiente de la relación C/N, la heterogeneidad del sustrato puede generar dificultades, ya que los restos de verduras, tienen una relación 50/1, mientras las frutas tienen 15/1 y los restos de papas promedian 16/1 (Lipp GMBH, 2007). No obstante lo anterior, hay datos experimentales de rendimientos importantes, con sustratos de: naranja, coliflor, lechuga, pepino, tomate y sandías, como los del trabajo de Vereda *et al*, 2006.

b) Viviendas

En este caso, se utilizarán sólo los restos de alimentos, por lo tanto, presenta requerimientos de fuentes de carbono, similar al caso anterior. La relación C/N promedio es 15-20 (Lipp GMBH, 2007) levemente menor a los valores promedios de C/N recomendados de 20/1 a 30/1; por lo tanto, se puede utilizar restos de hojas y ramas que tienen una relación C/N 41/1 (FAO, 2011).

c) Edificios

En el caso del edificio se utilizarán los restos de alimentos, como las heces de los retretes. La proporción de desechos para los hogares es mayoritariamente de restos de comida (CONAMA, 2006). Tan sólo aproximadamente 0,5% de los DSOU no son residuos de alimentos, esto sin considerar las excretas. Como resultado se obtienen las proporciones expresadas en la Tabla 3.

Tabla 3. Relación Carbono Nitrógeno mezcla residuos edificio, con un promedio menor al óptimo. Datos combinados: COMAMA (2010), Lipp GMBH (2007), FAO (2011)

Origen de los DSO	kg por habitante	Composición % de DSO	C/N
Alimentos	0,56	81,2%	15-20
Excretas Humanas	0,13	18,8%	3
Total mezcla	0,69	100%	14,8



La relación C/N es baja, aunque en la mezcla de la Tabla 3 no está considerado el bicarbonato y el vinagre (ácido acético), que son los productos

de limpieza para los retretes, lo que es una fuente de carbono. una forma de Aumentar esta relación es utilizando aserrín, u otro residuo lignocelulósico (paja de cereales, ramas de árboles), los que presentan una relación C/N más elevada.

4.1.1.3 Recolección de desechos y separación

Uno de los aspectos que aumenta los costos del manejo de los DSU es su recolección. Las ferias libres tienen puntos fijos semanales de funcionamiento que se pueden considerar para la construcción de los biodigestores en zonas aledañas bajo tierra, lo que disminuiría los costos de transporte, e implicaría considerar aspectos como: la disposición de los usuarios a tener un biodigestor cercano a sus viviendas, los espacios disponibles para ello, la relación costo-beneficio, entre otros. Esto mismo es válido para las viviendas. En cambio para el caso del edificio se consideró la construcción del biodigestor asociado a éste. Lo que hace distinta la forma de enfrentar esta tecnología es que serian los propios usuarios los que deciden vivir en un edificio que incluye un biodigestor desde sus inicios, lo que significa un costo de transporte de los DSO de prácticamente cero. En este trabajo se decidió no ahondar en estos puntos debido a que éstos exceden los marcos de una primera aproximación a la factibilidad técnica y social evaluada.

4.1.2.1 Características del proceso y tecnología

Ya conocidas las características del sustrato se consideraron los aspectos relevantes del proceso, necesarios a considerarse para este estudio de factibilidad.

4.1.2.2 Pre tratamiento

También es importante el tamaño y homogeneidad del sustrato. Estos son factores importantes porque pueden ser limitantes en el proceso, aumentando el tiempo de retención hidráulica (TRH), especialmente, cuando se disponen de residuos lignocelulósicos. Para esto se puede triturar evitando así el paso de frutas u hortalizas completas, ya que las cáscaras y fibras pueden obstaculizar la degradación. En particular hay algunos componentes más duros como las corontas de choclo o cáscaras de sandía, que pueden no utilizarse o asegurar su trituración para una eficiente biometanización.

4.1.2.2.1 Dilución

Otro aspecto es la necesidad de agregar agua al sustrato. El agua cumple varias funciones simultáneas: ser un medio de dilución de los sólidos, facilitar la interacción de los microorganismos con el sustrato y generar las condiciones anaeróbicas necesarias. Es muy importante para el correcto funcionamiento del

biodigestor que la cantidad de sólidos totales (ST), no sea demasiado alta. Para calcular la dilución se utilizó la siguiente formula general:

Fórmula 1

$$\% \text{ S.T. (carga diluida)} = 1 \text{ kg sustrato} * \% \text{ ST sustrato} * (1 \text{ kg sustrato} + \text{agua agregada})^{-1}$$

Despejando:

$$\text{Agua por kg de sustrato} = (\% \text{ ST sustrato} - \% \text{ ST diluido}) * (\% \text{ ST diluido})^{-1}$$

La cantidad de sólidos totales que debe contener la mezcla de sustratos que se incorporan en el biodigestor depende del flujo de carga que se realice. Un biodigestor semi-continuo debe tener entre 8% - 10% de ST, mientras uno discontinuo o Batch puede tener 40% a 60% de ST (FAO, 2011). Para los distintos casos se consideró un biodigestor de tipo continuo. Así, para las ferias libres se obtiene el siguiente promedio de ST, como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Proporción de Sólidos Totales de los distintos DSO de las ferias libres, con un resultado de un 0,28 de ST promedio. Información obtenida de Sáez, *et al.* (2010) y Lipp GMBH (2007).

Origen de los DSO	Composición % de los DSO	Solidos Totales (ST)	Proporción ST en la mezcla
Frutas	44,40%	0,45	0,20
Verduras	38,20%	0,15	0,06
Papas	17,40%	0,135	0,02
Total mezcla	100,00%		0,28

Aplicando la Formula 1 se obtiene el siguiente resultado: que por cada kg de sustrato es necesario 1,8 litros de agua, como se aprecia en el cálculo 2. Esto para un 10% de S.T en base a las recomendaciones para biodigestores semi continuos, lo que permite una buena movilidad de las bacterias metanogénicas (FAO, 2011). Se obtuvieron los siguientes resultados, descritos en la Tabla 5.

<p>Cálculo 2</p> $0,10 = 1\text{kg} * 0,28 * (1\text{kg} + \text{agua})^{-1}$ $0,10 * \text{agua} + 0,10\text{kg} = 0,28\text{kg}$ $\text{Agua} = 0,18 * 0,10^{-1} = 1,8 \text{ L} * \text{kg}^{-1}$
--

Este porcentaje de S.T. se debiese corroborar experimentalmente, con distintas concentraciones para optimizar el proceso, pero para el objetivo planteado basta con tener una magnitud del agua necesaria, ya que los sólidos totales pueden variar estacionalmente.

Tabla 5. Volumen de agua necesario para el sustrato originado en ferias libres, para una dilución al 10% de ST. Elaboración con base en la fórmula 1.

Sólido totales mezcla	Cantidad de Agua L*kg ⁻¹	DSO kg diarios	Agua L	Mezcla L + kg
10%	1,8	510	918	1428

Para todos los casos se utilizó una dilución del 10%, ya que además de los argumentos ya esgrimidos esto simplifica la comparación. Para estimar la

cantidad de sustrato producido en el caso de la vivienda y el edificio, se consideró un número de usuarios de 30 y 60 personas respectivamente, como una unidad mínima de aproximadamente 10 y 20 familias en cada caso, esto considerando que en una familia hay en promedio 2,9 personas (CASEN, 2009). Por otra parte trabajar con una cantidad reducida de familias facilita su coordinación para el uso de esta tecnología, aunque es menor la cantidad de DSOU generados para la producción de biogás. La diferencia entre ambos casos es producto de que en general los edificios poseen un funcionamiento de servicios comunes, con lo que su coordinación debiese ser más sencilla.

La cantidad de sustrato por habitante se multiplica con el siguiente resultado:

0,56 kg por habitante * 30 habitantes = 16,8 kg, con lo que la dilución queda finalmente como se aprecia en la Tabla 6, para la vivienda, que contiene ST sin diluir iguales a un 14% (Lipp GMBH, 2007).

Tabla 6. Volumen de agua necesario para el Sustrato originado en las viviendas, para una dilución al 10% de ST.

Sólidos totales mezcla	Cantidad de Agua L*(kg ⁻¹)	DSO kg diarios 30 habitantes	Agua L	Mezcla L + kg
10%	0,4	16,8	6,72	23,52

Mientras que para el edificio fue necesario calcular el promedio de ST como se observa en la Tabla 7.

Tabla 7. Proporción de Sólidos Totales de los distintos DSO de Edificio ferias, con un resultado de un 0,15 de ST promedio.

Origen de los DSO	Composición % de DSO	Sólidos Totales (ST)	ST en la mezcla
Alimentos	81,2%	0,14	0,114
Excretas Humanas	18,8%	0,17	0,032
Total mezcla	100%		0,15

En base a los datos de Esrey *et al* (2003) y Sáez *et al* (2010).

Estos cálculos de la tabla 7 se realizaron considerando, excretas = $0,13 \text{ kg} \cdot \text{día}^{-1}$ persona con ST igual a 17% y los residuos de alimentos igual a $0,56 \text{ kg} \cdot \text{día}^{-1}$ persona con ST igual a 14%.

Para calcular la dilución se utilizó la Fórmula 1 y se obtuvo los siguientes datos de la Tabla 8.

Tabla 8. Volumen de agua necesario para el Sustrato originado en el Edificio, para una dilución al 10% de ST.

Sólido totales mezcla	Cantidad de Agua L * kg^{-1}	DSO kg diarios 60 habitantes	Agua L	Mezcla L + kg
10%	0,5	41,4	20,7	62,1

Este mayor gasto de agua en el caso del edificio, es sólo aparente, ya que se propone integrar un sistema de retrete con separador de orina, que significa un ahorro de agua para la descarga de las excretas sólidas, lo que a su vez permite controlar el volumen de líquido que ingresa al sistema. No se utilizaría la orina ya que esta no aporta al proceso y por el contrario puede disminuir la concentración bacteriana.

Esto es bastante importante respecto a la utilidad del biodigestor en como subsidiario del alcantarillado, ya que para el 2030 se proyecta un déficit de alcantarillado para la RM de 1.018.853 viviendas (Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo, 2005), considerando que existen biodigestores que buscan reemplazar las actuales fosas sépticas, pero que no aprovechan la producción de biogás, como es el modelo comercializado como Rotoplas.

4.1.2.2.2 Inoculación

Por último, para el arranque del proceso se considera necesario el uso de inoculación, que consiste en una concentración inicial de bacterias metanogénicas, ya que en la materia orgánica no siempre están estas bacterias en concentraciones suficientes para dar inicio al proceso. En el caso de usar como inóculo material de un biodigestor, se recomienda que éste sea obtenido cuando se está recién comenzando a producir biogás, para así poder encontrar una buena proporción de los microorganismos que actúan en las distintas fases

o etapas del proceso de digestión anaeróbica, aunque esto último no es requisito. También se puede utilizar directamente el rumen de un animal, ya que también poseen las distintas bacterias.

En la Figura 5 se mide la producción de biogás comparando dos casos, en los cuales se observa como el biodigestor BD-A con inóculo, comienza antes y con mayor producción de biogás, mientras BD-B produce una menor cantidad y se demora más en comenzar a producir. Este experimento fue realizado con excretas de porcino que a diferencia de los residuos de las ferias libres poseen mayor concentración de este tipo de microorganismos (Menna *et al.*, 2011).

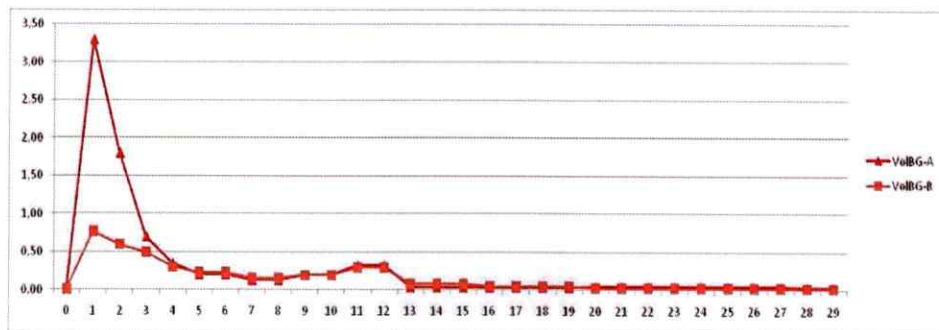


Figura 5. Volumen diario en litros de biogás generado en los biodigestores BD-A-(con inoculación)- y BD-B-(sin inoculación) (Menna *et al.*, 2011)

El día cero es cuando comienza la producción de biogás en el primer digestor previa inoculación con un remanente de 33,3% del total de la carga compuesto por lodos residuales de la biodigestión anterior. Esto es considerado un biodigestor modelo batch.

Como criterio para biodigestores, es que de no tener esta proporción de inóculo puede resultar muy útil ir escalando un proceso de fermentación con los sustratos de las propias ferias libres, partiendo de una inoculación menor de rumen o de otro biodigestor. Esto además puede servir como parte de la experimentación previa.

4.1.2.3 Modalidades de carga

La generación de los DSOU de las ferias libres tiene una frecuencia de una o dos veces por semana, mientras que en las viviendas y edificios es de forma continua, por lo que el régimen de carga debe ser de tal forma de evitar la acumulación de residuos fuera del biodigestor. Esto también obliga a jerarquizar los objetivos, ya que los modelos de biodigestor varían en función de si el objetivo es la eficiencia en la producción de gas, o disminuir la cantidad de DSOU. Una forma de simplificar el problema es priorizar por la disminución de DSOU, por lo cual es más seguro utilizar un biodigestor semi continuo que permite agregarle desechos durante el proceso, evitando la posibilidad de que se acumulen fuera de éste.

Con los mismos a para las viviendas y los edificios, la modalidad es continua, ya que la generación de sustrato es continua, lo que simplifica el sistema, al no tener que acumular desechos fuera del biodigestor.

4.1.2.4 Regulación del pH

Un problema frecuente de utilizar frutas es la disminución excesiva del pH. El pH ideal es neutro, con un rango de 6,8 a 7,4, ya que los microorganismos metanogénicos son más susceptibles a las variaciones de pH que los otros microorganismos de la comunidad microbiana anaeróbica. Los diferentes grupos bacterianos presentes en el proceso de digestión anaeróbica presentan unos niveles de actividad óptimos en torno a la neutralidad. El óptimo es entre 5.5 y 6.5 para acidogénicos y entre 7.8 y 8.2 para metanogénicos. El pH óptimo para cultivos mixtos se encuentra en el rango entre 6.8 y 7.4, siendo el pH neutro el ideal.

El valor del pH en el digestor no sólo determina la producción de biogás sino también su composición. Una de las consecuencias de que se produzca un descenso del pH a valores inferiores a 6 es que el biogás generado es muy pobre en metano y, por tanto, tiene menores cualidades energéticas. Debido a que la metanogénesis se considera la etapa limitante del proceso, es necesario mantener el pH del sistema cercano a la neutralidad. Los acidogénicos son significativamente menos sensibles a valores más extremos de pH.

La disminución del pH es causada frecuentemente por la acumulación de ácidos grasos volátiles (AGV) y/o por la excesiva acumulación de dióxido de carbono. Para disminuir los AGV, se puede disminuir parte del volumen de

carga, hasta que se estabilice el pH, y luego completar la carga con el mismo sustrato o uno fresco, y con esto favorecer la metanogénesis. Otras opciones para regular el pH es disminuirlo con sustancias alcalinas como bicarbonato, NaOH, o para escalas mayores, sustancias menos costosas como cal o cenizas.

Otra consideración particular para los desechos de frutas es evitar algunos residuos como son los cítricos u otros frutos ácidos, lo que puede ser necesario dependiendo de la proporción de éstos en el sustrato total. Otro método útil cuando el pH es alto, consiste en retirar frecuentemente una pequeña cantidad de efluente, y agregar materia orgánica fresca en la misma cantidad.

Un ejemplo de acidificación se encuentra en un estudio en el cual se montan dos biodigestores con residuos del mercado Plaza Kennedy, una feria libre en Bogotá. La conclusión de este estudio indica que debido a la disminución del pH no se logra la producción de biogás (Torres *et al.*, 2008). Aunque de los trabajos estudiados, éste corresponde a una excepción, no deja de indicar que el PH es un factor muy relevante, y a veces crítico, para este tipo de sustrato.

En el caso de las viviendas y del edificio, el riesgo de tener problemas con la acidificación del sistema anaeróbico es similar. En el edificio, el biodigestor estaría conectado a los baños, por lo tanto, éstos no debieran limpiarse con cloro o sus derivados, el cual se puede remplazar por vinagre (ácido acético) y bicarbonato. Esto ya es una práctica común para evitar vaciar productos

dañinos al ambiente, como sustituto de los productos de limpieza tradicionales. Puede tener efecto en el pH, funcionando como solución tampón, aunque la cantidad de agua en que se encuentra disuelto podría no causar efecto, ya que se puede usar diluido en agua al 50% sin problema.

Una alternativa es la que presentan los biodigestores modernos, cuyo protocolo de funcionamiento se basa en etapas sucesivas, que separan la acidogénesis de la metanogénesis. Esto ocurre en un sistema de lecho fijo, donde se controla el paso de un lado a otro, lo que permite regular el pH (Álvarez *et al* 2009), aunque su costo puede hacer inaccesible esta variante tecnológica.

4.1.2.5 Temperatura, Tiempos Estimados y Volúmenes

Estos tres aspectos, como se observará, están directamente relacionados entre sí. Mientras más temperatura, menor tiempo de retención y por lo tanto el tamaño del biodigestor es menor.

4.1.2.5.1 Temperatura

Se definen tres rangos de temperatura en los cuales ocurre la metanogénesis con base en el crecimiento microbiano involucrado, como se observa en la Fig. 6 y en la Tabla 9.



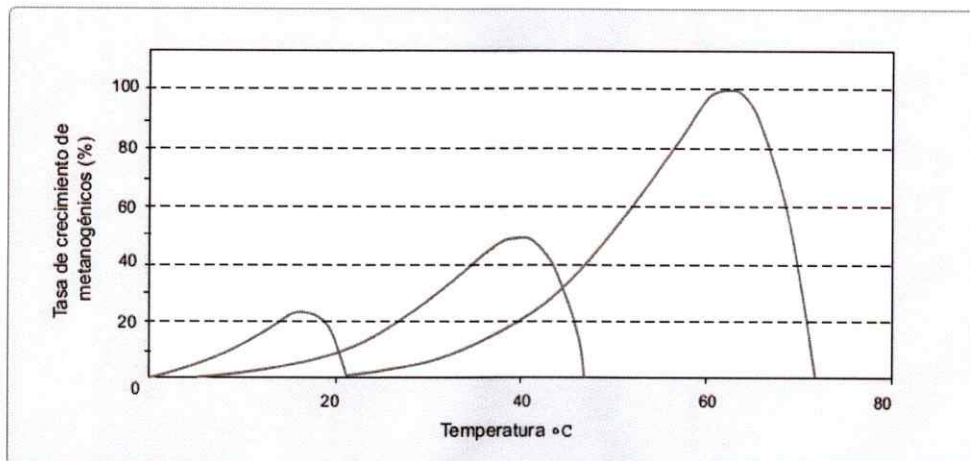


Figura 6. Tasa de crecimiento de bacterias metanogénicas en función de la temperatura (FAO, 2011).

Tabla 9. Rangos de temperatura en que ocurre la fermentación metanogénica (FAO, 2011).

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

Como se puede observar, hay una relación fuertemente dependiente entre el tiempo del proceso y la temperatura. Por los tiempos, se evaluó la posibilidad de rangos mesófilico y termófilico, que son los más utilizados.

Para mantener una temperatura estable, FAO (2011) recomienda que no varíe más de 0,6-1,2 °C día. En general la ventaja del proceso mesófilico es una mayor estabilidad del proceso, mientras que el termófilico es más rápido,

pero suele ser más inestable. No se ahondará en los aspectos físico-químicos que explican esto, ya que las ventajas y desventajas no son tan grandes como la inversión de energía que requiere pasar de temperaturas mesophilicas a thermophilicos.

Es más factible considerar un modelo con el menor gasto energético, puesto que en Santiago en los meses cálidos entre septiembre y abril, con una temperatura promedio superior sobre los 20° C y promedio inferior, no menor a 10 °C (INE Estadísticas Medio Ambientales, 2012). El balance energético puede ser suficientemente favorable para un sistema mesófilo. Sin embargo, para los meses fríos (mayo – agosto), en los valores promedios bajo esta temperatura, puede ser necesario hacer aportes de calor que permitirían elevar la temperatura del sistema. Una solución eficiente aplicada en algunos biodigestores consiste en la recirculación, añadiendo temperatura (Guasumba, 2009), lo cual, a su vez, es un sistema de agitación que ayuda a resolver la posibilidad de la estratificación del sustrato al interior del biodigestor, que es uno de los riesgos de los biodigestores discontinuos. Para aumentar la temperatura, se puede utilizar gas u otro sistema. Como es integrar un sistema de calentadores solares para optimizar el uso de la energía, aprovechando la radiación solar. Estas consideraciones son válidas para los tres casos.

4.1.2.5.2 Tiempo de Retención Hidráulico

El tiempo de retención hidráulico (TRH) es el tiempo que debe permanecer la mezcla al interior del biodigestor, antes de comenzar a producir biogás. Como se observa en la Fig. 7 el tiempo transcurrido está directamente relacionado con la temperatura interna del sistema.

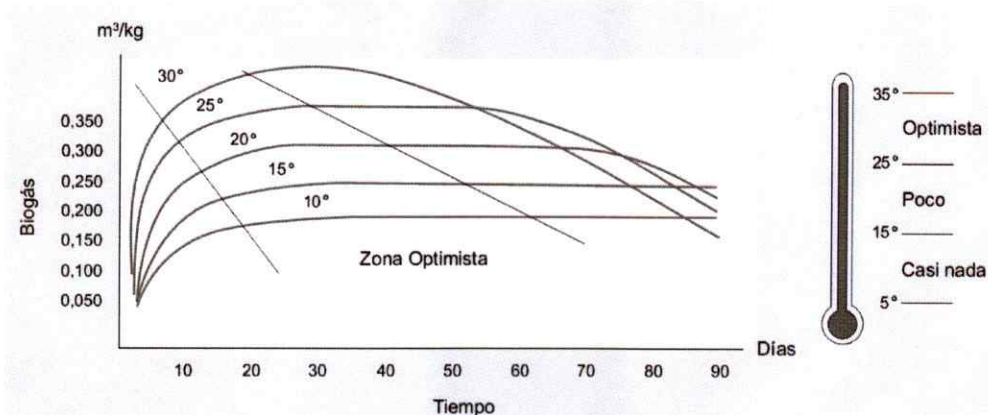


Figura 7. Producción de biogás en función de la temperatura en el tiempo, que señala la zona optima de producción de biogás

El TRH, por datos experimentales de otros biodigestores, puede aproximarse a 40 días, entendiendo que particularmente este dato requiere experimentación, pero que distintas fuentes experimentales promedian un tiempo similar (FAO, 2011).

Otra forma de calcular el TRH es utilizando la fórmula 2 (UPME, 2003), Esta fórmula es para biodigestores continuos y semi continuos.

Formula 2

$$\text{Tiempo de retención} = (-51,227 * \text{Ln}(T^{\circ}\text{C}) + 206,72)$$

Donde, "Ln (T°C)" es el logaritmo natural de la temperatura de la zona donde se instalará el biodigestor. Para un promedio anual 14,8 °C (estadísticas ambientales INE, 2012) sin ningún tipo de aporte de calor externo o aislante significó un tiempo de retención de 68,7 días, lo que sin

Pero tal como se indicó anteriormente, al utilizar aislación térmica y paneles solares que aportan agua caliente al sistema, puede permitir alcanzar una temperatura de aproximadamente 30° C. También esto en los meses fríos puede ser complementado con un sistema de calefacción con base en el propio biogás, aunque es muy difícil no tener cierto grado de oscilación térmica, que impacte sobre la producción de biogás. Por lo cual se trabajó en un rango de temperaturas de 30°C promedio, para los meses cálidos y 25°C para los meses fríos.

Los cálculos realizados definen un TR = 32,4 días para los meses cálidos y para los meses fríos de 41 días. Para los efectos de esta evaluación se consideró un rango en los tiempos de retención que va desde los 68,7 días a los 41 días, ya que esto afecta directamente el tamaño del biodigestor. No se consideró el de 32,4 días, ya que el tamaño del biodigestor no debe ser menor al de la cantidad de desechos generados, en ninguno de los meses del año.

4.1.2.5.3 Volumen del biodigestor y volumen de carga

El volumen del digestor debe ser igual al volumen del material a degradar, multiplicado por el tiempo de digestión necesario y un volumen adicional para el almacenamiento de gas y el inóculo (FAO, 2011). Para lo cual se considera la siguiente fórmula:

Formula 3

$$\text{Volumen del biodigestor} = \text{volumen carga} * \text{tiempo de retención} * 1,2$$

Esta fórmula es para biodigestores continuos o semi continuos. Considera tres factores: volumen de carga, tiempo de retención y una constante para considerar el espacio para el volumen de biogás generado igual a: 1,2 (UPME, 2003). Para estimar el tamaño de los biodigestores en el caso de la vivienda y del edificio, se consideró un número de usuarios de 30 y 60 personas respectivamente, ya nombrado en la metodología. El volumen de la carga se considera en un 10% de ST, tomando los cálculos realizados anteriormente, con lo cual se obtuvieron los siguientes volúmenes de carga (Tabla 10).

Tabla 10. Resumen de los datos de sustrato con los que se obtiene el volumen de carga para cada caso, considerando el sustrato diluido.

Caso	ST mezcla	Dilución	Agua*kg	kg	Volumen agua L	Volumen de carga (kg + L)
Ferías libres	0,28	0,10	1,8	510	918	1428
Vivienda	0,14	0,10	0,4	16,8	6,72	23,52
Edificio	0,15	0,10	0,5	41,4	16,8	62,1

Como era de esperar, en la Tabla 11 se observa que a medida que aumenta la cantidad de sustrato, los biodigestores son de mayor tamaño. Puede ser conveniente, por ejemplo, hacer dos por cada feria libre, o por el contrario, asociar a más de treinta habitantes para el caso de la vivienda. Así como también se puede considerar un edificio para más o menos habitantes. El sentido es fijar parámetros que ayuden a tomar decisiones en esta materia.

Tabla 11. Volumen del biodigestor obtenido con base en los siguientes datos: volumen de sustrato, tiempo de retención y volumen de biogás.

Caso Utilizando promedios	Volumen Litros (kg sustrato + Agua)	Tiempo retención mayor en días	Volumen para el biogás	Volumen biodigestor litros	Volumen biodigestor m³
Ferias libres	1428	41,0	1,2	70257,60	70
Vivienda (30 personas)	23,5	41,0	1,2	1157,18	1
Edificio (60 personas)	62,1	41,0	1,2	3055,32	3
Ferias libres	1428	68,7	1,2	117724,32	118
Vivienda (30 personas)	23,52	68,7	1,2	1938,99	2
Edificio (60 personas)	62,10	68,7	1,2	5119,52	5

Otro aspecto muy relevante es que sin usar un sistema de calefacción para el biodigestor éste aumenta un 167,6% su tamaño. Por lo tanto, hay una relación costo-beneficio respecto a utilizar un sistema para mantener la temperatura. Así, el volumen de carga diario de un biodigestor utilizando la Fórmula 3, corresponde a la totalidad del volumen del sustrato generado.

4.1.2.6 Biogás generado

La cantidad de biogás generado puede calcularse de variadas formas. Una de las más comunes es el potencial de producción de determinados sustratos, al multiplicar: el peso del sustrato, sólidos totales, sólidos volátiles, se obtiene la fracción de la materia orgánica que potencialmente se puede transformar en biogás. Esto se multiplica por una constante experimental que es específica para cada tipo de sustrato, lo que determina qué fracción se transforma experimentalmente en biogás, lo cual se observa en: Tabla 12 para las ferias libres, Tabla 13 para el caso de las viviendas y Tabla 14 para el edificio.

Formula 4

$$\text{Volumen de biogás} = \text{kg sustrato} * ST * SV * m^3 \text{ Biogás} * SV \text{ sustrato}^{-1}$$

(UPME, 2003)

Tabla 12. Datos para estimar la generación de biogás en ferias libres, obteniendo distintas constates de generación de biogás por sustrato, utilizando

la Formula 4. En el análisis se consideró un sustrato de 510 kg por día promedio. Con base en datos combinados de Sáez *et al.* (2010) y Lipp GMBH (2007)

Origen del Sustrato	Composición % de los DSO	Sólidos Totales (ST)	Sólidos Volátiles (SV)	constante de generación de Biogás promedio $m^3 * (kgSV)^{-1}$
verduras	44,40%	0,45	0,76	0,56
frutas	38,20%	0,15	0,93	0,56
Papas	17,40%	0,135	0,90	0,55
Resultado	100,00%			

Tabla 13. Datos para estimar la generación de biogás en el caso en vivienda obteniendo distintas constantes de generación de biogás por sustrato. Se consideró un sustrato de 16,80 kg día (Lipp GMBH, 2007).

Origen de los DSO	Composición % de DSO	Sólidos Totales (ST)	Sólidos Volátiles promedio (SV)	constante de generación de Biogás promedio $m^3 * (kgSV)^{-1}$
Alimentos	100%	0,14	0,925	0,71

Tabla 14. Datos para estimar la generación de biogás en el caso del edificio obteniendo distintas constantes de generación de biogás por sustrato. Se consideró un sustrato de 41,40 kg día. Elaborada con datos de: Lipp GMBH (2007) y FAO (2011).

Origen de los DSO	Composición % de DSO	Sólidos Totales (ST)	Sólidos Volátiles promedio (SV)	constante de generación de Biogás promedio $m^3 * (kgSV)^{-1}$
Alimentos	78,8%	0,14	0,925	0,71
Excretas Humanas	18,8%	0,17	0,92	0.06

Con los datos de cada caso se multiplicaron las constantes de los sustratos: $ST * SV m^3 \text{ Biogás} * SV^{-1}$ sustrato promediados, con lo cual se obtiene la cantidad de biogás generado por kg de sustrato para cada caso, como se observa en la Tabla 15.

Tabla 15. Producción teórica diaria de biogás, para cada uno de los casos utilizando constantes en base a los sustratos de cada caso

Caso	Sustrato en kg diarios	m^3 de biogás kg^{-1} sustrato	Potencial Biogás generado, con base en el sustrato producido por día, en m^3
Ferías libres (promedio para una feria libre)	510	0,133	68,0
Vivienda (30 personas)	16,8	0,073	1,22
Edificio (60 personas)	41,4	0,092	3,81

Otra posibilidad, es considerar el dato de producción de biogás promedio de los actuales rellenos sanitarios, y utilizarlo como estimador de la producción de biogás de los sustratos de los casos estudiados, estos datos se obtuvieron, dividiendo la cantidad de biogás generado por el sustrato de relleno sanitario urbano (RSU). El sentido de estos cálculos es tener una idea general de la posibilidad de generación de biogás, como se observa en la Tabla 16.

Tabla 16. Flujo teórico de biogás en base a la producción en rellenos sanitarios, calculado con una constante empírica. Elaborada con datos de Chamy *et al.* (2007).

Caso	Sustrato en kg generado por día	Factor empírico de conversión en biogás $m^3 \cdot kg^{-1} \cdot día^{-1}$	Biogás $m^3 \cdot días^{-1}$
RSU en relleno	5.276	0,06	316,56
Una feria libre (promedio de RM)	510	0,06	30,6
Viviendas (30 habitantes) promedio	16,80	0,06	1
Edificio (60 habitantes) promedio	41,40	0,06	2,48

4.1.2.7 Efluentes

El biol, correctamente estabilizado luego del proceso de biodigestión, puede ser utilizado como fertilizante para parques y plazas, como también puede ser de utilidad para los propios productores que proveen las ferias libres. Por otra parte, algunos trabajos lo comparan, con el compost tradicional, frente al cual

no hay una clara ventaja de uno sobre el otro. Se puede separar el efluente en dos partes: una más líquida, mayoritaria, que se llama biol y otra más sólida, similar al compost, llamada biosol, una de las ventajas del biol y el biosol frente al compost, es que una menor cantidad de biol cumple un rol similar a una mayor cantidad de compost (Robles *et al.*, 2008).

4.2 Factibilidad social

La factibilidad social de un proyecto depende de distintos factores, en general consiste en una variedad de relaciones sociales, que permiten la puesta en práctica de una actividad. En este trabajo se evaluó la disposición de los potenciales usuarios de esta tecnología, para lo cual se realizó una encuesta a una feria libre y se consideraron aspectos sociales relevantes.

4.2.1 Algunos datos sociales relevantes

Las condiciones sociales que se consideraron para la factibilidad de esta tecnología son aspectos legales y económicos, en particular el aumento de precio de los combustibles, que se ejemplifica en su tendencia histórica al alza del precio de la gasolina y el del gas licuado. Otros factores que no se analizaron en este trabajo, pero que pueden ser de importancia, son: el aumento de las dificultades para el manejo de la basura en las grandes ciudades, el precio del transporte, la falta de lugares en los cuales depositarlos, una mayor valoración social del medio ambiente.

4.2.2 Resultados y análisis de la encuesta

Se realizó una encuesta en una feria libre, en la cual se pudo apreciar la disposición de los potenciales usuarios. Se encuestó a 62 feriantes, uno por cada puesto de la feria, la cual está ubicada en Santiago en la Comuna de San Joaquín, en la calle: Comercio, entre las calles San Juan y Central.



Figura 8. Resultados de la encuesta a la pregunta uno.

La primera pregunta permite conocer el destino actual de los desechos. Es sabido que la Municipalidad es quien los recolecta, luego de terminado el

horario de la feria. Aun así el 9% de los feriantes por su propia iniciativa recicla o reutiliza algunos de los desechos. Ahora, si se considera que sólo un 6% recicla la mayor parte, como se observa en el gráfico 5 podemos inferir que el flujo de DSO, al menos en este caso, no tendría algún destino alternativo, a un posible biodigestor.

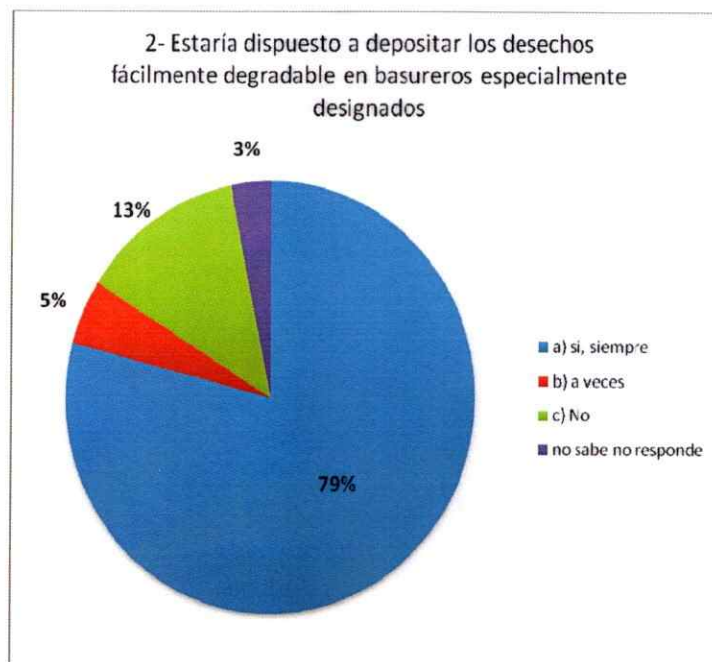


Figura 9. Resultados de la encuesta, pregunta dos

Este gráfico muestra claramente que el 79% afirma que está dispuesto a separar los desechos en basureros designados, lo que expresa una clara disposición a un manejo de los residuos. Esto es importante si se considera que hoy ni siquiera deben tirarlos a algún tipo de recipiente común, sino que son los

servicios de la Municipalidad los que mantienen la limpieza, retirando los desechos, directamente de la calle.

Ahora, esta separación en el origen de los desechos, por parte de los usuarios, no es indispensable para aplicar esta tecnología, ya que la podría separar la propia Municipalidad, lo que probablemente tendría un mayor costo económico asociado para esta. También se puede considerar alguna forma intermedia, como una separación por parte de los usuarios y luego de todos modos se limpia alrededor, en el momento en que se retiran los recipientes con los desechos.

En la Tabla 17 se muestra el resultado promedio de la encuesta para las preguntas donde se solicitó a los encuestados que pusieran nota del 1 al 7 a diferentes aspectos, donde 1 era lo menos importante y 7 lo más importante.

Tabla 17. Resultados promedio de las preguntas de valoración, que muestran un alto interés.

Preguntas ¿Qué importancia tiene para Ud...	Resultado Promedio de 1 a 7
- ¿el problema de la basura?	6,48
- ¿el sistema de recolección de basura?	5,30
- ¿la posibilidad de transformar los desechos en gas y abono?	6,67

En general, la calificación muestra un importante interés por el problema de la basura y por los beneficios que genera un biodigestor, lo que expresó una

buena disposición por parte de los usuarios a esta tecnología. Ahora, esto no cubre todos los aspectos, ya que pueden existir otros costos asociados, por ejemplo, sobre el manejo del biodigestor y los riesgos que se corren si ocurriese alguna falla. Esto tiene importancia si se instala en una zona aledaña.

La calificación del sistema de recolección es menor que la de los otros aspectos considerados. Es difícil encontrar una causa determinante, ya que en el transcurso de las encuestas se anotaron comentarios al pie como: porque no se reciclan, por los bajos salarios para los recolectores. Ahora, en general ésta no es una baja calificación. Por lo tanto, no se puede obtener una conclusión clara respecto a la baja calificación relativa del sistema de recolección, más allá de que no existe un taxativo descontento con el sistema de recolección actual. De conjunto, se expresa una buena disposición de estos usuarios hacia el uso de esta tecnología.

4.2.3 Aspectos legales, y de gestión

Para la factibilidad de esta tecnología se requiere considerar un marco social y legal favorable para su aplicación. La responsabilidad de financiamiento, implementación y mantención depende de recursos de índole estatal, ya que son las municipalidades las que deben responsabilizarse por el manejo de los desechos. El Código Sanitario, *"aprobado por D.S. N° 725, •Artículo 11°, letra b establece que: corresponde a las municipalidades, el orden sanitario, recolectar,*

transportar y eliminar por métodos adecuados, a juicio del servicio, las basuras, residuos y desperdicios que se produzcan o depositen en la vía urbana".

A su vez, el Artículo 16 de la legislación sobre rellenos sanitarios inserto en el Decreto 189 del Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias y de Seguridad Básica dice:

"Todo proyecto de Relleno Sanitario deberá contemplar un sistema de manejo de biogás diseñado en base a una proyección de la cantidad de biogás que se generará en éste y que garantice condiciones de seguridad adecuadas tanto al interior de la instalación como en sus alrededores. El diseño del sistema de manejo de biogás deberá considerar la mayor extracción posible del biogás generado durante las etapas de operación y cierre de la instalación, debiéndose contemplar la utilización del biogás extraído y en caso de que total o parcialmente ésta no sea posible, el biogás no utilizado deberá ser sometido a un proceso que garantice el control del riesgo de formación de mezclas explosivas tanto en el interior como en el exterior de la instalación. Se deberá justificar técnicamente el diseño de los componentes del sistema de manejo de biogás, incluyendo los radios de influencia y ubicación de las chimeneas de captación y drenaje de gases".

Esto significa que una reducción de la cantidad de materia orgánica en un relleno sanitario puede facilitar el cumplimiento del manejo de biogás que

necesariamente se debe considerar. Por lo tanto, se puede considerar la biodigestión en condiciones anaeróbicas como parte normal del destino de los DSU, proceso que hoy ocurre dentro de un relleno sanitario en condiciones no especializadas.

También, como antecedente, el Ministerio de Energía el 2011 elaboró un documento llamado “Revisión Normativa Actual y Norma Técnica y de Seguridad para Instalaciones de Biogás en la Producción y en el Uso” que explicita las normas aplicables a la generación de biogás, y que plantea la necesidad de una normativa que permita avanzar en los vacíos existentes, aunque rescata que las normas existentes son perfectamente aplicables (Ministerio de Energía, 2011). Propone que las plantas de producción de biogás de menor escala tengan reglamentos más permisivos que faciliten su construcción, (ver el resumen de la normativa aplicable y los vacíos en anexo b).

4.2.4 Aspectos económicos

Se consideró sólo un aspecto económico relevante con el objetivo de que pueda ser un incentivo para un estudio específico de factibilidad económica a realizarse en un futuro. Al menos en los últimos años se ha observado un creciente aumento de los precios de los combustibles, tal como muestra el siguiente gráfico. Esto es tanto en Chile como a nivel internacional, lo que no es



extraño, al ser un recurso no renovable, cuyas reservas son limitadas y su consumo es creciente.

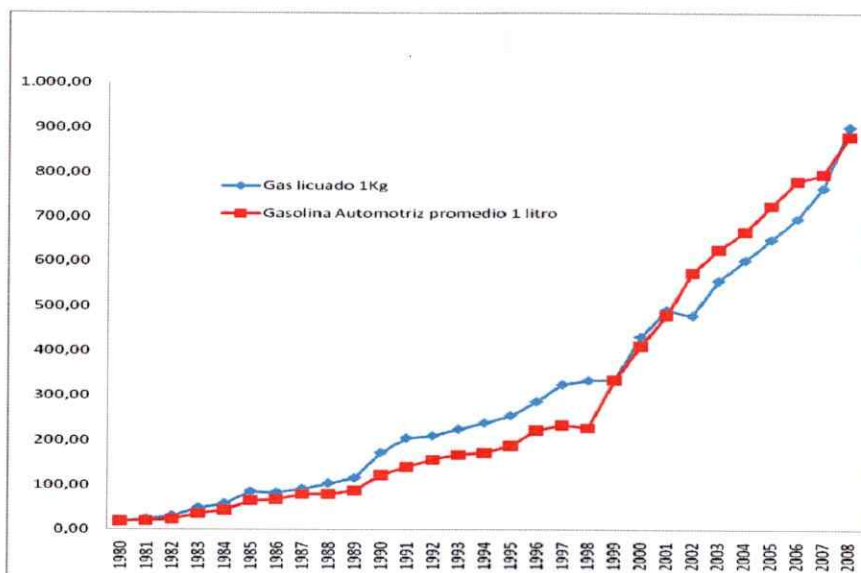


Figura 10. Precios en pesos chilenos v/s tiempo en años del L gasolina y el kg gas licuado. Datos de origen (INE, 2010).

Desde estos datos se puede considerar que la tecnología asociada a la producción de biogás como a la reducción de los DSO, en determinado punto del alza de precios sea una alternativa favorable económicamente (FAO, 2011). Incluso muestra cómo podría tender a igualar o superar el precio de la gasolina.

5. CONCLUSIONES GENERALES Y RECOMENDACIONES

Las condiciones, tanto sociales como tecnológicas, de aplicación, de los biodigestores para cada uno de los casos evaluados, muestran que es factible su aplicación. Considerando la cantidad y la calidad del sustrato, la disponibilidad de la tecnología para resolver los posibles obstáculos del proceso de biodigestión, así como la disponibilidad social evaluada y el marco normativo legal son en su conjunto favorables.

Se logró obtener información bibliográfica, específica y general para enfrentar las particularidades de establecer esta tecnología de forma urbana para cada uno de los casos. Se destaca que la mayor producción teórica de biogás es el de las ferias libres, que de aplicarse de forma generalizada, puede evitar la generación de 76.500 de DSO toneladas al año. Éstos hoy emiten metano, que en su mayoría se quema en rellenos sanitarios sin poder aprovecharse, o en el peor de los casos, es liberado a la atmosfera. Éste es un caso donde se puede apreciar un cumplimiento satisfactorio tanto en la eliminación de DSO como en la generación de biogás.

Mientras que en el caso del edificio y las viviendas, siendo la generación de biogás menos relevante, aún puede considerarse como un aporte para disminuir el gasto en gas, además de una tecnología muy factible en cuanto a la reducción de desechos. De todas maneras, esto puede cambiar si se considera

un sistema con más de 30 personas en el caso de la vivienda, y respecto al edificio, con más de 60 personas.

5.1 Ventajas y desventajas

En general esta tecnología es factible en los casos analizados. Para los objetivos de reducción de desechos y su factibilidad, varía según los volúmenes de sustrato y la generación de biogás.

a) Feria libre:

Tiene la ventaja de ser una unidad precisa de generación de DSO, por lo tanto cuantificable y relativamente estable, y con volúmenes sostenidos en el tiempo. La mayor desventaja en términos tecnológicos es una baja del pH, producto de algunos sustratos, como pueden ser los desechos de los cítricos. En términos sociales la encuesta mostró una actitud favorable hacia iniciativas que contribuyan a la reutilización de los DSO, cuestión que puede mejorar más aún con una buena producción de biogás y de fertilizante.

b) Vivienda:

En éste caso, la mayor ventaja es que se puede ampliar o disminuir la población objetivo. Otra de sus ventajas radica en que para que ésta pueda realizarse requiere de una buena disposición por parte de los usuarios para separar los residuos, o en su defecto invertir en la separación de los residuos a *posteriori*. En este caso, los residuos son más diversos que en la feria libre. Una

desventaja a considerar es que la producción de biogás para la cantidad de 30 usuarios considerada, es bastante baja.

c) Edificio:

Las ventajas y desventajas son similares a las de las viviendas, pero en éste caso la buena disposición de los usuarios, es un requisito previo para habitar un edificio con esta tecnología integrada, que producto de la incorporación de retretes con separación de orina, tienen la ventaja de ahorrar agua, permitir utilizar las heces para el proceso y disminuir la presión sobre el sistema de alcantarillado. Todo esto acompañado de ciertas desventajas para los usuarios, como la de exigir ciertos hábitos para su mantención y algunas complicaciones tecnológicas (implementación de ductos separados en los servicios sanitarios) que podrían aumentar los costos de construcción.

Por último, una diferencia importante, es que si bien las viviendas requieren un sistema de transporte y acopio del material en un biodigestor externo, en el edificio se trata de que éste se encuentre en la zona subterránea del mismo. Es decir, tiene la ventaja de permitir el ahorro en el sistema de transporte y recolección. La desventaja radica en que el número de usuarios no puede exceder al de los usuarios de un edificio o a lo más, el de un edificio adyacente, lo que es una limitación en cuanto a la cantidad de sustrato. Aunque puede ser de todas maneras mayor a 60 personas, que es lo considerado en el estudio, esto en sí mismo complejiza los factores a evaluar. Sin embargo, esto a su vez

puede ser considerado como un atractivo para los potenciales usuarios, al tener la oportunidad de vivir en un edificio con tecnologías alternativas integradas.

5.2 Recomendaciones

Es necesario realizar experimentación para ajustar los resultados, considerando los factores desarrollados a lo largo del estudio y dentro de los cuales, los más importantes son: la temperatura y TRH, para luego poder considerar el tamaño adecuado del biodigestor y el pH, por la posible disminución de éste. También se debe evaluar cuál es la cantidad de ST y la calidad del sustrato (tamaño y homogeneidad), el diseño del biodigestor, entre otros aspectos, que se pueden considerar en una futura evaluación experimental de la factibilidad.

Es necesario un estudio específico de factibilidad económica, tanto considerando costos y beneficios, actuales y futuros, como la voluntad política respecto a invertir en este tipo de innovación. Se debe considerar también como las distintas innovaciones tecnológicas pueden generar una sinergia positiva, al aplicarse de forma combinada. Por ejemplo y en este caso, la implementación de retretes con separador de orina más la integración de un biodigestor. Así como también la inclusión de paneles solares para aumentar la temperatura del sustrato.

Es necesario estudiar cuál es la relación óptima tanto para el caso del edificio como de las viviendas, entre el número de usuarios, cantidad de sustrato, y la solución tecnológica, tamaño y condiciones de manejo del biodigestor. Finalmente, es necesario evaluar aspectos no considerados, como: la purificación del biogás y la disposición de los usuarios en el caso de los edificios y viviendas.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alvarez R., Riera V., Villca S., 2004. Producción anaeróbica de biogás aprovechamiento de los residuos del proceso anaeróbico. La Paz Bolivia. p100.

CASEN, 2009. Familia encuesta CASEN. Chile. p44

CEPAL, 2013. Estrategias de desarrollo bajo en carbono en megaciudades de América latina. Chile. p181.

CONAMA, 2010. Primer Reporte del Manejo de Residuos sólidos en Chile. Chile. p64.

CONAMA, 2006. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso Facultad de Ingeniería. Caracterización de Residuos Sólidos Domiciliarios en la Región Metropolitana. Chile. p118.

Chamy R., Vivanco E., Escuela de Ingeniería Bioquímica, PUCV, 2007, Identificación y Clasificación de los Distintos Tipos de Biomasa Disponibles en Chile para la Generación de Biogás. Chile p80.

Chile. Ministerio del interior; Subsecretaría de desarrollo regional y administrativo Ley Orgánica Constitucional de Municipalidades, N° 18.695. 09, Mayo, 2006.

Chile, Ministerio de salud pública, Decreto con fuerza de ley código Sanitario, aprobado por D.S. N° 725, 13, agosto 2011. p43.

Ecoamerica, 2012. KDM presenta resultados de proyecto para tratar residuos orgánicos en la RM. Revista Ecoamerica 121(2):10-11.

Contreras E., 2004. Evaluación social de inversiones públicas: enfoques alternativos y su aplicabilidad para Latinoamérica. Chile. p102

Esrey S., et-al., 2003. Publicaciones sobre Recursos Hídricos No. 18 cerrando el ciclo Saneamiento Ecológico para la Seguridad Alimentaria. México. p94.

FAO, 2011. Manual de biogás. 1^{era}ed. Santiago de Chile. Editado por: Proyecto CHI/00/G32 Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables. p120.

Guasumba J., 2009. Generación Rápida de Biogás, Como Alternativa Energética Promisoria. Ecuador. p7.

INE. 2012; Medio Ambiente, Informe Anual 2012. Publicación Anual; Chile. p233.

INE 2010. Índice de precios al consumidor [archivoexcel] Chile. http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/estadisticas_precios/ipp/nuevo_ipp.php [consulta : 08 noviembre 2013]

INNOVACHILE-CORFO, 2009. Estudio de energías renovables no Convencionales. Chile. p230.

I.N.T.A., 2010 Instituto de Ingeniería Rural Manual para la Producción de Biogás, Argentina p53.

Lerda S., Sabatini F., 1996. Estudio de Caso N° 8, De lo Errázuriz a Til-Til: El Problema de la Disposición Final de los Residuos Sólidos Domiciliarios de Santiago. Chile, p39

Lipp GMBH, 2007. Biodigestores: Tabla de valores - TS [en línea]. Lima Perú. Chávez P. <<http://www.engormix.com/MA-porcicultura/manejo/articulos/biodigestores-tabla-valores-ts-t1237/p0.htm>> [08 de noviembre 2013].

Menna M., Murcia G., Corleto B., Dinamarca A., Branda J., Garin E., 2011. Evaluación Energética de la Biodigestión Anaeróbica de Estiércol de Cerdo en Condiciones de Mínimo Manejo. Grupo de Estudio de Energías Alternativas y Ambiente (GEEAA). Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMDP) – Facultad de Ingeniería. Argentina 15(6): 113-118.

Ministerio de energía, 2011. Revisión Normativa Técnica y de Seguridad para instalaciones de biogás en la producción y en el uso. Santiago Chile p129.

Ministerio de energía, 2012. Estrategia nacional de energía 2012-2030. Chile. p38.

Orcosupa J., 2002. Relación Entre la Producción Per Cápita de Residuos Sólidos Domésticos y Factores Socioeconómicos. Tesis para optar al título de Magister en Gestión y Planificación Ambiental. Santiago Chile. Universidad de Chile Departamento de postgrado y postítulo. p62.

Robles S., Jansen A., 2008. Estudio Sobre el Valor Fertilizante de los Productos del Proceso de "Fermentación Anaeróbica" para Producción de Biogás. Perú. p10.

Sáez L., Torres V., Caceres L., 2010. Caracterización de las ferias libres como canal de comercialización en la Región Metropolitana de Chile. Revista Economía Agraria. 7(14) 1:7.

Secretaría Regional Ministerial de Vivienda y Urbanismo. 2005. Análisis y Diagnóstico Plan Regional de Desarrollo Urbano. Santiago, Chile. p38.

Torres J., *et-al.*, 2008. Montaje y puesta en marcha de dos biodigestores anaerobios Con residuos orgánicos generados en la central de mercado "Plaza Kennedy". Seminario de grado para optar al título de ingeniero ambiental. Bogotá Colombia. Universidad Manuela Beltrán Facultad de ingeniería ambiental. p120.

Unidad de Planeación Minero Energética, UPME. 2003. Guía para la Implementación de Sistemas de Producción de Biogás. Colombia Bogotá, D.C. p47.

Vereda A., Gómez C., García F., Rodríguez J., 2006. Producción de Biogás a partir de Residuos Vegetales (I y II). Ingeniería Química. p. 114 -128.

7 ANEXOS

Anexo I

a) Preguntas de la encuesta realizada

Encuesta
Nombre: _____ Apellido _____ Edad: _____

Función: _____

1- ¿Qué hace con los desechos provenientes de las frutas verduras y carnes?

a) se van todos a la basura

b) la mayor parte se eliminan y una parte menor se reciclan o reutilizan, cual(es):

c) la mayor cantidad se recicla y/o reutilizan, cual(es) _____

2- Estaría dispuesto a depositar los desechos fácilmente degradable como, restos de comida, en basureros especialmente designados para estos residuos y en otros basureros, el resto de la basura, con el fin de disminuir la cantidad de desechos que generas:

a) si, siempre

b) a veces

c) No

3- Qué importancia tiene para Ud. el problema de la basura, del 1 al 7, donde uno es nula importancia y siete mayor importancia _____

4- Qué nota le pone del 1 al 7 al sistema de recolección de basura, donde 1 es la peor nota y siete la mejor _____

5- ¿Qué importancia tiene la posibilidad de transformar los desechos provenientes de las frutas verduras y carnes, en gas para cocinar y en abono para las plantas? del 1 al 7; donde 1 es poco importante y 7 de muy importante _____

Anexo II

b) Resumen normativa biogás y su aplicabilidad

INSTALACIONES DE BIOGÁS		Normativa		
		Existente Aplicable	Referenciable (#)	Vacío normativo
1	Producción	Ley 18410+DFL 323/1931 Art. 41, Art. 48 1,3,5,7 y 8 +Art. 53 Sanciones+Art.55 medidas cautelar seguridad. + DSS 594/99 Condiciones sanitarias y ambientales.	DFL 323/31 Art. 10 ubicación plantas y gasómetros.	Sí, respecto del tipo específico de combustible, y en caso de autoconsumo
2	Almacenamiento	Ley 18410+DSE 67/2004+DSS-594/99	DFL 323/31 Art. 10 ubicación plantas y gasómetros.	Si, respecto del tipo específico de combustible, y en caso de autoconsumo
3	Tratamiento - Depuración	DSS-594/99	NCh2264.Of2009 Gas natural - Especificaciones NCh 3213.Of2010 Biometano – Especificaciones	Sí, respecto del contenido máximo de contaminantes en el biogás.
4	Transporte /distribución	DSE-280/2009 + DSE-67/20044		Sí, respecto de las limitaciones al tipo de materiales a utilizar.
5	Consumo o uso final			
5.1	En Instalaciones Fijas. Inst. Interiores de Gas y red interior p. abastecer generador eléctrico.	DSE-191/95+DSE-298/05+OC-6433/02	DSE-66/2007+RE 2076/09+RE-1250/09+RE-2076/09+RE-368/08	Sí, respecto de las limitaciones al tipo de materiales a utilizar y contenido máximo de contaminantes.
5.2	Biogás para abastecer vehículos motorizados	DST-211/91 + DST 54/94 NCh 3213 Of 2010	DST-55/88+DST-51/87+DST-211/91 y DST-59/94+RE-65/00 Subs.Transp.	Sí, respecto del contenido máximo de contaminantes en el biogás.

(#) Aún no referenciada su aplicación al biogás en la normativa existente.

DSE: Decreto Supremo de Economía, DSS: Decreto Supremo de Salud, DST: Decreto Supremo de Transportes. Aplican en todo: NCh 3213 Of.2010. Define Biogás, DSS 594/99 Condiciones sanitarias y ambientales. (Ministerio de Energía, 2011)