



UNIVERSIDAD DE CHILE  
Facultad de Economía y Negocios  
Escuela de Economía y Administración

Carrera de Ingeniería Comercial

# ALTERNATIVAS DE USO Y DISPOSICIÓN DE BIOSÓLIDOS Y SU IMPACTO EN LAS TARIFAS DE AGUA

Seminario para optar al Título Ingeniero Comercial Mención  
Administración

Alumnos:

**Javiera Ignacia Rámila Garrido**  
**Sebastián Ignacio Rojas Brockway**

Profesor Guía  
**Reinaldo Sapag Chain**

Santiago, Agosto de 2008

*Agradecemos a todos quienes nos ayudaron a llevar a cabo este trabajo, en especial a nuestro profesor guía, Don Reinaldo, que fue quien nos motivó durante todo el trabajo y siempre estuvo dispuesto a ayudarnos*

## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO.....	7
INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	9
INTRODUCCIÓN .....	9
OBJETIVOS 11	
Objetivo general.....	11
Objetivo específico.....	11
1 CAPITULO I: MARCO TEORÍCO.....	12
1.1 RESEÑA HISTÓRICA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS Y LOS BIOSÓLIDOS.....	12
1.2 DEFINICIONES DE BIOSÓLIDOS.....	13
1.3 EL PROCESO DE TRATAMIENTOS DE AGUAS EN LA RM .....	15
1.3.1 EL PROCESO DE TRATAMIENTO PARA PLANTA LA FARFANA	15
1.3.2 COMPOSICIÓN DE LODOS PLANTA LA FARFANA .....	18
Tabla 1: Composición de biosólidos planta La Farfana. ....	18
1.3.3 EL PROCESO DE TRATAMIENTO PARA PLANTA EL TREBAL ..	19
1.3.4 COMPOSICIÓN DE LODOS PLANTA EL TREBAL .....	21
1.4 ALTERNATIVAS FUTURAS PARA EL PROCESO.....	23
1.4.1 SECADO TÉRMICO COMPLETO.....	23
1.5 SITUACIÓN ACTUAL DE USO Y DISPOSICIÓN EN LA RM.....	27
1.5.1 PLANTA LA FARFANA .....	27
1.5.2 PLANTA EL TREBAL.....	28
1.5.3 PROYECCIONES DE PRODUCCIÓN DE BIOSÓLIDOS .....	29
1.5.4 COSTOS ACTUALES DE DISPOSICIÓN .....	30
1.5.5 IMPACTO AMBIENTAL Y SUSTENTABILIDAD EN EL TIEMPO – CENTRO EL RUTAL .....	30

1.6	SITUACIÓN ACTUAL DE OTRAS REGIONES Y EL EXTRANJERO..	64
1.6.1	SITUACIÓN EN OTRAS REGIONES DE CHILE .....	64
1.6.2	SITUACIÓN EN EL EXTRANJERO .....	64
2	CAPITULO II: ASPECTOS LEGALES .....	69
2.1	Decreto Supremo 123 .....	69
2.2	Disposición en mono relleno .....	71
2.3	DISPOSICIÓN EN RELLENO SANITARIO (Anexo 25).....	71
2.3.1	Ordinario N°6014/1993 de la subsecretaría de salud: .....	71
2.3.2	Versión preliminar del reglamento de rellenos sanitario .....	71
2.3.3	Anteproyecto de reglamento para el manejo de lodos no peligrosos generados en plantas de tratamiento de aguas. ....	72
2.4	CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA.....	72
2.4.1	D.S. N°4/1992 del ministerio de salud (norma de emisión de material particulado para fuentes estacionarias y grupales ubicadas en la RM). ....	72
2.4.2	D.S. N°16/1998, modificado por el D.S. N°20/2000.....	73
2.4.3	D.S. N°58/2003.....	73
2.5	Otras DISPOSICIONES relevantes.....	74
2.5.1	Código Sanitario, DFL N°725/67 del Ministerio de Salud .....	74
2.5.2	Ley 19.300 Bases del Medio Ambiente (1993).....	74
2.5.3	Ordenanza del Plan Regulador Metropolitano de Santiago.....	74
2.5.4	Ley general de servicios eléctricos.....	74
2.5.5	Oficio N°4781, modifica la Ley general de servicios eléctricos .....	74
2.5.6	Decreto Supremo 45 que Establece Norma de Emisión de Incineración y Co-incineración .....	74
3	CAPITULO III: ALTERNATIVAS ACTUALES Y POTENCIALES PARA USO DE BIOSÓLIDOS .....	75

4	CAPITULO IV: ANÁLISIS TÉCNICO PARA ALTERNATIVAS DE USO .....	77
4.1	CONSIDERACIONES PREVIAS.....	77
4.2	OPCIÓN COMO FERTILIZANTE.....	77
	4.2.1 Barreras legales y técnicas.....	77
	4.2.2 Consideraciones generales sobre la aplicación de lodos con fines agrícolas 78	
4.3	OPCIÓN DE INCINERACIÓN.....	79
	4.3.1 Barreras Legales.....	79
	4.3.2 Barreras Tecnológicas (Fuente: Arriagada 2007).....	80
	4.3.3 Sistema de incineración (Fuente: Arriagada 2007).....	80
	4.3.4 Inversión requerida para la Implementación de Incinerador de biosólidos 83	
	4.3.5 Consideraciones para la co-incineración en plantas termoeléctricas 86	
	4.3.6 Consideraciones térmicas.....	87
4.4	OPCIÓN DE FABRICACIÓN DE LADRILLOS CERÁMICOS.....	88
4.5	OTROS MERCADOS.....	99
5	CAPITULO V: MERCADO DE LOS BIOSÓLIDOS PARA LA REGIÓN METROPOLITANA (RM).....	100
5.1	EL MERCADO DE LOS BIOSÓLIDOS PARA USO FORESTAL Y AGRÍCOLA 100	
5.2	EL MERCADO DE LA ENERGÍA (INCINERACIÓN).....	110
	5.2.1 INCINERADORA PARA BIOSÓLIDOS.....	111
	5.2.2 CO-INCINERACIÓN DE BIOSÓLIDOS EN PLANTA TERMOELÉCTRICA.....	114
	<i>El precio pagado por kg de biosólidos.....</i>	<i>117</i>

5.2.3	SOBRE PRECIOS DE ELECTRICIDAD.....	120
5.3	MERCADO DE LADRILLOS .....	122
5.4	OTROS MERCADOS.....	126
6	CAPITULO VI: ANÁLISIS FINANCIERO .....	127
6.1	CONSIDERACIONES GENERALES .....	127
6.2	VALORIZACIÓN PARA USOS AGRÍCOLAS Y FORESTALES.....	128
6.2.1	Consideraciones .....	128
6.2.2	Resultados uso agrícola.....	129
6.2.3	Sensibilización uso agrícola.....	130
6.2.4	Resultados uso forestal.....	130
6.2.5	Sensibilización para el mercado forestal .....	131
6.3	VALORIZACIÓN PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA .....	131
6.3.1	Incinerador para biosólidos .....	131
6.3.2	Co-incineración de biosólidos en plantas termoeléctricas .....	133
6.3.3	Sensibilización para escenario normal .....	134
6.4	VALORIZACIÓN PARA FABRICACIÓN LADRILLOS .....	134
6.4.1	Sensibilización para el mercado de ladrillos.....	135
6.5	RESUMEN DE LOS RESULTADOS .....	136
7	CAPITULO VII: CONCLUSIONES.....	137
	BIBLIOGRAFÍA.....	140
	ANEXOS .....	143

## RESUMEN EJECUTIVO

El tratamiento de aguas servidas, cada vez mayor en nuestro país, genera como resultado del proceso de saneamiento de las aguas realizado en las plantas, dos productos principales: agua tratada, y lodo tratado biológicamente, en adelante “BIOSOLIDO”, que resulta de la separación y tratamiento del componente sólido del líquido, en el proceso de depuración de las aguas servidas.

Del total de las aguas servidas generadas en la cuenca de Santiago, actualmente se trata el 68%. Con el inicio de la operación del proyecto Mapocho Urbano Limpio, éstas aumentarán a 81%. Con el proyecto “Planta Mapocho” (actualmente en trámite en el Sistema de Impacto Ambiental) este porcentaje aumentará a 100%. Se proyecta que para el año 2009 la producción de Biosólidos será de 236.808 toneladas en el año (con 25% de sequedad).

A pesar de que hay nuevos proyectos para la disposición de biosólidos en monorellenos, una instalación dispuesta únicamente para este fin, sus características orgánicas y químicas permitirían su reutilización, evitando así el costo que significa para la empresa sanitaria su transporte y disposición final, y otorgándole un valor económico a este material, por lo tanto, esto tendría un impacto positivo en las tarifas de agua para los consumidores de la región (menor precio). Este será el objetivo de nuestro estudio, ver las alternativas de uso y disposición de biosólidos, y cómo estas alternativas impactan las tarifas de agua reguladas.

Antes de adentrarse en los usos, es importante detenerse en el proceso de tratamiento de aguas y también en factores como los aspectos legales, donde existen versiones propuestas en forma preliminar, que se encuentran en estado de borrador o en consulta pública, y los impactos medioambientales que tiene la disposición de estos biosólidos en monorelleno.

Hecho esto, se analizaron distintas opciones para el reuso de los biosólidos. En primer lugar se estudió un proceso de secado térmico completo de manera de conseguir mejores cualidades en el material. Este proceso no fue considerado para las opciones, debido al proyecto “Centro de Gestión Integral de Biosólidos - El Rutal”,

donde se propone realizar un secado solar con compostaje y biosecado ó secado biológico para todos los biosólidos.

Luego se analizaron el uso como fertilizante agrícola y forestal, su incineración y co-incineración para la generación de electricidad y por último su utilización como materia prima para la construcción de ladrillos cerámicos para la construcción.

Se estudiaron las opciones de manera técnica y luego se evaluaron mediante un análisis financiero, donde se concluye que efectivamente existen oportunidades de reutilización para los biosólidos, y que éstas serían rentables tanto para la empresa sanitaria que podría cobrar un precio por ellos, como para las empresas que los utilicen, que generarán ahorros en sus costos.

Como este estudio se centra en el mercado de los biosólidos, es decir desde el punto de vista de la sanitaria, los resultados se presentan con esta perspectiva, y se muestran a continuación:

VAN Capacidad de pago	Pesimista	Normal	Optimista
Valorización agrícola	0	2.918.151.591	13.580.102.302
Valorización forestal	(280.241.200)	(97.176.400)	168.574.828
Valorización energética – incinerador	0	19.421.822.904	29.827.413.146
Valorización energética - co-incineración	0	10.190.566.394	20.656.067.775
Valorización para fabricar ladrillos	0	3.917.283.708	9.635.333.861
VAN con valor de desecho económico	Pesimista	Normal	Optimista
Valorización agrícola	0	4.373.008.258	20.851.746.334
Valorización forestal	0	0	249.412.931
Valorización energética - incinerador	0	31.167.210.254	47.207.358.435
Valorización energética - co-incineración	0	15.651.732.716	31.707.249.216
Valorización para fabricar ladrillos	0	7.618.348.662	18.676.510.011
Impacto en la tarifa de agua	Pesimista	Normal	Optimista
Valorización agrícola	No cambia	Disminuye	Disminuye
Valorización forestal	Sube	Sube	Disminuye
Valorización energética - incinerador	No cambia	Disminuye	Disminuye
Valorización energética - co-incineración	No cambia	Disminuye	Disminuye
Valorización para fabricar ladrillos	No cambia	Disminuye	Disminuye

Fuente: Elaboración propia

# INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

## INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas servidas, ha ido tomando relevancia en el país desde hace ya casi 10 años. Esta importancia se debe fuertemente al nuevo entorno que ha ido enfrentando el país, en el cual tratamos de alcanzar estándares de calidad de vida de países desarrollados y además del efecto que han tenido los diferentes tratados internacionales que ha firmado el país, los cuales han llevado al país a imponer normas medioambientales más estrictas y en este caso particular, sobre la descarga de aguas servidas en el mar o cursos de agua superficiales o subterráneos.

Esto se puede ver reflejado en que en el año 1998 existían sólo 81 plantas de tratamientos de agua en Chile, con una cobertura del 16,7% de la población, mientras que en el 2007 se incrementaron a 252 y con una cobertura de tratamiento de aguas servidas a nivel país de 82,3% (SISS, 2008), todo esto, en función de la Norma de Emisión de Residuos Líquidos a Aguas Marinas y Continentales Superficiales y la Agenda País.

En el caso particular de la RM, actualmente existen dos macro-plantas de tratamientos de aguas servidas en operación; La Farfana y El Trebal, y pronto entrará en operación una tercera planta llamada Mapocho, éstas, en conjunto con pequeñas plantas, pretenden sanear el 100% de las aguas servidas de la región de aquí al 2010.

La operación de plantas de tratamiento de aguas servidas parte con la entrada de agua, la cual se separa de los lodos y estos finalmente son centrifugados, obteniéndose un producto con una humedad de cerca del 60% los cuales pueden ser secados por métodos adicionales como secados solares y térmicos, los cuales pueden llevar a este "lodo" a un nivel de humedad de entre 5% y 40% (dependiendo de la tecnología que se use). Este proceso genera una gran cantidad de estos lodos, mejor conocido como *biosólidos*.

Los biosólidos o lodos de plantas de tratamientos de aguas servidas, son residuos sólidos, semisólidos o líquidos, que se obtienen a partir del tratamiento de

estas aguas y son ricas en materia orgánica, bacterias, minerales y químicos, algunos nocivos como el arsénico y el mercurio, y otros muy beneficiosos como el nitrógeno y el fósforo. Estos biosólidos, pueden ser nocivos para la salud por la presencia tanto de químicos, virus y bacterias, que pueden causar enfermedades, es por esto que los biosólidos requieren de un manejo adecuado para prevenir eventuales impactos negativos para la salud humana y para el medio ambiente.

Pero a su vez, estos biosólidos poseen un alto contenido en materia orgánica, los cuales pueden contribuir a mejorar las condiciones físicas de los suelos (CONAMA, 2006) y también poseen un alto contenido energético, el cual está presente tanto en el biosólido (el lodo residual) como en el biogás (con un alto contenido en gas metano) que genera durante su tratamiento, el cuál puede usarse como combustible a través de la incineración de éste o codisponerse junto a otros combustibles fósiles como son el carbón y el petcoke para la producción de energía. A su vez, se han descubierto nuevos usos, como la fabricación de ladrillos con biosólidos lo cual supone una gran cantidad de reciclaje de éstos.

Actualmente, los biosólidos no están siendo usados para ningún uso benéfico y en su mayoría están siendo llevados principalmente a monorellenos, lo cuales son usados de forma exclusiva para la disposición final de biosólidos, o rellenos sanitarios en los cuales se codisponen los biosólidos con residuos sólidos domiciliarios.

Esto supone un problema ambiental no menor, ya que acorta la vida útil de los rellenos sanitarios y la disposición de éstos en monorellenos está limitado por la capacidad de éstos. Y además se está perdiendo la posibilidad de reutilizar un producto que puede llegar a ser valioso de muchas formas, incluso pudiendo tener un valor de mercado, el cuál pueda afectar de forma positiva a las tarifas de agua (reducción de la tarifa).

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Evaluar la factibilidad y realizar análisis económico de los posibles usos de los biosólidos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas y determinar el impacto de estos usos en las tarifas de agua

### **Objetivo específico**

- Explicar las opciones económicamente evaluadas ya existentes para el tratamiento de los biosólidos de las plantas de la RM.
- Explicar las opciones técnicamente estudiadas para el uso de los biosólidos.
- Explicar posibles nuevos procesos que podrían aportar al mejoramiento de las opciones técnicamente estudiadas anteriormente.
- Identificar las restricciones, normas y regulaciones legales que afectan las diferentes opciones.
- Establecer análisis económicos a los estudios técnicos, y a los mismos con los nuevos procesos, de manera de evaluar su factibilidad económica y costos asociados a las opciones.
- Realizar una jerarquización de las opciones según su viabilidad económica.
- Determinar el impacto de la realización de la mejor opción en las tarifas de agua.

# 1 CAPITULO I: MARCO TEORÍCO

## 1.1 RESEÑA HISTÓRICA DEL TRATAMIENTO DE AGUAS Y LOS BIOSÓLIDOS

Fue en 1665, cuando una gran plaga (peste negra) mató a más de 60 mil londinenses. Todo parte cuando a fines del siglo XVI el rey Henrique VIII decretó que cada habitante de Londres, debía limpiar su propia alcantarilla. Estos estándares de higiene se mantuvieron y llevaron a que las aguas se contaminaran y mucha gente enfermara de enfermedades como cólera, fiebre tifoidea y hepatitis. Esta situación empeoró con los siglos, ya que no se realizó ningún cambio en el sistema y fue la llegada de la revolución industrial lo que desencadenó un cambio. La masiva llegada de trabajadores desde las granjas a la ciudad a mediados de 1800, generó un aumento en la densidad de la población con los consiguientes problemas de higiene que esto traía: los gases liberados por en las alcantarillas era explosivo y en caso de lugares cerrados mataba a las personas mientras dormían, los alcantarillados colapsaron, había malos olores y desechos por las calles, la gente bebía agua del río sin ser tratada.

La solución a estos problemas vino con diluir los excrementos en agua y tirarlos en un sistema de alcantarillados centrales, los cuales posteriormente serían lanzados al río con la marea alta (Gayman, 1996)

Esto funcionó hasta que se empezó a criticar este sistema de “dilución como solución” para la contaminación a principios del siglo XX, ya que los ríos y lagos no daban abasto para la cantidad de aguas servidas que se vertían en ellos. Fue en 1924 cuando la ciudad de Nueva York empezó a bombear estos residuos al mar a 12 millas de la bahía, sesenta años después la EPA (Agencia de Protección Ambiental ó Environmental Protection Agency de Estados Unidos) de Estados Unidos determinó que las aguas habían sido seriamente dañadas y por lo tanto las aguas servidas deberían ser vertidas a 106 millas de distancia, pero no fue hasta el año 1980, en donde se veían jeringas y agujas de hospitales flotando en las playas que se le tomó seriedad al tema y en 1988 el Congreso de Estados Unidos prohibió lanzar aguas servidas al mar. En 1992 se registró el nombre de Biosólidos, para reemplazarlo por el de “lodos de

aguas servidas” (sewage sludge en inglés), como una campaña para cambiar la imagen que tenía de desecho por la imagen de un producto que podía ser reutilizado benéficamente para otros usos, como el forestal y el agrícola<sup>1</sup>

## 1.2 DEFINICIONES DE BIOSÓLIDOS

Los biosólidos son definidos por la EPA como “residuos sólidos, semisólidos o líquidos generados durante el tratamiento de aguas servidas domiciliarias. Los biosólidos incluyen las escorias ó sólidos removidos durante el tratamiento primario, secundario o avanzado del proceso de tratamiento de aguas servidas y cualquier material derivado de los lodos, excepto las gravillas o cenizas generadas durante el proceso de incineración“ (EPA, 1994).

En la legislación chilena no existe reglamento vigente sobre el uso y aplicación de biosólidos, pero existe un proyecto de reglamento que pretende normar su uso. En este caso, se usa la palabra “lodo” como sinónimo de biosólido y para lo que resta de este informe, se usarán indistintamente como sinónimos al menos que se haga un excepción previamente declarada. Estos están definidos como “basura, desecho o residuo semisólido que hayan sido generados en plantas de tratamientos de aguas” (CONAMA, 2006). Además hace diferencia entre distintos tipos de lodos:

- Lodos Clase A: Lodo sin restricciones sanitarias para aplicación a suelo. En este punto, la EPA es más específica, al denominarlos “Exceptional Quality Biosolids (EQ) ó Biosólidos de Calidad Excepcional, que son aquellos biosólidos que son poco contaminantes y tienen reducción de patógenos Clase A (virtual ausencia de patógenos) y que han reducido el nivel de componentes degradables que atraen vectores<sup>2</sup>(EPA 1994).

---

<sup>1</sup> Para algunas personas, este punto es conflictivo, ya que existían conflictos de intereses entre administradores de la EPA con empresas de fertilizantes. Estos autores afirman de que el uso agrícola no es benéfico y que no se sabe con certeza los daños que puede causar en los seres humanos, debido a la poca investigación de los efectos nocivos que estos puedan causar.

<sup>2</sup> Organismos capaces de transportar y transmitir agentes infecciosos tales como roedores, moscas y mosquitos (CONAMA, 2006)

- Lodos Clase B: Lodo apto para aplicación al suelo, con restricciones sanitarias de aplicación según tipo y localización de los suelos o cultivos. La EPA los denomina como “Pollutant Concentration Biosolids”(PC) y los define como aquellos biosólidos que también logran los mismos bajos límites de concentración de contaminantes que los EQ, pero sólo logran una reducción de patógenos Clase B y/o están sujetos a la administración en el sitio mismo, más que como una alternativa de tratamiento para reducir vectores.
- Lodo Crudo: Lodo proveniente de la decantación primaria
- Lodo Estabilizado: Lodo con reducción del potencial de atracción de vectores sanitarios

Otras definiciones que pueden ser importantes son:

- Aplicación de lodos a suelo: Procedimiento de eliminación mediante la incorporación de lodos al suelo, o mezcla de lodos con suelo, mediante el uso de equipos adecuados. La idea de esto, es usar el biosólido como un abono para enriquecer el suelo de forma tal de que aumente la productividad agrícola y forestal entre otras.
- Disposición Final: Procedimiento de eliminación mediante el depósito definitivo de lodos con tratamiento, en rellenos sanitarios o mono-rellenos. La aplicación de lodos a suelo o cualquier uso en donde éstos sean reciclados, no se considerará disposición final.
- Mono-rellenos para biosólidos: Instalación exclusiva para la disposición final de biosólidos.
- Relleno sanitario: Instalación para la disposición final de residuos sólidos domiciliarios. Es importante considerar de que muchos biosólidos son llevados a estos rellenos sanitarios, los cuales son tratados de forma separada con los residuos sólidos y luego son mezclados con éstos.

### 1.3 EL PROCESO DE TRATAMIENTOS DE AGUAS EN LA RM

Del total de las aguas servidas generadas en la cuenca de Santiago, actualmente se trata el 68%. Con el inicio de la operación del proyecto Mapocho Urbano Limpio, éstas aumentarán a 81%. Con el proyecto “Planta Mapocho” (actualmente en trámite en el Sistema de Impacto Ambiental) este porcentaje aumentará a 100%.

#### 1.3.1 EL PROCESO DE TRATAMIENTO PARA PLANTA LA FARFANA

La planta de Tratamiento de Aguas Servidas (PTAS) La Farfana está ubicada en el sector llamado La Farfana, al noroeste de Maipú. La planta está diseñada para tratar las aguas servidas generadas por cerca del 50% de la población total de Santiago. La planta se inauguró en Octubre de 2003 y actualmente está en su sexto año de operación.

El sistema de tratamiento corresponde a un lodo activado convencional con digestión anaeróbica. A continuación, se presenta una lista de las unidades principales de proceso:

***Línea de agua:***

- Estación de bombeo de entrada
- Tratamiento preliminar, consistente en 6 rejas mecánicas gruesas seguidas por 6 rejas mecánicas finas. La remoción de grasa y arena se realiza en 6 canales horizontales aireados.
- Sedimentación primaria, mediante 16 estanques de sedimentación, de forma rectangular.
- Tratamiento secundario, que incluye 16 estanques de aireación y 16 clarificadores circulares secundarios.
- Desinfección, mediante 4 estanques de contacto para la desinfección con gas cloro.

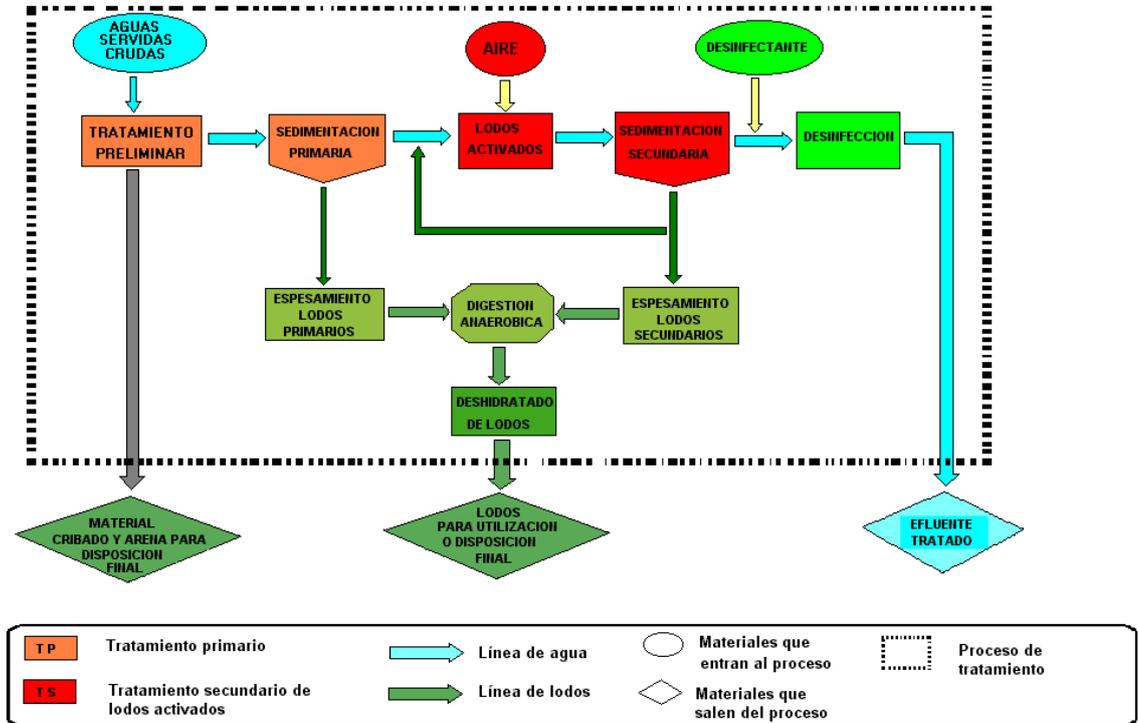
- La planta está diseñada para cumplir con la legislación actual de descarga a cuerpos superficiales sin dilución (D.S. N°90/2000 del Ministerio Secretaría General de la Presidencia).

***Línea de lodos:***

- Espesamiento de lodos primarios, mediante 4 espesadores gravitacionales primarios que reciben el lodo extraído de los estanques de sedimentación primaria.
- Espesamiento de lodos secundarios: el lodo activado en exceso (SAS) se espesa en 6 unidades de flotación por aire disuelto.
- Digestión anaeróbica: tanto el lodo primario espesado como el lodo secundario espesado se mezclan y envían a la digestión anaeróbica. Hay 8 digestores anaeróbicos en la planta.
- Almacenamiento de lodo digerido, mediante 3 estanques de almacenamiento.
- Deshidratado, mediante 5 centrifugas.
- 10 hectáreas para secado de lodos.
- 10 hectáreas para disposición final en mono-relleno.

Ambas líneas de proceso descritas se resumen en la figura 1:

Figura 1: Proceso de tratamiento de aguas



Fuente: Halcrow 2004

### 1.3.2 COMPOSICIÓN DE LODOS PLANTA LA FARFANA

**Tabla 1:** Composición de biosólidos planta La Farfana.

Parámetro	Unidad	Expresión	Promedio PTAS Farfana Año 2007	Proyecto de Reglamento en Chile	Directiva Europea 278/86	EEUU EPA 503
<b>Valor Agronómico</b>						
Sólidos totales	% M.S	ST	25	No normado	No normado	No normado
M. Orgánica	% SV	MO	59	No normado	No normado	No normado
Nitrógeno	% MS	NKT	5,4	No normado	No normado	No normado
Anhídrido Fosfórico	% MS	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5,7	No normado	No normado	No normado
Potasio	% MS	K <sub>2</sub> O	Sin información	No normado	No normado	No normado
<b>Micronutrientes</b>						
Cobre	mg/Kg M.S.	Cu	422	< = 1.200	1.000-1.750	1.500
Zinc	mg/Kg M.S.	Zn	1.414	< = 2.800	2.500-4.000	2.800
Fierro	mg/Kg M.S.	Fe	Sin información	No normado	No normado	No normado
<b>Metales</b>						
Arsénico	mg/Kg M.S.	As	7	< =40	NN	41
Cadmio	mg/Kg M.S.	Cd	2	< =40	20-40	39
Mercurio	mg/Kg M.S.	Hg	2	< = 20	16-25	17
Níquel	mg/Kg M.S.	Ni	43	< = 420	300-400	420
Plomo	mg/Kg M.S.	Pb	66	< = 400	750-1.200	300
Selenio	mg/Kg M.S.	Se	3	< = 100	-	36

Otros Parámetros de interés			
Cenizas	%		30
Poder Calorífico Inferior (1)	Kcal/kg	PCI	2.700

(1): Valor promedio de biosólidos con un % de sequedad de 70%.

### **1.3.3 EL PROCESO DE TRATAMIENTO PARA PLANTA EL TREBAL**

La Planta de Tratamiento de Aguas Servidas "El Trebal" entró en operación a fines del año 2001, tiene una capacidad de proceso de 4,4 m<sup>3</sup>/seg., y su propósito es el de tratar las aguas servidas correspondientes a aproximadamente un 20% de la población de la zona sur de Santiago, permitiendo mejorar calidad de vida, entorno ambiental y producción agrícola de la zona.

La Planta está ubicada en la localidad de El Trebal, situada en el sector norponiente de la comuna de Padre Hurtado, en la ribera norte del río Mapocho. La superficie del terreno es de 90,5 hectáreas, limita al norte, oriente y poniente con una cadena de cerros de mediana altura, en tanto por el sur limita con el río Mapocho.

El diseño de la Planta permite el tratamiento físico, biológico y bacteriológico del agua y de los lodos producidos, de tal forma que el agua tratada queda apta para regar todo tipo de cultivos. Los lodos, a su vez permitirán ser reaprovechados en recuperación de suelos.

El monto de inversión en la Planta fue de 150 millones de dólares. La zona cuyas aguas servidas son tratadas corresponde fundamentalmente a la zona sur y sur poniente de Santiago, las que con anterioridad al año 2002 descargaban sin ningún tipo de tratamiento en los ríos Maipo y Mapocho.

#### **Descripción y dimensionamiento de la PTSS**

El agua servida afluyente a la PTSS es conducida a través de un conjunto de procesos unitarios que remueven los distintos contaminantes, hasta obtener la calidad deseada en el efluente. Al remover los contaminantes del agua, se generan residuos con alto contenido de sólidos, denominados lodos. En la línea de todos, ellos siguen un proceso separado que permite concentrarlos y estabilizarlos, antes de su disposición final. A continuación, se describe brevemente los procesos incluidos en la línea de agua, en la línea de lodos, y en la disposición final de los lodos.

### ***Línea de agua***

- Tratamiento preliminar: incluye la remoción de sólidos gruesos y arenas mediante baterías de rejillas gruesas y finas, y desarenadores aireados.
- Tratamiento primario: el afluente al tratamiento primario se hace circular a través de estanques de gran tamaño. En ellos, la velocidad del flujo es reducida, de modo que los sólidos sedimentables alcanzan a depositarse sobre el fondo, permaneciendo en suspensión la fracción más fina.
- Tratamiento secundario: el agua proveniente del tratamiento primario es conducida a un estanque de aireación, en donde existen microorganismos que utilizan como alimento la materia orgánica disuelta. El efluente del estanque de aireación consiste de materia en suspensión -compuesta de una gran población de microorganismos- y de un líquido con pocas sustancias orgánicas disueltas. Esta mezcla es enviada a los sedimentadores secundarios, que separan el material suspendido de la fase líquida, generando un lodo secundario. Parte del lodo secundario es recirculado al estanque de aireación, con el fin de mantener allí una cantidad de biomasa adecuada, el resto del lodo secundario es incorporado a la línea de lodos.
- Desinfección: el efluente del sedimentador secundario contiene aún microorganismos, siendo posible que algunos sean patógenos. Por lo tanto, se agrega un desinfectante, que en el caso de la PTSS es cloro gaseoso. Esta mezcla se realiza en los Estanques de mezcla rápida y de contacto con cloro.

### ***Línea de lodos***

- Espesamiento: los sólidos removidos en el tratamiento secundario se llevan a espesadores de banda por gravedad, que los concentran a un 5% de materia sólida.
- Digestión anaeróbica: los lodos son bombeados a los digestores anaeróbicos, en donde se desarrollan bacterias en un ambiente sin oxígeno disuelto (bacterias anaeróbicas). Ellas consumen la materia orgánica y producen metano y dióxido de carbono. Una fracción del metano producido es utilizada

para mantener la temperatura de los digestores a niveles de 35 °C; y la otra es quemada.

- Deshidratación (secado de lodos): la humedad de los lodos digeridos (estabilizados) es reducida mediante centrífugas de un 95% a un 75%, aproximadamente. Luego, se utilizan canchas de secado (secado de lodos al aire libre), que permiten obtener humedades del orden del 35%.
- Si se considera la línea de agua y la línea de lodos como un conjunto, se observa que los principales materiales e insumos que entran al proceso de tratamiento son: las aguas servidas, el aire, los reactivos químicos (cloro gaseoso, polímeros) y la energía eléctrica, en tanto, los principales materiales que salen del proceso de tratamiento son: el efluente tratado, los lodos digeridos y secos, las emisiones gaseosas (combustión del biogás producido en los digestores), y las arenas y material grueso retenido en el tratamiento preliminar.

#### **1.3.4 COMPOSICIÓN DE LODOS PLANTA EL TREBAL**

**Tabla 2:** Composición de lodos planta El Trebal

Parámetro	Unidad	Expresión	Promedio PTAS Trebal Año 2007	Proyecto de Reglamento en Chile	Directiv a Europea	EEUU
					278/86	EPA 503
<b>Valor Agronómico</b>						
Sólidos totales	% M.S	ST	75	No normado	No normado	No normado
M. Orgánica	% SV	MO	44	No normado	No normado	No normado
Nitrógeno	% MS	NKT	3,5	No normado	No normado	No normado
Anhídrido Fosfórico	% MS	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	5,8	No normado	No normado	No normado
Potasio	% MS	K <sub>2</sub> O	0,3	No normado	No normado	No normado
<b>Micronutrientes</b>						
Cobre	mg/Kg M.S.	Cu	531	< = 1.200	1.000- 1.750	1.500
Zinc	mg/Kg M.S.	Zn	1.281	< = 2.800	2.500- 4.000	2.800
Fierro	mg/Kg M.S.	Fe	21.520	No normado	No normado	No normado
<b>Metales</b>						
Arsénico	mg/Kg M.S.	As	14	< =40	NN	41
Cadmio	mg/Kg M.S.	Cd	3	< =40	20-40	39
Mercurio	mg/Kg M.S.	Hg	1	< = 20	16-25	17
Níquel	mg/Kg M.S.	Ni	74	< = 420	300-400	420
Plomo	mg/Kg M.S.	Pb	59	< = 400	750- 1.200	300
Selenio	mg/Kg M.S.	Se	4	< = 100	-	36

Otros Parámetros de interés			
Cenizas	%		30
Poder Calorífico Inferior (1)	Kcal/kg	PCI	2.700

(1): Valor promedio de biosólidos con un % de sequedad de 70%

## 1.4 ALTERNATIVAS FUTURAS PARA EL PROCESO

### 1.4.1 SECADO TÉRMICO COMPLETO

El sistema de secado térmico de lodos que cuenta con mayores instalaciones en el Reino Unido es el secado por tambor rotatorio, que es la que se considera en este estudio debido a su mayor aplicación y experiencia.

La planta de secado térmico será multi-líneas, con calentamiento del lodo en forma directa con quemadores de gas, lo que permite secar el lodo al 90% SS, siendo sometido a temperaturas que exceden los 200°C. La planta de secado térmico debiera ser operada utilizando el biogás generado en los digestores existentes, en tanto que el calor residual del condensador del secador debiera ser utilizado para calentar los digestores.

Esta opción abarca:

- Planta de secado de lodos (tres líneas)
- Embolsado y almacenamiento del producto (lo máximo posible)
- Sistema de recuperación del calor
- Suministro de gas para ser combinado con biogás proveniente de la digestión anaeróbica
- Modificaciones en el sistema de alimentación eléctrica del área
- Obras civiles relacionadas
- Edificio de control y administración

#### ***Riesgos asociados a la seguridad de la tecnología de secado de lodos***

Existen variaciones en los riesgos de inseguridad asociados a diferentes tecnologías de secado, y además a la calidad del material que se maneja.

Los riesgos más comunes se describen a continuación.

*Riesgos de seguridad asociados con el gas del lodo:*

El lodo húmedo como mecánicamente deshidratado se descompone bajo condiciones anaeróbicas durante las cuales se forman principalmente los gases CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en una proporción aproximada de 65/35. Cuando el producto gaseoso se mezcla con el aire del ambiente, se puede superar el umbral inferior explosivo para metano (4.4 vol%) y aumenta el riesgo de explosión de gas.

En general, la tasa de generación de gas depende del contenido de sólidos volátiles, del contenido de materia seca y de la temperatura del lodo. A temperaturas inferiores a 30°C, la tasa de descomposición se reduce significativamente.

Resulta importante notar que la energía de chispa requerida para encender el gas es significativamente menor que la requerida para encender una nube de polvo.

#### *Riesgos de seguridad asociados con el almacenamiento de lodos secos*

Este riesgo está asociado a que el lodo seco con valor calorífico particularmente alto es altamente combustible. Por otra parte, la humedad que contiene puede evaporarse y luego rehumedecer el lodo, permitiendo bajo ciertas condiciones el autocalentamiento biológico que lleva a provocar incendios.

#### *Riesgos de seguridad asociados con el polvo*

### **Factibilidad**

#### *Ubicación*

La instalación de secado puede estar ubicada en la planta de tratamiento La Farfana, luego del procesos de deshidratado de lodos.

#### *Compatibilidad don el proceso de tratamiento existente*

Esta instalación requerirá electricidad y combustibe para los quemadores. Esto puede requerir la conducción de biogás desde los digestores a la planta de secado. No se prevén dificultades técnicas en combinar esto con el proceso existnte de tratamiento.

#### *Operación y manejo*

La experiencia de varias compañías y concesionarios de agua en el mundo debería considerarse para implementar esta opción en la planta de tratamiento de La Farfana. La experiencia incluye:

Asegurar un adecuado desbaste, con un costo relativamente bajo, para facilitar la operación y mantener el cumplimiento con los requerimientos relevantes utilizados en Inglaterra para secado de lodos. Nuevamente, la digestión anaeróbica facilita esto.

Asegurar una máxima compensación y facilidad de operación, operando la instalación de secado de lodos 24 horas por día, 7 días a la semana.

Mediciones directas de disponibilidad, consumo energético para calor y cumplimiento HACCP para asegurar que la calidad de producto cumpla una calidad apta para reutilización agrícola.

#### *Gas y electricidad*

Los secadores requieren de grandes cantidades de gas y electricidad para su funcionamiento. El gas puede provenir del biogás del digestor y se utiliza para encender en forma directa los quemadores del secador. El calor residual proveniente de los secadores (mediante la unidad de condensación) se puede utilizar para calentar los digestores.

La cantidad de energía disponible de los digestores de la planta de tratamiento de aguas servidas de La Farfana se calculó a través de las cifras de diseño de Degremont. Los cálculos, que utilizan los valores de invierno para la producción de biogás, se describen a continuación. Los volúmenes excedentes que se indican en la tabla corresponde a la producción total de biogás menos el consumo de biogás en calentar los lodos y menos el consumo de biogás para las pérdidas térmicas.

**Tabla 3:** Volúmenes de producción de biogás.

Parámetro	Valor	Unidad	Fuente
Valor calorífico	5263	kcal/m <sup>3</sup>	cifra de diseño de Degremont
Volumen de gas excedente (Verano)	77372	nM <sup>3</sup> /d	cifra de diseño de Degremont
Volumen de gas excedente (Invierno)	50164	Nm <sup>3</sup> /d	cifra de diseño de Degremont
Eficiencia térmica del secador	1	kWh.kg <sup>-1</sup>	Según costos
Capacidad evaporativa	17	ton/hora	Según costos
Horas operativas	6500	horas/año	Según costos
Energía calórica calculada requerida por año	110500000	kWh por año	
Calor disponible (Invierno)	264013132	kcal/día	
Conversión kcal a kWh	0,001163		Perry's Chemical Engineer's Handbook 7th Ed
Calor disponible (Invierno)	112072254	Kwh por año	

Las cifras preliminares indican que existe suficiente energía calórica disponible en el biogás incluso en invierno para un sistema de secado de encendido directo, no obstante lo anterior, este sistema necesitará suplementarse con calderas diesel de reserva, lo cual se incluye en los costos operativos que consideran que un 10% del consumo de energía no provenga del biogás.

### ***Riesgo ambiental***

Impone un riesgo adicional por generación de olores, que se considera mínimo.

Generación de ruidos de alta frecuencia, lo que se limitaría al implementarse en un lugar cerrado.

La emisión de material particulado cumple con la norma de emisión para la RM.

Esta opción brinda mayor flexibilidad para las opciones de disposición:

- Ruta verde: Reciclado completo del lodo. Incluye agricultura, silvicultura y horticultura.
- Ruta café: Uso del producto como fuente de combustible.
- Ruta roja: Disposición que no incluye reciclado. Incluye mono-relleno y relleno sanitario.

## **Tiempos**

La instalación y puesta en marcha del secador térmico tomará 3 años como mínimo para su correcto funcionamiento, según la experiencia obtenida por los operadores de agua en el Reino Unido, como ser Anglian Water y Southern Water. Existen costos de reemplazo de capital significativos programados sobre una base de 15 años de vida para equipamientos electromecánicos.

## **1.5 SITUACIÓN ACTUAL DE USO Y DISPOSICIÓN EN LA RM**

### **1.5.1 PLANTA LA FARFANA**

#### ***Producción de lodos***

La Farfana produce 450 ton/día al 25% de sólidos secos. O bien 111 ton SS/día (SS = sólidos secos) (EIA La Farfana).

**Tabla 4:** Producción proyectada de biosólidos planta La Farfana

Año	Total ton/día en base seca	Total ton/día 70% SS	Total ton/día 60% SS	Total ton/día 25% SS (base húmeda)
2004	111	159	185	444
2010	150	214	250	600
2027	157	224	262	628

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Del Carmen y Aguas Andinas 2006

#### ***Disposición final de lodos***

El lodo deshidratado se traslada un área del mono-relleno, donde se acumulaban volúmenes pequeños y luego se transfería a un camión para su transporte a un relleno sanitario operado por KDM (Loma Los Colorados).

El lodo sale de La Farfana con 25% S y se lleva al relleno sanitario de KDM, donde se deposita en una cancha temporal de secado para alcanzar un 40% SS, antes de su disposición final conjunta con residuos domésticos en celdas del relleno sanitario. Aguas Andinas actualmente cancela a KDM por el servicio completo, que incluye transporte, operación de una cancha exclusiva de secado (ubicada en el mismo

sitio del relleno sanitario), logro del contenido seco requerido y disposición en celdas del relleno sanitario.

## 1.5.2 PLANTA EL TREBAL

### *Producción de lodos*

**Tabla 5:** Producción proyectada de biosólidos planta El Trebal

Año	2000	2010	2024
Producción de lodos expresados como peso seco (ton/día)	60	90	110
Producción de lodos considerando un contenido final de 60% de sólidos (ton/día)	100	150	180
Flujo de camiones (nº camiones/día)*	4	6	8

(\*) Considerando camiones de 25 toneladas de capacidad  
Elaboración propia en base a datos de EIA El Trebal

### *Disposición final de lodos*

Los biosólidos que salen de las centrifugas, en una cantidad del orden de 200 toneladas diarias y con una humedad de 75%, son conducidos a la cancha de secado para ser deshidratados durante los meses de calor (Septiembre a Abril normalmente), hasta obtener un 35% de humedad, luego son dispuestos en el Monorrelleno ubicado junto a la Planta.

Durante los primeros cuatro años de operación de la PTAS El Trebal, Aguas Andinas ha desarrollado estudios y experiencias tendientes a mejorar en términos generales la gestión de la Planta y en forma particular el manejo y gestión de los biosólidos, y a promover su reutilización benéfica.

Así, tal como lo establece textualmente el Considerando 7.1 de la Resolución Exenta N°081-A/98: ***“Debido a que la evaluación del Monofill se realizó considerando una duración de 5 años, al cabo de los cuales el titular evaluará su ampliación u otras modalidades de disposición, se debe recordar que esto se constituye en una modificación de proyecto, que deberá ingresar – independientemente– al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental, si corresponde”***; Aguas Andinas se encuentra en condiciones de presentar los

antecedentes necesarios para obtener los permisos ambientales, para una serie de proyectos de mejora y cambios en la gestión de lodos de la PTAS El Trebal.

Estos proyectos pretenden en lo referente a biosólidos:

- a) desarrollar la operación del secado biológico de lodos,
- b) proponer alternativas de reuso y disposición final de los biosólidos,
- c) ampliar los usos y manejo del monorrelleno, y redefinir su vida útil de acuerdo al criterio de capacidad máxima, y

Además, se presenta una proposición para contar con autorización para recibir en la PTAS El Trebal, residuos industriales líquidos (RILES) provenientes de fuera del área de concesión de la Compañía, así como descargas provenientes de sistemas de alcantarillado privado (camiones limpia fosa).

### **1.5.3 PROYECCIONES DE PRODUCCIÓN DE BIOSÓLIDOS**

Existen actualmente algunas proyecciones de producción de biosólidos, la información que disponemos nos muestra la producción de biosólidos proyectada hasta el año 2017. Esta producción a partir del año 2018, la hacemos crecer al 1%, un valor inferior pero cercano al 1,38% que crece entre el 2015-2016 y el 2016-2017. En la tabla se muestran los resultados de la producción conjunta, como se aprecia el fuerte aumento entre el año 2009 y 2010, se debe a la pronta entrada en operación de la macro planta Mapocho.

**Tabla 6:** Producción proyectada de biosólidos en la RM

Año	Total ton/año en base seca	Total ton/año 70% SS	Total ton/año 60% SS	Total ton/año 25% SS (base húmeda)	Crecimiento
2009	59.202	84.574	98.670	236.808	-
2010	87.155	124.507	145.258	348.620	32,1%
2011	88.468	126.383	147.447	353.872	1,48%
2012	89.779	128.256	149.632	359.116	1,46%
2013	91.113	130.161	151.855	364.452	1,46%
2014	92.418	132.026	154.030	369.672	1,41%
2015	93.751	133.930	156.252	375.004	1,42%
2016	95.099	135.856	158.498	380.396	1,42%
2017	96.428	137.754	160.713	385.712	1,38%
2018	97.392	139.132	162.320	389.569	1,0%
2019	98.366	140.523	163.944	393.465	1,0%
2020	99.350	141.928	165.583	397.399	1,0%
2021	100.343	143.348	167.239	401.373	1,0%
2022	101.347	144.781	168.911	405.387	1,0%
2023	102.360	146.229	170.600	409.441	1,0%
2024	103.384	147.691	172.306	413.535	1,0%

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Erazo 2007 y Aguas Andinas 2006

#### 1.5.4 COSTOS ACTUALES DE DISPOSICIÓN

Actualmente, los costos del proceso de disposición final, están basados en el valor cobrado por la empresa KDM que opera el relleno sanitario de Til-Til, a Aguas Andinas por el transporte desde la planta de tratamiento de agua hasta el relleno sanitario. El transporte de biosólidos actualmente tiene un costo que bordea los 75 a 80 \$/Km x ton, y el costo de disposición en el relleno sanitario es de \$8.000 ton masa húmeda.

#### 1.5.5 IMPACTO AMBIENTAL Y SUSTENTABILIDAD EN EL TIEMPO – CENTRO EL RUTAL

A modo de conocer cuáles son los impactos ambientales que tiene la actual disposición de biosólidos, usaremos el proyecto “Centro de Gestión Integral de Biosólidos – El Rutal” (CGIB), perteneciente a Aguas Andinas, para el manejo, acondicionamiento, reuso y disposición final de biosólidos provenientes de plantas de tratamiento de aguas servidas.

Para complementar la gestión integral de los biosólidos, Aguas Andinas dispone del fundo El Rutal, con una superficie aproximada de 1.900 hectáreas, con acceso en el kilómetro 58,5 de la ruta 5 Norte, comuna de Til Til, próximo a los poblados de Rungue y Montenegro. En este sector se ubicará el Centro de Gestión Integral de Biosólidos (CGIB), que, si la situación lo amerita, podría recibir hasta del orden de 1.000 toneladas diarias de biosólidos, capacidad suficiente para aceptar todos los biosólidos generados en las plantas de tratamiento de Aguas Andinas. Al interior del CGIB se acondicionarán los biosólidos recibidos, ya sea para reuso al interior del predio, para su reuso externo, o para su disposición final al interior del predio o en relleno sanitario autorizado.

El acondicionamiento de biosólidos podrá realizarse mediante secado solar durante el período estival o secado biológico (biosecado) durante períodos fríos o lluviosos. La disposición final al interior del predio se realizará en un monorrelleno.

**Tabla 7:** Lista de componentes y factores potencialmente afectados

Componentes	Factores
<b>Medio Físico</b>	
Aire	1. Material Particulado respirable 2. Gases atmosféricos 3. Olores 4. Ruido y vibraciones
Agua	5. Caudal del escurrimiento superficial 6. Calidad del escurrimiento superficial 7. Calidad del agua subterránea
Suelo	8. Calidad del suelo 9. Geología, geomorfología y desastres naturales
<b>Medio biótico</b>	
Vegetación y flora	10. Árboles 11. Praderas, cultivos y plantaciones
Fauna	12. Fauna
<b>Medio humano, Medio construido, Uso de elementos del medio ambiente, Patrimonio cultural y paisaje</b>	
Medio humano	13. Dimensión socioeconómica 14. Salud
Medio construido	15. Infraestructura 16. Nivel de tránsito vehicular 17. Eventuales accidentes durante transporte
Uso del suelo	18. Cambio de uso del suelo
Patrimonio cultural	19. Patrimonio histórico y arqueológico
Paisaje	20. Visibilidad, calidad y fragilidad del paisaje

La evaluación de impacto ambiental se efectúa considerando las distintas etapas del proyecto:

- Construcción (C).
- Operación y mantenimiento (OM).
- Cierre de los monorrellenos.

Debe señalarse que no se contemplan actividades de cierre y abandono de las instalaciones del proyecto, ya que éstas no se abandonarán, y sólo se ampliarán, repondrán y/o reemplazarán.

La excepción a lo anterior esta constituido por los monorrellenos, los cuales se irán construyendo y cerrando, en la medida que se utilice su capacidad de recepción de biosólidos.

### ***Análisis y calificación de impactos***

Este análisis se efectuó de acuerdo a los siguientes criterios:

- **Carácter (positivo o negativo):** indica si el impacto mejora o deteriora la condición basal.
- **Certidumbre (cierto, probable o improbable):** indica la probabilidad de ocurrencia del impacto.
- **Tipo (primario, secundario):** señala si el impacto se manifiesta directa o indirectamente sobre uno o más factores ambientales, si es sinérgico o acumulativo.
- **Reversibilidad (reversible o irreversible):** indica si el impacto es o no reversible.
- **Magnitud (elevada, media o baja):** refleja el grado de alteración de un componente ambiental y la extensión del impacto o área afectada.
- **Duración (temporal o permanente):** indica el tiempo de duración del impacto.

**Tabla 7: Criterios de calificación de impactos**

Tipo de impacto	Definición
<b>Positivo Relevante</b>	Corresponden a los Impactos Positivos Elevados o Medios.
<b>Positivo Menor</b>	Corresponden a los Impactos Positivos Bajos.
<b>Negativo Relevante</b>	Corresponden a los Impactos Negativos Elevados y a los Impactos Negativos Medios que presenten combinación con los criterios de Permanente, Irreversible, Acumulativo y/o Sinérgico. Sin posibilidades de mitigar o compensar.
<b>Negativo Compensable</b>	Corresponden a los Impactos Negativos de magnitud Elevada y que de acuerdo a la normativa ambiental requieren de un plan de Compensación.
<b>Negativo Mitigable</b>	Corresponden a los Impactos Negativos, que serán objeto de Medida de Manejo Ambiental.
<b>Negativo Menor</b>	Corresponden a los Impactos Negativos Bajos.

El análisis se presenta ordenado de acuerdo a los componentes y factores ambientales potencialmente afectados.

#### **A. Impactos sobre el aire**

Los impactos sobre el aire se asocian a las emisiones de sustancias tales como partículas, gases y olores, y a la emisión de formas de energía, como el ruido y las vibraciones. Los factores que determinan las características de ambos grupos de impactos son diferentes, de modo que se analizan por separado.

#### **Impacto 1. Aumento en la concentración de material particulado respirable en la Región Metropolitana durante C.**

El aumento en la concentración de material particulado respirable durante la etapa de construcción puede ser causado por las actividades durante la construcción (anexo1).

Los criterios de análisis de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- **Carácter:** negativo. El impacto aumentará la concentración ambiental de material particulado respirable en las comunidades aledañas a los sectores del proyecto.

- Certidumbre: cierto. El impacto se producirá con certeza.
- Tipo: primario. El impacto se manifestará directamente sobre el aire.
- Reversibilidad: reversible. El impacto es reversible, porque los efectos cesarán rápidamente si se detienen las emisiones.
- Magnitud: media. Debido a que se compensará el 150% de las emisiones determinadas en la etapa de Construcción y que se proponen diversas medidas de mitigación (anexo2) para disminuir las emisiones de material particulado.
- Duración: temporal. El impacto se generará solamente durante la etapa de construcción.

Nota: para definir la duración de cada escenario debe considerarse que cada etapa de desarrollo del proyecto tiene un horizonte de diseño estimado de 5 años, y que la construcción de la infraestructura de cada etapa demorará 1 año.

Como las emisiones dependerán de la demanda real de biosólidos que se genere en cada una de las alternativas de reuso presentadas en el EIA, Aguas Andinas anualmente entregará a la Autoridad Ambiental un “Informe de Gestión de Biosólidos del Centro de Gestión Integral de Biosólidos” que contendrá información respecto a las actividades de reuso benéfico efectivamente llevadas a cabo, indicando en detalle entre otros, los aspectos relacionados con la emisión de material particulado, tales como: los reusos desarrollados, identificación de predios y lugares de destino, distancias recorridas, rutas utilizadas y emisiones asociadas a las diferentes actividades realizadas. De esta forma anualmente, se definirá e implementará el plan de compensaciones si corresponde.

Producto de lo anterior y de lo transitorio de la etapa de construcción, este impacto se califica como **Negativo mitigable y Negativo compensable**.

**Impacto 2. Aumento en la concentración de material particulado respirable en la Región Metropolitana durante OM.**

El aumento en la concentración de material particulado respirable durante la etapa de operación y mantenimiento puede ser causado por las actividades de operación y mantenimiento (anexo3).

Los criterios de calificación de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- **Carácter:** negativo. El impacto aumentará la concentración ambiental de material particulado respirable en las comunidades aledañas a los sectores del proyecto.
- **Certidumbre:** cierto. El impacto se producirá con certeza.
- **Tipo:** primario. El impacto se manifestará directamente sobre el aire.
- **Reversibilidad:** reversible. El impacto es reversible, porque los efectos cesarán rápidamente si se detienen las emisiones.
- **Magnitud:** media. De lograrse el porcentaje de reuso externo planteado por la empresa, el aumento en la concentración ambiental de material particulado respirable obligará a compensar las emisiones de material particulado, durante la operación.
- **Duración:** permanente. El impacto se generará durante la etapa de operación.

Durante la etapa de operación, las emisiones de material particulado sólo aumentarán levemente, en comparación con la situación actual. Además, las emisiones dependerán de la demanda real de biosólidos que se genere en cada una de las alternativas de reuso por lo que se propone definir e implementar anualmente el plan de compensaciones si corresponde.

Producto de lo anterior, este impacto se califica como **Negativo mitigable y Negativo compensable**.

### **Impacto 3. Aumento en la concentración de gases atmosféricos en la Región Metropolitana durante C.**

El aumento en la concentración de gases atmosféricos puede ser causado por actividades durante C (anexo 4).

Los criterios de calificación de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- **Carácter:** negativo. El impacto aumentará la concentración ambiental de gases en las localidades aledañas a los sectores del proyecto.
- **Certidumbre:** cierto. El impacto se producirá con certeza.
- **Tipo:** primario. El impacto se manifestará directamente sobre el aire.
- **Reversibilidad:** reversible. El impacto es reversible, porque los efectos cesarán rápidamente si se detienen las emisiones.
- **Magnitud:** baja. Debido a que no se superan los límites de emisiones establecidos para gases atmosféricos por el Plan de Prevención y Descontaminación Atmosférica de la RM.
- **Duración:** temporal. El impacto durará solamente durante la etapa de construcción.

Por los motivos antes señalados, este impacto se califica como **Negativo menor**.

#### **Impacto 4. Aumento en la concentración de gases atmosféricos en la RM durante OM.**

El aumento en la concentración de gases atmosféricos puede ser causado por actividades durante OM (anexo 5).

Los criterios de calificación de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- **Carácter:** negativo. El impacto aumentará la concentración ambiental de gases atmosféricos en las localidades aledañas.
- **Certidumbre:** cierto. El impacto se producirá con certeza.
- **Tipo:** primario. El impacto se manifestará directamente sobre el aire.
- **Reversibilidad:** reversible. El impacto es reversible, porque los efectos cesarán rápidamente si se detienen las emisiones.

- Magnitud: baja. El aumento en la concentración ambiental de gases atmosféricos provendrá del tránsito vehicular y del funcionamiento de maquinaria, asociados al proyecto, ambos de baja magnitud.
- Duración: permanente. El impacto durará toda la etapa de operación.

Producto de lo anterior, este impacto se califica como **Negativo menor**.

#### **Impacto 5. Aumento en la percepción de olores en las cercanías del CGIB durante OM.**

El cambio en la concentración de compuestos puede ser causado por actividades durante OM (anexo 6).

Los criterios de análisis de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- Carácter: negativo. De producirse este impacto, aumentaría el nivel de percepción de olores existente en la zona, lo que fue presentado en la línea base de este estudio. Esto esta referido fundamentalmente a Montenegro.
- Certidumbre: probable. Bajo determinadas condiciones de operación y meteorología, si no se implementan las medidas de mitigación adecuadas, es probable que este impacto se produzca, y sea percibido por los vecinos de Rungue y Montenegro.
- Tipo: primario. El impacto se manifestará directamente sobre el aire.
- Reversibilidad: reversible. El impacto es reversible, porque sus efectos cesarán rápidamente si temporalmente se detiene el secado de biosólidos o se minimiza los volúmenes de biosólidos acopiados.
- Magnitud: media. En la localidad de Montenegro y en Rungue, los olores podrían ser percibidos sólo en forma ocasional, y se contemplan medidas de mitigación (anexo7).
- Duración: permanente. El impacto durará toda la etapa de operación.

Por todo lo anterior, este impacto se califica como **negativo mitigable**.

**Impacto 6. Aumento en el nivel de ruido y vibraciones en las zonas habitadas cercanas a las obras durante C.**

El cambio en el nivel de ruido y vibraciones durante puede ser causado por actividades durante C (anexo 8).

Los criterios de calificación de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- **Carácter:** negativo. El impacto aumentará los niveles de ruido (los niveles de vibraciones se mantendrán básicamente inalterados).
- **Certidumbre:** cierto. El impacto se producirá con certeza.
- **Tipo:** primario. El impacto se manifestará directamente sobre el aire.
- **Reversibilidad:** reversible. El impacto es reversible, porque los efectos cesarán inmediatamente si se detienen las emisiones.
- **Magnitud:** baja. El aumento en el nivel de ruido en las zonas habitadas aledañas no provocará la superación de los niveles máximos permisibles de ruido generado por fuentes fijas.
- **Duración:** temporal. El impacto durará solamente durante la etapa de construcción.
- La evaluación se desarrolló considerando los niveles máximos permitidos por el DS 146, que regula las emisiones de ruido desde fuentes fijas (anexo 9).

Producto de lo anterior, este impacto se clasifica como **negativo menor**.

**Impacto 7. Aumento en el nivel de ruido y vibraciones en las zonas habitadas cercanas al CGIB durante OM.**

El cambio en el nivel de ruido y vibraciones puede ser causado por actividades durante OM (anexo 10).

Los criterios de calificación de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- **Carácter:** negativo. El impacto aumentará los niveles de ruido (los niveles de vibraciones se mantendrán inalterados).
- **Certidumbre:** improbable. Dada la distancia a los centros poblados es improbable que se perciba el aumento de ruido que se producirá al interior del predio.
- **Tipo:** primario. El impacto se manifestará directamente sobre el aire.
- **Reversibilidad:** reversible. El impacto es reversible, porque los efectos cesarán rápidamente si se detienen las emisiones.
- **Magnitud:** baja. El aumento en el nivel de ruido en las zonas habitadas aledañas no provocará la superación de los niveles máximos permisibles de ruido generado por fuentes fijas.
- **Duración:** permanente. El impacto durará toda la etapa de operación.

Producto de todo lo anterior, este impacto se califica como **sin impacto**.

## **B. Impactos sobre el agua**

Los impactos sobre el agua identificados corresponden a cambios en el caudal y calidad del escurrimiento superficial y en la calidad del agua subterránea.

### **Impacto 8. Disminución del caudal superficial que deja el CGIB durante OM.**

La disminución del caudal de aguas superficiales durante la etapa de operación y mantenimiento puede ser causado por las siguientes actividades:

Almacenamiento de aguas lluvias en tranque y uso en riego.

Los criterios de análisis de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- **Carácter:** negativo. El tranque provocará una disminución del escurriendo de aguas lluvias hacia el estero Rungue.
- **Certidumbre:** cierto. El impacto se producirá con certeza.

- Tipo: primario. El impacto se manifestará directamente sobre el agua.
- Reversibilidad: reversible. El impacto es reversible, porque los efectos cesarán rápidamente si se deja de captar aguas lluvias.
- Magnitud: baja. Las aguas que escurren en períodos de lluvias no son utilizadas para fines de riego u otros fines y por lo general se dejan correr libremente.
- Duración: permanente. El impacto durará toda la etapa de operación.

La calificación de este impacto corresponde a **Negativo menor**.

#### **Impacto 9. Disminución de la calidad del caudal superficial que deja el CGIB durante OM.**

La variación en la calidad de agua superficial puede ser causada por actividades durante OM (anexo 11).

Los criterios de análisis de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- Carácter: negativo. La descarga del efluente tratado cumplirá la norma, pero contendrá elementos, que si bien están permitidos por la norma de descarga, no están presentes en la línea base. Por su parte las aguas que pasan por el tranque de la cuenca norte, cuando esté lleno y los excedentes sean descargados en el cauce, tendrán una calidad mejor que la existente en la actualidad.
- Certidumbre: cierto. El proyecto contempla la descarga a cauce existente, habitualmente seco.
- Tipo: primario. El impacto se manifestará directamente sobre el agua.
- Reversibilidad: reversible. El impacto es reversible, porque los efectos cesarán rápidamente si se detienen las descargas.
- Magnitud: baja. Las descargas serán eventuales y se cumplirá con la norma de descarga.

- Duración: permanente. El impacto durará toda la etapa de operación.

En consecuencia, este impacto es calificado como **negativo menor**.

#### **Impacto 10. Disminución de la calidad del acuífero bajo el CGIB durante OM.**

Durante la etapa de operación y mantenimiento, hay actividades que potencialmente podrían producir un impacto sobre la calidad del agua subterránea (anexo 12).

Los criterios de calificación de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- Carácter: negativo. En caso de producirse este impacto, se provocaría contaminación del agua subterránea.
- Certidumbre: improbable. Existe una probabilidad muy baja que se verifique este impacto, dada la adecuada impermeabilización del embalse de almacenamiento de percolado y de las obras de manejo de biosólidos, y el adecuado manejo de sustancias contaminantes.
- Tipo: primario. El impacto se manifestará directamente sobre el agua subterránea.
- Reversibilidad: irreversible. El impacto es irreversible en términos prácticos, porque la contaminación del agua subterránea es difícil de revertir.
- Magnitud: media. La alteración de la calidad del agua subterránea es siempre relevante, pero en este caso no afectaría grandes poblaciones.
- Duración: permanente. El impacto tendría una duración prolongada, dada la baja velocidad de las diferentes técnicas de remediación de aguas subterráneas contaminadas.

En consecuencia, este impacto se califica como **negativo menor**.

#### **C. Impactos sobre el suelo**

Los impactos sobre el suelo identificados corresponden a la alteración de la calidad del suelo y a la pérdida en su estabilidad, los cuales se analizan a continuación.

### **Impacto 11. Alteración de la calidad del suelo bajo la zona de obras al interior del CGIB durante C.**

Por alteración de la calidad del suelo se entiende a la posible contaminación que podría afectar al suelo y a cambios producidos por la compactación de éste. El empeoramiento de la calidad del suelo bajo la zona de obras puede ser causada por actividades durante C (anexo 13).

Los criterios de calificación de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- **Carácter:** negativo. El impacto producirá compactación del suelo y podría producir contaminación de éste.
- **Certidumbre:** cierto-improbable. La compactación se producirá con certeza, mientras que la contaminación es improbable, debido a que las sustancias contaminantes se manejarán adecuadamente en obra.
- **Tipo:** primario. El impacto se manifestará directamente sobre el suelo.
- **Reversibilidad:** irreversible. El impacto es irreversible en términos prácticos, porque la compactación del suelo es difícil de revertir.
- **Magnitud:** baja. La alteración de la calidad del suelo es de pequeño monto, por lo reducido del área potencialmente afectada.
- **Duración:** permanente. El impacto se producirá en la etapa de construcción y se mantendrá durante la operación.

En consecuencia, este impacto se califica como **negativo menor**.

### **Impacto 12. Alteración de la calidad del suelo bajo el CGIB durante OM.**

Se podría producir un impacto sobre la calidad del suelo durante actividades en la etapa de operación y mantenimiento (anexo 14).

Los criterios de calificación de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- **Carácter:** negativo. En caso de producirse este impacto, se provocaría contaminación del suelo.
- **Certidumbre:** improbable. Existe una probabilidad muy baja que se verifique este impacto, dada la adecuada impermeabilización del estanque de acumulación de percolado, las estrictas normas de aplicación de biosólidos, y el adecuado manejo de residuos y sustancias contaminantes.
- **Tipo:** primario. El impacto se manifestará directamente sobre el suelo.
- **Reversibilidad:** irreversible. El impacto es irreversible en términos prácticos, porque la contaminación del suelo es difícil de revertir.
- **Magnitud:** baja. La alteración de la calidad del suelo no sería significativa, debido al escaso potencial contaminante de los biosólidos y debido a que el sitio del proyecto no tiene otro uso alternativo.
- **Duración:** permanente. El impacto durará toda la etapa de operación. En caso de representar algún riesgo para la comunidad, la contaminación podría repararse mediante remediación o reemplazo del suelo contaminado.

En consecuencia, este impacto se califica como **negativo mitigable**.

**Impacto 13. Mejoramiento de la calidad del suelo donde se aplicarán los biosólidos reusados externamente durante OM.**

Las actividades que puede producir un impacto sobre el mejoramiento de la calidad del suelo durante la etapa de operación y mantenimiento son:

El reuso externo de biosólidos.

De cumplir la meta de Aguas Andinas de reutilizar el 30 % de la producción de biosólidos, se estaría contribuyendo al mejoramiento de cerca de 10.000 hectáreas de suelo en la RM.

Los criterios de calificación de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- **Carácter:** positivo. La aplicación de biosólidos al suelo aportará materia orgánica y nutrientes lo que permitirá mejorar su calidad física, química y biológica..
- **Certidumbre:** cierto. La experiencias realizadas con biosólidos en suelos degradados y que se presentan en anexos al Capítulo 2, demuestran los efectos benéficos y ciertos de la aplicación.
- **Tipo:** primario. El impacto se manifestará directamente sobre el suelo.
- **Reversibilidad:** irreversible. El impacto es irreversible en términos prácticos, porque la materia orgánica queda incorporada en forma permanente al suelo.
- **Magnitud:** alta. El mejoramiento del suelo es un hecho demostrable, así como los diferentes grados de degradación que presentan los suelos de la Región. Por esta razón cualquier contribución que se haga al mejoramiento de suelos tiene una gran importancia agronómica o forestal.
- **Duración:** permanente. El impacto puede tener un plazo indefinido, por cuanto cuando los suelos son recuperados, se producen dinámicas ecosistémicas que permiten desarrollar otro tipo de cultivos que ayudan a mantener la calidad del suelo.

La experiencia internacional muestra que, una fracción importante de los biosólidos producidos en las plantas de tratamiento de aguas servidas, es utilizada en reuso en terrenos agrícolas y forestales. Las experiencias desarrolladas con biosólidos de la planta El Trebal confirma la experiencia internacional, en el sentido de que los agricultores reciben los biosólidos por cuanto, éstos aportan elementos a los suelos que, al mejorar sus propiedades, les permiten aumentar sus rendimientos.

Por lo anterior, este impacto es calificado como **positivo relevante**.

#### **Impacto 14. Riesgo de desastres naturales en el CGIB durante OM.**

Durante la etapa de operación y mantenimiento, las obras y, por lo tanto, las actividades podrían verse afectadas por desastres naturales (anexo 15).

Los criterios de calificación de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- **Carácter:** negativo. En caso de producirse este impacto, provocaría destrucción de las obras (monorrelleno, cancha de acopio temporal/secado, tranque de aguas lluvia y embalse de percolado).
- **Certidumbre:** improbable. Existe una probabilidad muy baja que se verifique este impacto, ya que las obras no se encuentran en zonas de riesgo de remoción en masa, ni crecidas, y serán diseñadas usando normas de construcción sismorresistente.
- **Tipo:** primario. El impacto se manifestará directamente sobre las obras.
- **Reversibilidad:** reversible. El impacto es reversible, porque las obras pueden reconstruirse.
- **Magnitud:** baja. En caso de verificarse este impacto, sólo cabría esperar deslizamientos menores al interior del monorrelleno, ya que tendrá una altura máxima de 7 m y sus taludes serán diseñados utilizando criterios sismorresistentes. Además, podrían producirse grietas menores en el asfalto de las canchas de acopio temporal/secado.
- **Duración:** permanente. El impacto durará toda la etapa de operación.

En consecuencia, este impacto se califica como **negativo menor**.

#### **D. Impactos sobre la vegetación y flora**

Los impactos sobre la vegetación y flora identificados corresponden a la alteración de las poblaciones de árboles y de las plantaciones, los cuales se analizan a continuación.

#### **Impacto 15. Alteración en la población de árboles en el terreno afectado por las obras al interior del CGIB durante C.**

Las actividades durante C potencialmente podrían alterar la población de árboles en el terreno afectado (anexo 16).

Los criterios de calificación de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- **Carácter:** negativo. En caso de producirse este impacto, se provocaría una pérdida de especies de árboles en el terreno afectado por las obras.
- **Certidumbre:** cierto. Será necesario despejar de árboles la zona de construcción de las obras de gestión de biosólidos y las edificaciones.
- **Tipo:** primario. El impacto se manifestará directamente sobre la población de árboles.
- **Reversibilidad:** irreversible. El impacto es irreversible para los árboles que serán derribados.
- **Magnitud:** baja. Debido a que se contará con un plan de manejo forestal y se compensarán las zonas de pérdidas de árboles.
- **Duración:** permanente. El impacto será permanente para los árboles que serán derribados.

En consecuencia, considerando que este impacto será compensado, se califica como **negativo compensable**.

#### **Impacto 16. Alteración en la población de árboles en sectores destinados a reforestación al interior del CGIB durante OM.**

La actividad que potencialmente podría alterar la población de árboles en el terreno del CGIB durante la etapa de operación y mantenimiento es:

*El reuso de biosólidos en el CGIB.*

Los criterios de calificación de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- **Carácter:** positivo. En caso de producirse este impacto, se incrementarán las poblaciones de especies nativas e introducidas.
- **Certidumbre:** cierto. Este impacto se verificará con toda seguridad porque una actividad de reuso de biosólidos es la silvícola.

- Tipo: primario. El impacto se manifestará directamente sobre la población de árboles.
- Reversibilidad: irreversible. El impacto es irreversible, porque las plantaciones de árboles no serán explotadas.
- Magnitud: baja. No obstante se desarrollarán importantes actividades de reforestación destinada al reuso de biosólidos (anexo 17), la extensión del terreno en que se desarrollarán estas actividades es pequeño, en relación a los suelos de la RM.
- Duración: permanente. El impacto durará para siempre.

Por lo anterior, este impacto se califica como **positivo menor**.

**Impacto 17. Aumento en la calidad de las praderas y plantaciones al interior del CGIB durante OM.**

La actividad que aumentará la calidad de las praderas y plantaciones en el terreno durante la etapa de operación y mantenimiento es:

*El reuso de biosólidos en el CGIB.*

Los criterios de calificación de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- Carácter: positivo. La aplicación de biosólidos al interior del predio provocará un mejoramiento del rendimiento de las praderas y en general de la calidad del suelo, desde un punto de vista agronómico y forestal.
- Certidumbre: cierto. Este impacto se verificará con toda seguridad porque una actividad de reuso de biosólidos es la agrícola y forestal.
- Tipo: primario. El impacto se manifestará directamente sobre la superficie de praderas, cultivos y plantaciones.
- Reversibilidad: irreversible. El impacto es irreversible, porque la mejoría del suelo, si se continúan las prácticas de manejo adecuadas, sería irreversible.

- Magnitud: baja. Debido a la extensión de la zona de praderas, cultivos y plantaciones, que si bien será importante para el predio en que se desarrollará el proyecto, es pequeño con relación a los suelos del RM
- Duración: permanente. El impacto durará para siempre.

En atención a la pequeña superficie de praderas del predio en que se instalará el proyecto, con relación a los suelos de la Región, este impacto se califica como **positivo menor**.

**Impacto 18. Aumento en la calidad de las praderas, cultivos y plantaciones fuera del CGIB durante OM.**

La actividad que aumentará la calidad y rendimiento de las praderas, suelos de cultivos y plantaciones en terrenos externos al CGIB durante la etapa de operación y mantenimiento es:

*El reuso externo de biosólidos.*

Los criterios de calificación de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- Carácter: positivo. En caso de producirse este impacto, se incrementarán la calidad de los suelos dedicados a praderas, cultivos y plantaciones.
- Certidumbre: probable. Este impacto se producirá con seguridad, en el caso que se logren las metas planteadas para reuso de biosólidos (30% de los biosólidos manejados en el CGIB).
- Tipo: secundario. El impacto se manifestará directamente sobre la calidad del suelo, lo que permitirá mejorar la producción de pastos y productos vegetales en general..
- Reversibilidad: irreversible. El impacto es irreversible, porque la mejoría del suelo, si se continúan las prácticas de manejo adecuadas, sería irreversible.

- Magnitud: baja. Debido a que el proceso de aplicación de biosólidos al suelo es lenta, requiere de la aceptación de los agricultores y requiere de varios años para que los suelos mejoren sus características, física, químicas y biológicas.
- Duración: permanente. El impacto durará en forma permanente.

Las experiencias realizadas en diferentes escalas con biosólidos de la PTAS El Trebal y la Farfana, y que se encuentran en los anexos al capítulo de Descripción del proyecto, permiten afirmar que el biosólido provoca un mejoramiento en la calidad de los suelos, lo que se expresa en un aumento en el rendimiento de praderas, cultivos y plantaciones en general. No obstante el proceso de aplicar biosólidos es lento, pues requiere de información hacia los agricultores, aceptación de este producto nuevo para ellos, y tiempo para que el suelo logre cambiar sus características físicas, químicas y biológicas.

Por estas razones el impacto se califica como **positivo menor**.

#### **E. Impactos sobre la fauna**

El impacto sobre la fauna identificado corresponde a la alteración de los hábitat para la fauna, el que se verificará durante la construcción y la operación y mantenimiento.

#### **Impacto 19. Disminución del hábitat para fauna al interior del CGIB durante C.**

Las actividades durante C provocarán una disminución de hábitat para la fauna (anexo18).

Los criterios de calificación de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- Carácter: negativo. Las actividades mencionadas significarán una pérdida de hábitat para la fauna.
- Certidumbre: cierto. Este impacto se producirá por la naturaleza de las obras a desarrollar.

- Tipo: secundario. El impacto se manifestará directamente sobre el suelo y tendrá consecuencia sobre la fauna.
- Reversibilidad: irreversible. El impacto es irreversible en las zonas específicas en que se construirán las obras.
- Magnitud: baja. Debido a la poca diversidad de fauna existente en el predio, explicado por la existencia de un clima semidesértico, la ausencia de recursos hídricos y suelos altamente degradados.
- Duración: permanente. El impacto se manifestará en forma permanente.

Las actividades de construcción provocarán una pérdida de hábitat en las zonas en que se construirán obras civiles y sus alrededores más cercanos. No obstante, en los terrenos que serán impactados, no se cuenta con una alta diversidad biológica.

Por las razones anteriores, el impacto se califica como **negativo menor**.

#### **Impacto 20. Aumento de los hábitat para fauna al interior del CGIB durante OM.**

Las actividades que provocarán un aumento de hábitat para la fauna durante la etapa de construcción son:

*El reuso de biosólidos al interior del CGIB.*

Las actividades de forestación, mejoramiento de bosque, manejo forestal de quebradas, riego y mejoramiento de praderas, generarán el desarrollo de nuevos hábitat para el desarrollo de la fauna local.

Los criterios de calificación de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- Carácter: positivo. Las actividades mencionadas significarán el desarrollo de nuevos hábitat para la fauna.
- Certidumbre: cierto. Este impacto se producirá por la creación y mejoramiento de nuevas áreas forestales.

- Tipo: secundario. El impacto se manifestará directamente sobre el suelo y tendrá consecuencia sobre la fauna.
- Reversibilidad: irreversible. El impacto es irreversible en las zonas en que se mejorará la cobertura vegetal.
- Magnitud: media. La cantidad de hectáreas que serán mejoradas con los diversos proyectos de forestación, provocarán un efecto importante en la creación de hábitat para la fauna.
- Duración: permanente. El impacto se manifestará en forma permanente.

Las actividades de reuso interno de biosólidos mejorarán la calidad de la cubierta vegetal interna, permitiendo la constitución de nuevos hábitat para la zona. No obstante este será un proceso lento que tendrá sus resultados en períodos superiores a los cinco años.

Por las razones anteriores, el impacto se califica como **positivo menor**.

#### **F. Impactos sobre el medio humano**

Los impactos sobre el medio humano identificados corresponden a cambios en el nivel de empleo y en el nivel de salud de los trabajadores y población aledaña, los cuales se analizan a continuación.

##### **Impacto 21. Generación de empleo en la RM durante C.**

Todas las actividades a ejecutar durante la etapa de construcción tienen el potencial de generar un aumento en el nivel de empleo en la RM.

Los criterios de calificación de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- Carácter: positivo. El impacto aumentará el nivel de empleo durante la construcción.
- Certidumbre: cierto. El impacto se producirá con certeza, debido a que la construcción de las obras contempla la utilización de personal.

- Tipo: primario. El impacto se manifestará directamente sobre el medio humano.
- Reversibilidad: reversible. El impacto es reversible.
- Magnitud: baja. Debido a que se contempla el empleo de hasta 300 personas durante el mes de máximo empleo.
- Duración: temporal. El impacto durará solamente durante la etapa de construcción (36 meses distribuidos en 3 etapas de 12 meses cada una).

En consecuencia, este impacto se califica como **positivo menor**.

#### **Impacto 22. Generación de empleo en la RM durante OM.**

Casi todas las actividades a ejecutar durante la etapa de operación y mantenimiento tienen el potencial de generar un aumento en el nivel de empleo en la RM.

Los criterios de calificación de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- Carácter: positivo. El impacto aumentará el nivel de empleo durante la operación y mantenimiento.
- Certidumbre: cierto. El impacto se producirá con certeza, debido a que el proyecto contempla la utilización de personal durante la etapa de operación y mantenimiento.
- Tipo: primario. El impacto se manifestará directamente sobre el medio humano.
- Reversibilidad: reversible. El impacto es reversible.
- Magnitud: baja. Debido a que se contempla el empleo de hasta 68 personas.
- Duración: permanente. El impacto durará toda la etapa de operación y mantenimiento.

Se estima que durante la operación y mantenimiento se emplearán 30-68 trabajadores, dependiendo de la etapa de desarrollo del proyecto.

En consecuencia, este impacto se califica como **positivo menor**.

### **G. Impactos sobre el medio construido**

Los impactos sobre el medio construido identificados corresponden a cambios en la oferta de infraestructura, cambios en el nivel de tránsito vehicular y eventuales accidentes durante el transporte, los cuales se analizan a continuación.

#### **Impacto 23. Aumento en la oferta de infraestructura sanitaria en la RM durante OM.**

Todas las actividades a ejecutar durante la etapa de operación tienen el potencial de poner a disposición de las diferentes instalaciones sanitarias una alternativa para acondicionar y disponer los biosólidos producidos en la RM.

Los criterios de calificación de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- **Carácter:** positivo. La ejecución del proyecto permitirá contar con un lugar adicional para acondicionar y disponer, aumentando la seguridad sanitaria de la región.
- **Certidumbre:** cierto. El impacto se producirá con certeza, debido a que la construcción de las obras permitirá recibir biosólidos.
- **Tipo:** primario. El impacto se manifestará directamente sobre el medio construido.
- **Reversibilidad:** reversible. El impacto es reversible.
- **Magnitud:** alta. Debido a que se dispondrá de un lugar adicional para acondicionar y disponer biosólidos.
- **Duración:** permanente. El impacto durará toda la etapa de operación.

El Plan de saneamiento de aguas servidas de la RM se completa y logra hacerse cargo del tratamiento de aguas servidas en forma integral, en la medida en que se dispone de un lugar para recibir los biosólidos que se producen en las diferentes plantas de tratamiento. De esta manera se amplían los lugares que pueden recibir biosólidos, aumentando la seguridad sanitaria de la Región.

En consecuencia, este impacto se califica como **positivo relevante**.

#### **Impacto 24. Aumento en el nivel del tránsito vehicular en la RM durante C.**

Las actividades durante C podrían producir un aumento en el nivel de tránsito vehicular (anexo 19).

Los criterios de calificación de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- **Carácter:** negativo. El impacto aumentará el nivel de tránsito vehicular durante la etapa de construcción.
- **Certidumbre:** cierto. El impacto se producirá con certeza.
- **Tipo:** primario. El impacto se manifestará directamente sobre el medio construido.
- **Reversibilidad:** reversible. El impacto es reversible, porque el impacto cesará una vez finalizada la etapa de construcción.
- **Magnitud:** baja. Debido a que los flujos vehiculares asociados a la construcción del proyecto son bajos.
- **Duración:** temporal. El impacto durará solamente durante la etapa de construcción.

Las frecuencias de transporte de materiales son bajas y podrán ser absorbidas por los caminos públicos de acceso a los sectores del proyecto.

Consecuentemente con lo anterior, se califica este impacto como **negativo menor**.

#### **Impacto 25. Aumento en el nivel del tránsito vehicular en la RM durante OM.**

Las actividades durante OM podrían producir un aumento en el nivel de tránsito vehicular (anexo 20).

Los criterios de calificación de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- **Carácter:** negativo. El impacto aumentará el nivel de tránsito vehicular durante la etapa de operación y mantenimiento.

- Certidumbre: cierto. El impacto se producirá con certeza.
- Tipo: primario. El impacto se manifestará directamente sobre el medio construido.
- Reversibilidad: reversible. El impacto es reversible, porque el impacto cesará una vez finalizada la etapa de operación y mantenimiento.
- Magnitud: baja. Debido a que los flujos vehiculares asociados al proyecto son bajos.
- Duración: permanente. El impacto esta asociado a la etapa de operación y mantenimiento.

Consecuentemente con lo anterior, se califica este impacto como **Negativo Menor**.

#### **H. Impactos sobre el uso del suelo**

El impacto sobre el uso del suelo identificado corresponde al cambio de uso del suelo en el predio donde se ubicará el CGIB, el cual se analiza a continuación.

#### **Impacto 26. Cambio de uso de suelo en el predio donde se ubicará el CGIB durante C y OM.**

La construcción y operación del proyecto significará el cambio de uso del suelo actual, calificado como rural, a uso en “infraestructura sanitaria”. Por las características del proyecto se estima que este cambio de uso no significará la generación de un polo de atracción para futuros desarrollos urbanos.

El cambio de uso de suelo se produce por las actividades de la etapa de construcción y operación del proyecto.

Los criterios de calificación de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- Carácter: negativo. El proyecto significara cambiar el uso actual del suelo, el cual perderá su actual carácter de rural.

- Certidumbre: cierto. La ejecución del proyecto tiene como condición la aprobación del cambio de uso de suelo.
- Tipo: primario. El impacto se manifestará directamente sobre el suelo.
- Reversibilidad: irreversible. El impacto es irreversible porque difícilmente estos terrenos volverán a tener un uso diferente a los del proyecto en evaluación.
- Magnitud: baja. Aún cuando la categoría actual del suelo es rural, la degradación actual, por uso extensivo del pastoreo, además de la presencia de actividades mineras, el predio no constituye un lugar de actividades agrícolas, forestales. Tampoco se detectan el desarrollo de funciones ambientales relevantes asociadas al ecosistema existente.
- Duración: permanente. Lo más probable es que el impacto sea permanente y que exceda, incluso la etapa de operación del proyecto.

Si bien el cambio de uso de suelo se realiza sobre una zona degradada y con poco potencial para otro tipo de actividades, el cambio de uso de suelo se solicitará sobre las áreas efectivamente intervenidas con obras civiles. Todo el resto del predio, incluyendo zonas planas, pie de monte, lomas y cumbres seguirá manteniendo su uso actual.

Por esta razón el impacto se califica como **negativo menor**.

### **I. Impactos sobre el patrimonio cultural**

Los impactos sobre el patrimonio cultural identificados corresponden a los cambios en el patrimonio histórico y arqueológico, los cuales se analizan a continuación.

#### **Impacto 27. Alteración del patrimonio histórico y arqueológico al interior del CGIB durante C.**

Las actividades durante C podrían producir una alteración del patrimonio histórico y arqueológico (anexo 21).

Los criterios de calificación de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- **Carácter:** negativo. En caso de producirse este impacto, afectaría negativamente el patrimonio histórico y arqueológico.
- **Certidumbre:** cierta. El impacto se producirá al construir las obras.
- **Tipo:** primario. El impacto se manifestará directamente sobre el patrimonio histórico y arqueológico.
- **Reversibilidad:** irreversible. El impacto es irreversible en términos prácticos, dado que las obras permanecerán durante toda la vida útil del proyecto.
- **Magnitud:** alta. Dado que se intervendrá los sitios donde existe evidencia superficial de restos de valor arqueológico.
- **Duración:** permanente. El impacto se producirá en la etapa de construcción y se mantendrá en forma permanente.

En consecuencia, este impacto se califica como **negativo compensable**.

#### **Impacto 28. Valoración del patrimonio histórico y arqueológico al interior del CGIB durante OM.**

Las actividades durante OM pueden producir una potenciación del patrimonio arqueológico (anexo 22).

Los criterios de análisis de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- **Carácter:** positivo. En caso de producirse este impacto, afectaría positivamente el patrimonio histórico y arqueológico, en tanto los visitantes podrán conocer y valorar el patrimonio existente.
- **Certidumbre:** cierta. Este impacto se producirá producto de las actividades de difusión y educación.
- **Tipo:** primario. El impacto se manifestará directamente sobre el patrimonio histórico y arqueológico.

- Reversibilidad: irreversible. El impacto es irreversible, dado que el conocimiento adquirido permanecerá en los estudiantes y visitas en general.
- Magnitud: bajo. Dado que, lo más probable es que los que visiten el centro no tendrán un interés especial por los vestigios arqueológicos existentes en su interior.
- Duración: permanente. El impacto se producirá en la etapa de operación y se mantendrá en forma permanente.

La existencia de los circuitos de visita, que incorporará restos arqueológicos y la generación de material educativo, permite calificar este impacto como **positivo menor**.

#### **J. Impactos sobre el paisaje**

Los impactos sobre el paisaje identificados corresponden a los cambios en la visibilidad, calidad y fragilidad del paisaje, los cuales se analizan a continuación.

#### **Impacto 29. Modificación del paisaje en zona de obras al interior del CGIB durante C.**

Las actividades durante C podrían producir una alteración en la visibilidad, calidad y fragilidad visual (anexo 23).

Los criterios de calificación de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- Carácter: negativo. El impacto perturbará las características del entorno.
- Certidumbre: cierto. El impacto se producirá con certeza.
- Tipo: primario. El impacto se manifestará directamente sobre el paisaje.
- Reversibilidad: irreversible. El impacto es irreversible para las obras superficiales en términos prácticos, dado que éstas permanecerán durante toda la vida útil del proyecto.
- Magnitud: baja. Dado que las obras de manejo de biosólidos incluyendo la cancha de acopio temporal y secado y las celdas del monorelleno se ubicarán alejadas de

la Ruta 5, y se utilizarán pantallas vegetales como medidas de mitigación de impactos.

- Duración: permanente. El impacto durará toda la vida útil del proyecto.

Se califica este impacto como **sin impacto**.

### **Impacto 30. Modificación del paisaje en el CGIB durante OM.**

La principal modificación del paisaje durante la operación se debe a la actividad de reuso de biosólidos para enriquecimiento forestal y desarrollo de praderas. Por lo tanto, la actividad que podría producir una alteración en la visibilidad, calidad y fragilidad visual durante la operación es:

*El reuso de biosólidos en el CGIB.*

Los criterios de calificación de este impacto toman las siguientes valoraciones:

- Carácter: positivo. El impacto mejorará las características del entorno.
- Certidumbre: cierto. El impacto se producirá con certeza.
- Tipo: primario. El impacto se manifestará directamente sobre el paisaje.
- Reversibilidad: irreversible. El impacto es irreversible en términos prácticos, porque éste se verificará mientras continúe operando el CGIB.
- Magnitud: media. Dado que se reforestará una porción significativa de terreno degradado con especies forestales autóctonas utilizando biosólidos, contribuyendo a restituir el paisaje.
- Duración: permanente. El impacto durará toda la vida útil del proyecto.
- Un objetivo central de este proyecto es la recuperación del paisaje del entorno del proyecto utilizando para ello biosólidos. Los elementos más importantes de restitución paisajística son:
  - Un sistema de praderas que se encontrará al centro del CGIB, en los sectores más bajos y planos y que se definirán como espacios abiertos con árboles aislados en

sus bordes a modo de parque. Estas zonas podrán cultivarse y laborearse en forma intensa pudiendo ser incluso destinadas a labores pecuarias.

- Silvicultura intensiva tipo huerto o bosque formando franjas de protección en laderas de pendiente suave. Este sistema forma casi un anillo alrededor de las praderas.
- Forestación con especies nativas en laderas con cierta pendiente formando grupos.

Finalmente, cabe destacar que se construirá un circuito de visitas al interior del sitio del proyecto, que tendrá carácter de camino turístico, rescatando vistas importantes, y con algunos lugares de detención con miradores, conformados por una arborización que dé sombra y una pirca para nivelar el terreno.

En resumen, considerando la población que transita la Ruta 5, y el carácter demostrativo de este proyecto, se califica este impacto como **positivo menor**.

### **Resumen**

Sobre la base del análisis del proyecto, se identificaron 30 posibles impactos ambientales, de los cuales 28 fueron calificados como impactos positivos o negativos cuyas calificaciones se resumen en la Tabla adjunta.

De los 28 impactos calificados en este estudio, 10 son positivos y 18 negativos. De los 10 impactos positivos, 2 son relevantes, y 8 de importancia menor. Por otra parte, de los 18 impactos negativos, 4 son Compensables, 2 Mitigables y 12 de importancia menor.

Los principales efectos ambientales positivos del proyecto (impactos relevantes) son causados por el reuso de biosólidos al exterior del CGIB. Esta actividad permitirá mejorar la calidad de los suelos y por lo tanto su potencial productivo, ya sea para fines de praderas, usos forestales o producción agrícola.

Por otra parte, el contar con este Centro de Gestión de biosólidos permitirá contar con infraestructura que es complementaria al programa de tratamiento de aguas servidas de la RM, aumentando la seguridad sanitaria de la Región (impacto 23).

Los principales impactos negativos compensables corresponden a las emisiones de material particulado durante la construcción, a la corta de vegetación nativa, particularmente espinos y a la intervención sobre sitios de interés arqueológico. Cada uno de estos impactos tiene asociado un Plan de medidas de Compensación.

El principal impacto negativo mitigable corresponden a la eventual emisión de gases odorantes que pueden provocar molestias a la comunidad aledaña. Este impacto tiene asociado un plan de medidas de mitigación.

**Tabla 8:** Resumen de las calificaciones de los impactos ambientales

Descripción	Carácter	Calificación
<b>MEDIO FÍSICO</b>		
<b>• Aire</b>		
1. Aumento en la concentración de material particulado respirable en la RM durante C	Negativo	Compensable Mitigable
2. Aumento en la concentración de material particulado respirable en la RM durante OM	Negativo	Compensable Mitigable
3. Aumento en la concentración de gases atmosféricos en la RM durante C	Negativo	Menor
4. Aumento en la concentración de gases atmosféricos en la RM durante OM	Negativo	Menor
5. Aumento en la percepción de olores en las cercanías del CGIB durante OM	Negativo	Mitigable
6. Aumento en el nivel de ruido y vibraciones en las zonas habitadas cercanas a las obras durante C	Negativo	Menor
<b>• Agua</b>		
7. Disminución del caudal superficial que deja el CGIB durante OM	Negativo	Menor
8. Disminución de la calidad del caudal superficial que deja el CGIB durante OM	Negativo	Menor
9. Disminución de la calidad del acuífero bajo el CGIB durante OM	Negativo	Menor
<b>• Suelo</b>		
11. Alteración de la calidad del suelo bajo la zona de obras al interior del CBIB durante C	Negativo	Menor Mitigable
12. Alteración de la calidad del suelo bajo el CGIB durante OM	Negativo	Relevante
13. Mejoramiento de la calidad del suelo donde se aplicarán los biosólidos reusados externamente durante OM	Positivo	
14. Riesgo de desastres naturales en el CGIB durante OM	Negativo	Menor

MEDIO BIÓTICO		
<b>• Vegetación y flora</b>		
15. Alteración en la población de árboles en el terreno afectado por las obras al interior del CGIB durante C	Negativo	Compensable
16. Alteración en la población de árboles en sectores destinados a reforestación al interior del CGIB durante OM	Positivo	Menor
17. Aumento en la calidad de praderas y plantaciones al interior del CGIB durante OM	Positivo	Menor
18. Aumento en la calidad de praderas, cultivos y plantaciones fuera del CGIB durante OM	Positivo	Menor
<b>• Fauna</b>		
19. Disminución de los hábitat para fauna del interior del CGIB durante C	Negativo	Menor
20. Aumento de los hábitat para fauna del interior del CGIB durante OM	Positivo	Menor
MEDIO HUMANO, MEDIO CONSTRUIDO, USO DE ELEMENTOS DEL MEDIO AMBIENTE, PATRIMONIO CULTURAL Y PAISAJE		
<b>• Medio humano</b>		
	Positivo	Menor
21. Generación de empleo en la RM durante C	Positivo	Menor
22. Generación de empleo en la RM durante OM		
<b>• Medio construido</b>		
23. Aumento en la oferta de infraestructura sanitaria en la RM en OM	Positivo	Relevante
24. Aumento en el nivel del tránsito vehicular en la RM durante C	Negativo	Menor
25. Aumento en el nivel del tránsito vehicular en la RM durante OM	Negativo	Menor
<b>• Uso del suelo</b>		
26. Cambio de uso de suelo en el predio donde se ubicará el CGIB durante C y OM	Negativo	Menor
<b>• Patrimonio cultural</b>		
27. Alteración del patrimonio histórico y arqueológico al interior del CGIB durante C	Negativo	Compensable
28. Valoración del patrimonio histórico y arqueológico al interior del CGIB durante OM	Positivo	Menor
<b>• Paisaje</b>		
30. Modificación del paisaje en el CGIB durante OM	Positivo	Menor

Nota: (1) C: Etapa de construcción; OM: Etapa de operación y mantenimiento.

(2) Los impactos números 7 y 29 fueron analizados como impactos posibles pero fueron calificados como “sin impacto”, razón por la cual no figuran en la tabla resumen.

## **1.6 SITUACIÓN ACTUAL DE OTRAS REGIONES Y EL EXTRANJERO**

### **1.6.1 SITUACIÓN EN OTRAS REGIONES DE CHILE**

#### ***Región del Bio Bio.***

Actualmente la Empresa de Servicios Sanitarios del Bio Bio (ESSBIO), tiene contemplado en su Evaluación de Impacto Ambiental la reutilización de biosólidos. Además existe una resolución de calificación ambiental (Resolución Exenta N°229/2002) aprobada para la utilización de biosólidos en plantaciones forestales de la Región del Bio-Bio (Erazo 2007). Actualmente esta región es la que tiene un mayor porcentaje de tratamiento de aguas servidas en Chile (SISS 2008) y además es la única región que reutiliza de forma constante (y no a nivel piloto) biosólidos con fines benéficos.

### **1.6.2 SITUACIÓN EN EL EXTRANJERO**

#### ***Estados Unidos***

En este país, las aguas servidas son tratadas desde el siglo XIX, similar fecha con el Reino Unido y el resto de Europa. Las aguas servidas originalmente eran lanzadas al mar o los ríos, lo cual causó un gran problema de contaminación en muchas ciudades costeras o cercanas a cursos de agua, es por esto que en 1972 se aprobó el "Clean Water Act", el cual obligaba a que las plantas de tratamientos de agua, trataran al menos el 85% de las aguas servidas para el año 1977. Por otro lado, el tratamiento de las aguas llevó a acumular cientos de toneladas de lodos lo cual trajo consigo otro problema ambiental, que era donde depositar estos lodos. Hoy en día existen cerca de 15.000 plantas de tratamientos de agua en Estados Unidos, lo cual significa una producción tremenda de biosólidos. Los biosólidos fueron muy promovidos por la EPA durante la década de los 90, para su utilización como fertilizante agrícola, esto en conjunto con la nueva normativa sobre el uso y disposición de los biosólidos obtenidos por las plantas de tratamientos de agua, "Part 503", la cual creaba el nuevo término biosólidos y promovía su reutilización.

En la siguiente tabla se detalla la producción estimada de biosólidos de Estados Unidos hasta el 2010:

**Tabla 9:** Proyección de producción de biosólidos entre 2000 y 2010

Proyección de producción de Biosólidos en 2000-2005.2010	
Años	Total (millones toneladas base seca)
1998	6,9
2000	7,1
2005	7,6
2010	8,2

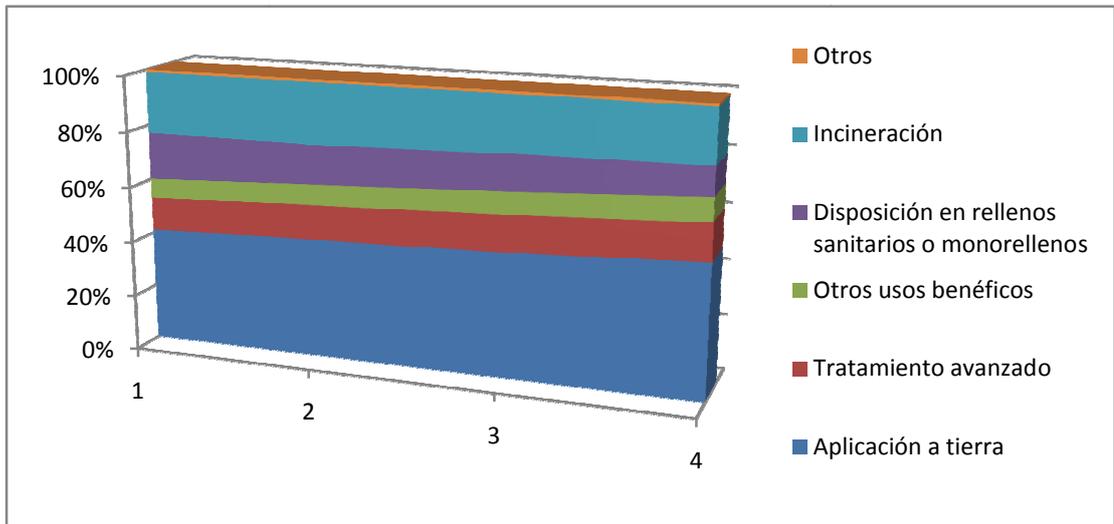
Fuente: EPA

En la tabla a continuación se muestran las tendencias del uso y disposición proyectados por la EPA.

**Tabla 10:** Tendencias de uso y disposición proyectados por la EPA (Fuente: EPA)

Año	Uso benéfico			Disposición final		
	Aplicación a tierra	Tratamiento avanzado	Otros usos benéficos	Disposición en rellenos sanitarios o monorellenos	Incineración	Otros
1998	41%	12%	7%	17%	22%	1%
2000	43%	12,50%	7,50%	14%	22%	1%
2005	45%	13%	8%	13%	20%	1%
2010	48%	13,50%	8,50%	10%	19%	1%

**Gráfico 1:** Proyecciones de tendencia de uso y disposición de biosólidos en Estados Unidos



### **Europa**

En Europa, el reciclaje de biosólidos en la agricultura es una práctica extendida. Está apoyada por la Comunidad Europea y muchos gobiernos de este continente, en la mayoría de las circunstancias, este re-uso benéfico es considerado la mejor alternativa ambiental. Al menos un 40% de los lodos producidos en la Unión Europea son reciclados para uso agrícola.

Actualmente, la nueva normativa de la Unión Europea sobre el tratamiento de aguas servidas urbanas (Directive on Urban Wastewater Treatment), busca minimizar la contaminación proveniente de aguas servidas hacia los cursos de agua.

En el caso particular de Escocia, es un país el cual utiliza los biosólidos para generar electricidad en la planta termoeléctrica de Longannet. Cerca de la mitad de los biosólidos producidos por Escocia son incinerados y transformados en electricidad en esta planta (BBC 2005). Esto ha sido criticado por algunos ambientalistas por la contaminación que puede generar al ambiente los gases productos de esta incineración. Esta experiencia se repite en Golbey, Francia, en donde una planta

procesadora de productos de papel, utiliza biosólidos y biomasa para producir electricidad para la misma planta (

Se estima que para el año 2002 la producción de Biosólidos en la Unión Europea era de 7.5 millones de toneladas en base seca. El valor promedio de biosólidos secos por año y por habitante es de 20 kg. El reciclaje de biosólidos varía mucho dependiendo de los distintos estados miembros de la UE, que puede ir desde el 0% de reciclaje al 40%, siendo el uso agrícola la mayor fuente de reciclaje, alcanzado un 40%, llegando a ser un cerca del 55% al 70% de los biosólidos reciclados para el caso de Francia, Dinamarca y Luxemburgo. Actualmente la UE promueve el uso agrícola de los biosólidos a través de una directiva (86/278/EEC), requiriendo un tratamiento biológico, químico o de calor previo al uso de los biosólidos para fines agrícolas o de recuperación de terrenos erosionados.

### **Argentina**

Se empezaron a realizar estudios sobre la utilización de biosólidos de plantas de tratamientos de aguas servidas en la ciudad de Bariloche el año 1996. A partir del producto final han desarrollado la instalación de la Planta Piloto de Compostaje de Residuos Orgánicos, el producto logrado denominado VITAPLANTA está registrado por SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria de Argentina), para su distribución y venta entre productores regionales.

Otras de las experiencias similares con las mismas tecnologías de Plantas Depuradora y destino final se han producido en la Pcia/. de Corrientes: Paso de Los Libres y Esquina, Monte Caseros, por la empresa Aguas Correntinas S.A.

Durante el año 1995 se inician los estudios e investigaciones sobre la valorización agrícola de biosólidos, la Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes de la Ftad. de Agronomía de Bs.As. Univ. nac. de Bs. As, convenio con Aguas Argentinas S.A. El trabajo de exploración y ensayos se suspendió en el año 1999 por falta de presupuesto.

En el año 1997 se inicia la presentación del proyecto de Fundación América a cargo del Lic. Ricardo Magnarelli, con Aguas Provinciales de Sante Fe. Para el destino

final de los "barros" que provienen de la Planta Depuradora de Cda. de Gómez Sta.Fe . Ese proyecto logró cumplir con el programa de ensayos e investigaciones desde el año 1998 y continuación del 2002 . Actualmente este proyeco con mejoras tecnológicas e innovadora en el sistema de acondicionado y compostaje, mejorarán las condiciones actuales conocidas y practicadas por otras instituciones incluyendo los sistemas utilizados en Europa. En este sentido se ha planificado la base del proyecto general, que define el reciclaje y destino final de los biosólidos. Durante el desarrollo del mismo se determinan las bondades del producto y el mejoramiento logrado.

Los antecedentes de su evaluación el cumplimiento de las normativas y exigencias según el dictamen de las reglamentaciones citadas, junto con las normativas de la Unión Europea y diversas presentaciones se pueden detallar , en la oportunidad de efectuar una disertación, junto con el proyecto del uso agrícola: Rehabilitación y Bioreparacion de los suelos – Plantas de Compostaje (Unidades Laborales). (Magnarelli 2002)

### **Colombia**

En Colombia el proceso de tratamientos de aguas es relativamente reciente, sólo han realizado ensayos preliminares sobre la reutilización de biosólidos, entre los que se destaca protección de taludes, proyectos forestales, recuperación de suelos de minería, explotación de canteras y usos agrícolas y pecuarios. Estos estudios no cuentan todavía con una base estadística. Cabe destacar que en un clima tropical, los suelos se comportan diferentes a que si fuera un clima estacional, lo que implica que la aplicación a suelo de los biosólidos requiere tomar en consideración estos factores (Vélez 2007).

## 2 CAPITULO II: ASPECTOS LEGALES

### 2.1 Decreto Supremo 123 sobre el Reglamento de Lodos Generados en Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas (Anexo 24)

El día 17 de enero del 2005, el comité de ministros de la CONAMA aprobó el “reglamento de lodos” (el nombre es según la publicación noticiosa). Debido a que al momento de elaboración de este informe aún no se tenía acceso al contenido de este reglamento, se considera que actualmente no existe en Chile una normativa clara.

Estos documentos son sólo versiones propuestas en forma preliminar, que se encuentran en estado de borrador o en consulta pública.

Anteproyecto de reglamento para el manejo de Lodos no Peligrosos generados en plantas de tratamiento de aguas (Resolución exenta N°563/2000 de la Comisión Nacional del Medio Ambiente; CONAMA, 2000).

Es una versión preliminar propuesta, y no es definitiva.

#### ***Para la utilización del lodo en la agricultura, establece:***

Las características de los lodos aptos para su uso agrícola, lo que incluye:

Criterios sanitarios (reducción del potencial de atracción de vectores, medido normalmente como una reducción no inferior al 38% en los sólidos volátiles, y contenido máximo de patógenos (que diferencia entre los lodos clase A que son aptos para uso agrícola sin restricciones sanitarias y lodos clase B que son aptos para uso agrícola con restricciones de aplicación según tipo y localización de los suelos o cultivos)

Contenidos totales máximos de metales pesados (As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Se y Zn).

Evaluación ecotoxicológica (germinación de semillas, lixiviación para ensayos con microcrustáceos y ensayos con lombrices del suelo).

Las características de los sitios de aplicación (comprende las clases de suelo, características de los mismos y contenido de metales pesados)

Los criterios para la aplicación de lodos en agricultura (incluye tasas máximas de aplicación y criterios sanitarios)

Proyecto de norma en consulta pública NCh2952.c2004: Lodos – Requisitos y condiciones para un plan de aplicación en suelos (INN, 2004).

Este documento es un proyecto de norma en consulta pública, y no es definitivo. No especifica qué tipo de tratamiento o higienización deben tener los lodos para poder ser aplicados en el suelo. Los requisitos establecidos en este documento se limitan sólo a la tasa de aplicación de lodos y al contenido de metales en el lodo y en el suelo receptor.

**En relación a los requisitos para la aplicación del lodo, establece:**

Que solamente se podrán aplicar lodos en suelos productivos que presentan severas limitaciones para su aptitud frutal natural, en suelos forestales y en suelos degradados y erosionados.

Tasas máximas de aplicación

Características de los suelos receptores de lodos (pendiente, arena, estructura, permeabilidad, clase de drenaje y profundidad efectiva).

Concentraciones totales máximas de metales pesados (As, Cd, Cu, Hg, Ni, Pb, Se y Zn) en el suelo previo a la aplicación de lodos.

Concentraciones totales máximas de metales pesados en el lodo.

**En relación a las restricciones para la aplicación de lodos, establece:**

Restricciones relativas a las características intrínsecas del suelo (no se puede aplicar en suelos con aptitud frutal natural).

Restricciones relativas a situaciones de riesgos del área.

Restricciones relativas a la aplicación del índice de riesgo climático.

## **2.2 Disposición en mono relleno**

Se menciona sólo en el Anteproyecto de reglamento para el manejo de lodos no peligrosos generados en plantas de tratamiento de aguas (CONAMA 2000). No se reglamentan ni los requisitos ni las características técnicas. Sólo se indica que los mono-rellenos podrán ser construidos y operados como anexos a rellenos sanitarios.

## **2.3 DISPOSICIÓN EN RELLENO SANITARIO (Anexo 25)**

Para la disposición en relleno sanitario, existen 3 disposiciones:

### **2.3.1 Ordinario N°6014/1993 de la subsecretaría de salud:**

Establece los requerimientos para considerar los lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales como residuos sólidos domiciliarios y, por lo tanto, adecuados para su disposición en un relleno sanitario. Estos requerimientos son:

Lodo digerido (no se hace mención respecto del nivel de digestión)

Humedad menor o igual a 60%, es decir contenido de sólidos igual o superior a 40% de SS.

### **2.3.2 Versión preliminar del reglamento de rellenos sanitario (Anexo 26)**

Es una versión propuesta y no es definitiva. El artículo 58 de este documento indica que el lodo se puede disponer en un relleno sanitario sólo si la instalación cuenta con la autorización sanitaria para esta acción. La disposición se deberá realizar en celdas, zanjas o sectores especialmente habilitados, en donde se deberá dar recubrimiento inmediato a los residuos, sin que necesariamente se deban compactar.

### **2.3.3 Anteproyecto de reglamento para el manejo de lodos no peligrosos generados en plantas de tratamiento de aguas (Resolución exenta N°563/2000 de la comisión nacional del medio ambiente; CONAMA, 2000)**

Este documento es una versión preliminar propuesta y no es definitiva. Para la co-disposición en un relleno sanitario, establece que el lodo no debe superar el 6% (base húmeda) de los residuos depositados y además debe cumplir los siguientes requisitos: reducción de atracción de vectores, tratamiento de higienización y contenido de humedad no superior a un 70%.

## **2.4 CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA**

En caso de incorporar procesos que involucren combustión, se deben considerar los siguientes 3 documentos en relación con las emisiones a la atmósfera.

### **2.4.1 D.S. N°4/1992 del ministerio de salud (norma de emisión de material particulado para fuentes estacionarias y grupales ubicadas en la RM).**

Indica que las fuentes estacionarias puntuales (fuente estacionaria cuyo caudal es igual o superior a 1.000 m<sup>3</sup>/h bajo condiciones estándar, medido a plena carga):

No podrán emitir material particulado en concentraciones superiores a 112 mg/m<sup>3</sup> bajo condiciones estándar.

Deberán compensar el 100% de sus emisiones de material particulado, en el caso que se trate de fuentes nuevas.

Indica que las fuentes estacionarias grupales (fuente estacionaria cuyo caudal es inferior a 1.000 m<sup>3</sup>/h bajo condiciones estándar, medido a plena carga) que no correspondan a equipos de calefacción:

No podrán emitir material particulado en concentraciones superiores a 56 mg/m<sup>3</sup> bajo condiciones estándar.

**2.4.2 D.S. N°16/1998 del ministerio Secretaría general de la presidencia, modificado por el D.S. N°20/2000 (plan de prevención y descontaminación para la RM).**

Este documento exige la implementación de medidas de mitigación tendientes a evitar la contaminación atmosférica por material particulado producto de las actividades de la construcción, entre las cuales se destacan: uso de procesos húmedos para la molienda y mezcla de materiales, el sellado de carrocerías de camiones que transporten materiales, el uso de mallas protectoras en las faenas para evitar la dispersión de polvo, el uso de contenedores para recibir y acopiar los escombros, el reciclado de materiales de construcción, el lavado de vehículos dentro del lugar de construcción. Además indica que es necesario reducir en forma significativa las emisiones de material particulado (PM10), Monóxido de carbono (CO), óxidos de Nitrógeno (Nox), Compuestos orgánicos volátiles (COV) y dióxidos de azufre (SO<sub>2</sub>).

**2.4.3 D.S. N°58/2003 del Ministerio Secretaría general de la presidencia**

En su artículo 51 exige que los proyectos que se sometan al SEIA en la RM y cuyas emisiones máximas sean superiores a 10 ton/año de MP10, 100 ton/año de CO, 50 ton/año de NO<sub>x</sub>, 100 ton/año de COV o 150 ton/año de SO<sub>x</sub>, deberán compensar el 150% del monto total anual de emisiones del proyecto para el o los contaminantes para los cuales se sobrepase el valor antes indicado. Indica que estas emisiones corresponden a emisiones directas (las que se emiten dentro del predio o terreno donde se desarrolla la actividad) y a emisiones indirectas (asociadas al aumento del transporte producto de la nueva actividad).

Resolución N°2063/2005 Ministerio de Salud, SEREMI de salud R.M.

Se establecen las fuentes estacionarias a las que le son aplicables las normas de emisión de gases (CO y SO<sub>2</sub>).

## **2.5 Otras DISPOSICIONES relevantes**

### **2.5.1 Código Sanitario, DFL N°725/67 del Ministerio de Salud**

El artículo 79 indica que cualquier construcción, reparación, modificación y ampliación de cualquier planta de tratamiento de basuras y desperdicios de cualquier clase debe contar con la autorización previa del Servicio de Salud. El artículo 80 indica que el Servicio de Salud es el organismo responsable de la autorización y supervisión de cualquier sitio para la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basura.

### **2.5.2 Ley 19.300 Bases del Medio Ambiente (1993)**

El artículo 10, letra 0, especifica que las plantas de tratamiento de aguas, incluyendo el manejo de los lodos generados, deberán someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental.

### **2.5.3 Ordenanza del Plan Regulador Metropolitano de Santiago**

El artículo 7.2.3 regula la disposición transitoria o final de residuos sólidos e indica que estos sitios corresponden a estaciones de transferencia, plantas de compostaje, centros de acopio, rellenos sanitarios, plantas de tratamiento térmico y lugares de disposición final de residuos de la construcción y/o demoliciones, de residuos sólidos hospitalarios y de residuos sólidos industriales. El artículo define también los requerimientos que los sitios mencionados deben cumplir

### **2.5.4 Ley general de servicios eléctricos**

### **2.5.5 Oficio N°4781, modifica la Ley general de servicios eléctricos (Anexo 27)<sup>3</sup>**

### **2.5.6 Decreto Supremo 45 que Establece Norma de Emisión de Incineración y Co-incineración (Anexo 28)**

---

<sup>3</sup> Mejor conocida como “Ley Corta”

### **3 CAPITULO III: ALTERNATIVAS ACTUALES Y POTENCIALES PARA USO DE BIOSÓLIDOS**

Actualmente, los biosólidos en Chile, son destinados en su mayoría a disposición final, sin embargo, se ha demostrado que tienen diversos usos que pueden ser valorados en cierta medida por el mercado. Aguas Andinas ha estado evaluando durante los últimos años distintas valorizaciones para los biosólidos: reuso silvoagrícola, revegetación de pasivos ambientales y proyectos de áreas verdes y valorización energética (Arriagada 2007) Los biosólidos presentan características que los hacen muy buenos fertilizantes tanto para la industria agrícola como forestal, también presentan características que los hacen capaces de recuperar tranques de relaves (fitoestabilización), recuperar canteras, rellenos sanitarios, etc. Además, se ha estudiado la posibilidad de fabricar ladrillos con un porcentaje de biosólidos. En otros países se puede ver que el uso como fertilizante está muy desarrollado, incluso en Estados Unidos y el Reino Unido se han usado desde el año 1920.

El uso como fertilizante ha demostrado ser muy efectivo, ya que los biosólidos tienen muchos nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo) para recuperar suelos y sirve como un abono de muy alta calidad. Pero el uso de fertilizantes ha tenido sus pros y contras, principalmente cuando se habla de usos agrícolas, esto debido a que los biosólidos si no son debidamente tratados pueden transmitir enfermedades. Además han sido objetos de críticas por parte de algunos ambientalistas ya que estos poseen miles de químicos provenientes de la actividad industrial, los cuales pueden llegar a ser nocivos para la salud, como las dioxinas, metales pesados e incluso se ha visto la presencia de elementos radioactivos en algunas ocasiones por la presencia de residuos de máquinas de Rayos X. Su uso en plantaciones forestales ha demostrado ser exitoso tanto en el extranjero como en la región del Bio-Bio, mostrando aumentos del diámetro de los árboles, que van del 10% al 40% como en algunos países. Pero tanto para la industria agrícola como forestal su uso está limitado, debido a que se debe esperar un largo tiempo entre distintos periodos de aplicación (su uso es una variable discreta), mientras que la producción de biosólidos es una variable continua, ya que se generan durante todo el año, por lo cual no se puede depender

exclusivamente de esta forma de reutilización en miras a buscarle una alternativa a la disposición final.

Otro uso un poco más incipiente pero que ha venido creciendo con fuerzas es el de la energía. La incineración es una alternativa que muchas empresas han encontrado para poder reducir la cantidad de lodos que han acumulado. Esta tiene por objetivo tanto la reducción, como la recuperación de la energía que se obtiene de los biosólidos. Dejando de lado el biogás que actualmente ya es recuperado por empresas como Aguas Andinas, la incineración y co-incineración es una alternativa para producir energía debido al poder calorífico de los biosólidos (con un promedio de 2.700 k/cal a una sequedad del 70%). Esta opción distintas alternativas entre las que destacan la construcción de un incinerador específicamente para los biosólidos que puede ser administrado por la empresa de tratamientos de agua, una co-incineración en algún horno de alguna industria distinta (por ejemplo, cementos) o co-incineración en una planta termoeléctrica.

Sin embargo, hay autores que dicen que la incineración de biosólidos puede ser una práctica ambientalmente poco amigable, debido a que ciertos metales pesados no se pueden eliminar mediante la incineración y que éstos pueden transformarse en sustancias más tóxicas (Dreisbach, citado por Vélez 2007).

De todas formas, se ha visto una gran experiencia en la co-incineración de biosólidos en la planta termoeléctrica de Longannet, Escocia, la cual incinera casi la mitad de los biosólidos producidos por este país y ha reducido el riesgo ambiental debido a la acumulación de éstos o del vertimiento al mar.

Actualmente se han hecho estudios técnicos en Chile para demostrar que es posible utilizar biosólidos en la fabricación de ladrillos cerámicos, es decir, que han sido obtenidos por cocción a través de un proceso industrial y los cuales cumplen con las exigencias establecidas en las normas chilenas para la fabricación de este tipo de productos. A priori se arroja el proyecto de fabricación de ladrillos con biosólidos es rentable, e incluso con esto se podrían reutilizar al menos la mitad de los biosólidos (62%) producidos en la planta la Farfana.

## **4 CAPITULO IV: ANÁLISIS TÉCNICO PARA ALTERNATIVAS DE USO**

### **4.1 CONSIDERACIONES PREVIAS**

Para la proyección de flujos en el supuesto de que el Centro de Tratamiento Integral de Biosólidos El Rotal, va a estar operativo desde el año 2009. Este centro de tratamientos integral, permitirá obtener biosólidos compostados con una sequedad de entre 40 y 70%. Estos lodos serán clase A, es decir sin restricción de aplicación a suelo según los proyectos de normativas (EIA, CGIB El Rotal, 2006). Además estos se secarán pensando en distintos tipos de uso que se pueda tener.

### **4.2 OPCIÓN COMO FERTILIZANTE**

#### **4.2.1 Barreras legales y técnicas**

También las PTAS están regidas por la ley 19.300 de Bases Generales de Medio Ambiente a través del Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) y por lo tanto las PTAS deben cumplir con la Resolución de Calificación Ambiental dada por la autoridad y cualquier modificación a esta resolución, debe modificarse y entrar al SEIA.

Para esta opción de reutilización hay que considerar el Proyecto de Reglamento de Utilización de Lodos de PTAS, DS 123, actualmente en trámite y que fue mencionado anteriormente, el cual tiene por objetivo regular el manejo sanitario de biosólidos para proteger la salud de las personas y el medioambiente.

Este reglamento establece las condiciones que deben cumplir los biosólidos para ser utilizados en la agricultura. Este exige un Plan de Aplicación de Lodos, el cual deberá contener, además de los datos del generador y de los predios donde se aplicará, la siguiente información:

1. Antecedentes del área de aplicación y su representación en un plano del predio georeferenciado (Carta IGM) a escala de detalle que incluya las distancias a áreas residenciales, viviendas individuales y fuentes de agua potable, así como:
  - a. Mapa básico de suelos caracterizados por unidades homogéneas.
  - b. Curvas de nivel
  - c. Condiciones climáticas del sector de aplicación.
  - d. Otros
2. Caracterización físico-química del suelo en que se aplicará el lodo
  - a. pH
  - b. Conductividad eléctrica
  - c. Otras
3. Antecedentes del proceso de generación de lodos el cual debe incluir la cantidad de aplicación de lodos
4. Caracterización de lodos
  - a. Contenido total de metales pesados (anteriormente señalados)
  - b. Porcentaje de materia orgánica
  - c. Contenido de sólidos totales y contenido de humedad (porcentaje)
  - d. Conductividad eléctrica
  - e. pH
5. Manejo agronómico
  - a. Técnica de incorporación de lodo al suelo, frecuencia, época, tasa de aplicación, especie a sembrar entre otras.
6. Programa de seguimiento

Los biosólidos del CGIB El Rutal, cumplen con las normativas técnicas de caracterización de biosólidos presentados por este proyecto de normativa.

#### **4.2.2 Consideraciones generales sobre la aplicación de lodos con fines agrícolas**

Tanto Estados Unidos como en Europa se espera aumentar el porcentaje de utilización de biosólidos con este fin, debido a que sus características orgánicas lo convierten en un abono ideal.

Pero cuando se creó el sistema de aguas servidas a través del inodoro, se pensó en hacer un sistema orientado a las aguas domiciliarias, pero no se consideró un sistema aparte para las aguas industriales (principalmente debido a los costos). Esto lleva a que los residuos orgánicos que efectivamente poseen las aguas servidas, sean mezclados no tan sólo con metales, si no que con miles de tóxicos, desde pesticidas a base de cloro como el DDT, dioxinas, asbesto, solventes industriales, etc., (PR Watch.org 1995). Además hay otros autores que han mostrado la existencia de personas que tienen conflictos de interés dentro de la EPA (empresarios del rubro de los fertilizantes) y otros que aseguran que el *lobby* de empresarios en los Estados Unidos ha hecho demasiado permisible la utilización de biosólidos con fines agrícolas (Center for Media and Democracy, 1995 y Stauber 2000 “Toxic Sludge is Good For You”).

Ante esta nueva información que se ha hecho pública, independiente de su veracidad o no, genera conmoción en las personas y por lo tanto genera una percepción negativa de productos agrícolas fertilizados con biosólidos.

Dado este escenario de incertidumbre con respecto al uso de biosólidos con fines agrícolas, es que existe la posibilidad de que no se logre implementar a gran escala, la utilización de biosólidos con este fin en Chile.

### **4.3 OPCIÓN DE INCINERACIÓN**

#### **4.3.1 Barreras Legales**

Para poder instalar una planta incineradora de biosólidos se requieren una serie de permisos sectoriales por parte de los organismos competentes, principalmente en el ámbito ambiental, entre los cuales están:

##### ***D.F.L 725/67. Servicio de Salud Código Sanitario.***

Residuos sólidos aplicables a todos los proyectos, incluidos en el artículo 93 del reglamento del SEIA; que se refiere a los permisos para la construcción, modificación y ampliación de cualquier planta de tratamiento de basuras y desperdicios de cualquier clase; o para la instalación de todo lugar destinado a la acumulación, selección,

industrialización, comercio o disposición final de basuras o desperdicios de cualquier clase, tratándose de una planta de incineración es aplicable al proyecto específicamente en las letras “a”, “d” y “f” las que se refieren a los Aspectos Generales, Plantas de Incineración y Almacenamiento de Residuos respectivamente, además de someterse al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) a través de la realización de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) y/o Declaración de Impacto Ambiental (DIA), según corresponda

#### **4.3.2 Barreras Tecnológicas (Fuente: Arriagada 2007)**

En nuestro país aún no existe la tecnología adecuada para innovar o desarrollar este proyecto. Toda información y experiencias sobre el tema provienen del extranjero, por lo tanto, llevar a cabo este estudio implicaría realizar una adaptación a lo que es nuestra realidad como país.

#### **4.3.3 Sistema de incineración (Fuente: Arriagada 2007)**

Una instalación de incineración, debe poseer: pre tratamiento y alimentación del residuo, cámara de combustión, depuración de gases, extracción de escorias y cenizas.

El biosólido es sometido a un pretratamiento antes de la alimentación de la cámara de combustión. La alimentación es preferible hacerla en forma continua. Esto reduce la cantidad de cenizas en suspensión y las fluctuaciones en la temperatura de combustión.

La cámara de combustión seleccionada, luego de analizar los distintos tipos de hornos, es un horno de lecho fluidizado, por presentar características más adecuadas para la incineración de biosólidos, como son:

- Permitir una mezcla intensiva del material evitando la formación de trozos que se carbonizan exteriormente, reteniendo agua en su interior,
- La temperatura en la segunda cámara fluctúa entre 980 y 1400°C, mientras que el lecho se mantiene entre 780 y 870°C,

- Los tiempos de residencia de los gases suelen fluctuar alrededor de los 2 seg, mientras que para residuos sólidos el tiempo de residencia es de 1 a 5 seg,
- Requiere aire en exceso de 100- 150%, lo que minimiza la formación de NO<sub>x</sub>.

A pesar de que consumen mayor energía, exigen mayores costos de inversión y tienen menor capacidad, ofrecen un mejor comportamiento ambiental al disminuir la formación de óxidos de nitrógeno y de carbono al permitir la retención de óxidos de azufre.

En ésta se generan principalmente residuos de cenizas y arena, las pérdidas de arena son comúnmente del 5% del volumen de lecho por cada 300 horas de operación, la cual podría ser reutilizada en el proceso mediante la utilización de un tamiz, en el que las partículas hasta cierta dimensión serán retenidas y volverán al ciclo, y las restantes podrían ser reutilizadas en procesos de construcción siempre y cuando se compruebe mediante el test de lixiviación que no presentan características de peligrosidad.

El sistema de captación de partículas de bajo diámetro más adecuado es el precipitador electrostático, debido a que no está limitado por la temperatura, puede trabajar en un rango de 400 a 650°C, presenta una pérdida de carga reducida, costos de operación y mantenimiento reducido, sin embargo, presenta costos iniciales elevados de inversión e instalación.

Posteriormente, es necesario un lavador (Scrubber), para eliminar algunos ácidos y gases procedentes de la composición de los residuos incinerados, principalmente cloro, ácido clorhídrico, óxidos de azufre y nitrógeno, y compuestos orgánicos de combustión incompleta. Los gases se lavaran en el scrubber con hidróxido de calcio (lechada de cal) para formar un precipitado que es sulfato de calcio (yeso).

Luego por una parte se forman polímeros y por otra, los residuos pasan por un filtro final de emisiones para ser eliminados finalmente por la chimenea.

Luego de formarse polímeros en el scrubber, estos pasan por una cámara de sedimentación de gravedad, y posteriormente deben pasar por un filtro de vacío, para finalmente eliminar las cenizas.

Las cenizas deberían ser tratadas consiguiendo su inertización si se determina su clasificación como residuo peligroso, siendo el tratamiento óptimo la vitrificación, un proceso de tratamiento térmico que consiste en la fusión de las cenizas en un horno eléctrico a temperaturas superiores a 1200°C, añadiéndose a las cenizas diversos materiales del tipo de los borosilicatos previamente a la fusión que destruye los compuestos orgánicos presentes en las cenizas volantes, convirtiendo a éstas en un residuo químicamente inerte que puede ser depositado en vertederos convencionales, o bien ser vertidas en depósitos de seguridad sin realizar ningún tratamiento previo.

Se podrían utilizar las escorias en capas granulares para ejecutar las subbases de carreteras cuando se verifiquen las exigencias técnicas y los resultados del ensayo de lixiviación permanezcan por debajo de los límites permisibles. Otra aplicación consiste en el uso de las escorias para el terraplenado, también se pueden reutilizar para recuperar metales. El detalle del sistema propuesto se muestra en la figura 10.

Los residuos líquidos del proceso provienen principalmente del agua de purga de la caldera, la cual puede ser vertida a los cauces naturales o, antes del vertido, enviarla a un tanque de neutralización de pH; agua de purga de la torre, una pequeña cantidad verterla a la red general, para evitar problemas de contaminación es conveniente realizar un control de la temperatura en el punto de vertido, pudiéndose utilizar para calefacción doméstica o de oficinas de la industria; adicionalmente se encuentran las aguas sanitarias, antes de su vertido realizar un tratamiento secundario aeróbico por fangos activos; aguas pluviales, conducir las a un pozo para la separación de partículas en suspensión y sedimentables, después llevarlas a red general; aguas procedentes del equipo lavador, es necesaria la utilización de un tratamiento físico-químico en función de la carga contaminante que se desea eliminar.

La instalación de incineración debe contar con sistemas para la medición continua de indicadores de buenas prácticas de operación y control, entre los sistemas desarrollados para realizar la captación de continuo para la determinación de

PCDD/PCDF se encuentra el DioxinMonitoringSystem. Este sistema se fija a la chimenea permanentemente y permite obtener resultados medios de captaciones de hasta dos o cuatro semanas. El operador debe cambiar únicamente el cartucho de titanio que contiene en su interior la espuma de poliuretano (PUF) captadora de dioxinas, antes de comenzar una nueva toma de muestras. Esto implica que no se necesita de un técnico especializado en captaciones que vigile el proceso ya que este se regula automáticamente. Además las instalaciones deben contar con un programa para atención a contingencias y con los sistemas para prevenir y responder a incendios o explosiones, así como a fugas o derrames de residuos.

Es necesario realizar un análisis Orsat, esto para conocer los productos de la combustión, ya sean los porcentajes de CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> y CO; la composición química aproximada del combustible; y para calcular el porcentaje de aire teórico y la relación aire-combustible.

#### 4.3.4 Inversión requerida para la Implementación de Incinerador de biosólidos

##### *Inversiones*

Para el proyecto de una planta de incineración de biosólidos, es necesario invertir en componentes principales que son las maquinarias, horno, sistema de gases, separación de partículas y gases, además de las obras de infraestructura civil. Basándose en antecedentes de plantas de residuos sólidos industriales se estimará para una planta de incineración de biosólidos con un tiempo de vida útil de 20 años y una capacidad de 250.000 ton/año (más del 60% de lo que se producirá al año 2010), se tiene:

**Tabla 11:** Inversiones para planta incineradora en US\$

Inversiones en la Planta Incineradora (US\$)	
Sistemas de Combustión	13.615.257
Limpieza de gases	19.036.500
Producción de Energía*	15.949.500
Obra Civil	3.301.641
Total	51.902.898

Fuente: Erazo 2007 a partir de datos de ISEL,

(\*) Contempla 2 grupos turboalternadores de potencia 15Mw cada uno, sistemas de condensación-refrigeración y un sistema para el tratado del agua de alimentación de las calderas.

**Tabla 12:** Inversión en obras civiles para planta incineradora

Inversión Obras Civiles				
Ítem	Unidad	Cantidad	P. unitario(US\$)	Total (US\$)
Caminos y patios	M2	5.000	29	145.000
Movimientos de tierra	M3	10.000	7	70.000
Agua Potable	Gl	1	14.286	14.286
Electricidad	Gl	1	28.571	28.571
M2 Edificación Industrial	M2	2.500	429	1.072.500
Estructuras	Gl	1	1.000.000	1.000.000
M2 Edificación Servicios y Adm.	M2	1.000	343	343.000
Balanzas	Gl	2	71	142
Generador de Emergencia	Gl	2	28.571	57.142
Cierre	M	1.000	71	71.000
Terreno				500.000
<b>Total obras civiles</b>				<b>3.301.641</b>

Fuente: Erazo 2007 en base a datos de ISEL,

**Personal**

A continuación se incluye la tabla del personal estimado para el funcionamiento de las 7500 horas que se proyecta trabajar al año, dicho personal se distribuirá en tres turnos. Adicionalmente se contempla la contratación de personal de apoyo mediante asesorías externas como es el caso de monitoreo medioambiental, apoyo de mecánicos, entre otros.

**Tabla 13:** Costos de personal de incineradora

Costos de personal			
Cargo	Cantidad	P. Unitario(mes)	Total (US\$)/año
Gerente de Planta	1	4286	51.432
Administración	2	1000	24.000
Encargado de Producción	2	2100	50.400
Mecánicos de mantenimiento	6	1250	90.000
Operarios de Planta	30	625	225.000
Servicios	12	536	77.184
<b>Total Anual(US\$)</b>			<b>518.016</b>

Fuente: Erazo 2007 en base a datos de ISEL,

**Costos de explotación**

Los costos de explotación incluyen los gastos generales de la planta, así como los insumos químicos para el proceso de depuración de gases, también se incluyen los

gastos de mantenimiento, repuestos y contrato de terceros. Se incluyen, además, los costos del seguimiento medioambiental y el tratamiento de escorias y cenizas.

**Tabla 14:** Costos de explotación de incineradora

Costos de explotación	
Gastos Generales	Total (US\$)/año
Teléfono	17.474
Limpieza oficinas	48.926
Agua	44.732
Energía eléctrica	74.554
Combustibles	48.926
Asesoría	48.926
<b>Gastos de depuración</b>	
Productos Químicos	394.903
<b>Gastos de mantenimiento</b>	
Parada Anual y otros costos de mantenimiento	1.480.595
Repuestos	320.349
<b>Otros gastos de Explotación</b>	
Tratamiento y transporte de escorias	700.108
Tratamiento y transporte de cenizas	465.962
Análisis varios	48.926
<b>Mediciones Medioambientales</b>	
Plan de seguimiento	518.966
Otros gastos y contingencias varias	486.931
<b>Total gastos de explotación</b>	<b>4.700.278</b>

Fuente: Erazo 2007 en base a datos de ISEL,

Los costos totales de operación anuales ascenderían a US\$ 5.218.294 mientras que el envío de la misma cantidad de biosólidos a relleno sanitario representaría un total de US\$2.400.000 por costos de transporte (a una distancia promedio de 60Km, caso KDM) y US\$4.000.000 por costos de disposición anuales, lo que totaliza un costo anual de US\$6,4 millones.

### ***Evaluación Ambiental***

Los principales impactos ambientales al instalar una planta incineradora son: los ruidos, principalmente del tráfico de vehículos pesados, los cuales pueden ser

minimizados en función de la ubicación de la planta; olores, originados en los fosos de almacenamiento y eventualmente por la chimenea, la solución es extraer gases y depurarlos del efluente gaseoso; los lixiviados, que son originados en los fosos de vertido y las escorias, son inyectadas en la cámara de combustión y depositadas en vertederos.

#### 4.3.5 Consideraciones para la co-incineración en plantas termoeléctricas

Los biosólidos tienen un poder calorífico similar e incluso mayor que el que presenta el Carbón café (Brown coal), el cual tiene un valor energético promedio 2.250 kcal/kg (World Coal Institute, 2007). En este sentido el biosólido puede ser un sustituto de este tipo de carbón y complementado con otros combustibles, como carbón bituminoso o sub-bituminoso, pet-coke, etc., puede ser una buena alternativa para generar energía renovable (no convencional), cumpliendo las actuales normativas vigentes en el país.

Además, la co-incineración en una planta termoeléctrica, aumenta la eficiencia térmica, pudiendo alcanzar un 60% en las plantas de ciclo combinado que actualmente se han estado construyendo en el país, comparado con tan sólo un 28% de la que tiene el incinerador de biosólidos (Wikipedia, 2008).

Entre la quinta y la sexta región, existen plantas termoeléctricas que pueden transformarse en potenciales clientes, en la tabla se resumen las principales generadoras que debido a su tecnología, podrían utilizar biosólidos en su proceso

**Tabla 15:** Potenciales termoeléctricas usuarias de biosólidos entre la V y VI región

Termoeléctricas V, VI y RM				
Tipo	Región	Empresa	Generadora	Ubicación
Turbo gas y a vapor	RM	COLBUN	Nehuenco	Quillota
Térmica vapor	VI	COLBUN	Candelaria	Sn Fco de Mostazal
Turbo gas	RM	ENDESA	San Isidro	Quillota
Turbo gas	RM	AES Gener	Nueva Renca	Renca
Térmica biomasa	VI	AES Gener	Planta mostazal	Sn Fco de Mostazal
Térmica vapor	RM	AES Gener	Renca	Renca

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Comisión Nacional de Energía (CNE)

Junto a estas, se encuentran en proyecto algunas nuevas termoeléctricas, en Concón y en San Antonio, las cuales pueden ser potenciales consumidores de biosólidos como fuente de energía renovable en su proceso de combustión.

Aquí haremos el supuesto de que las generadoras eléctricas van a pagar el costo de transporte, ya que de todas formas ellas tienen que costear este ítem de todas formas para otros tipos de combustibles, como petróleo y carbón.

#### 4.3.6 Consideraciones térmicas

La energía que hay en los biosólidos, lo determinamos en base poder calorífico inferior (PCI) es de 2.700 Kcal por Kg de biosólido.

La equivalencia de kcal a kWh viene dada por la siguiente fórmula:

$$1 \text{ kcal} = 0,001162 \text{ kWh}$$

Que es equivalente a:

$$1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}$$

Como resultado, se obtiene la potencia total que puede generar 1 kcal, suponiendo una eficiencia térmica del 100%. La eficiencia térmica es una relación que se puede definir como la capacidad de energía que un generador, puede extraerle al combustible (en este caso biosólidos).

La eficiencia térmica de un incinerador es de un 28% aproximadamente, por lo que la equivalencia quedaría como sigue:

$$1 \text{ kcal} = \frac{860}{0,28} \text{ kWh}$$

$$1 \text{ kcal} = 3071 \text{ kWh}$$

Si consideramos el PCI del biosólido por kg, con una eficiencia térmica del 28%, obtenemos:

$$2700 \text{ kcal} = 0,88 \text{ kWh}$$

Por lo tanto con 1 kg de biosólido en un incinerador, se obtienen 0,88 kWh.

Para el caso de co-incineración en una termoeléctrica, consideramos una eficiencia térmica del 50%, tomando en cuenta de que las actuales plantas de turbogas tienen eficiencias cercanas al 60% y las a vapor-carbón tienen eficiencias del 40 al 50%. La equivalencia queda como sigue:

$$1 \quad h = \frac{860}{0,50}$$

$$1 \quad h = 1720$$

$$2.700 \quad = 1,57 \quad h$$

Esto quiere decir que se necesitan 1.720 kcal para producir 1 kWh, y con 1 kg de biosólidos, obtenemos 1,57 kWh.

#### 4.4 OPCIÓN DE FABRICACIÓN DE LADRILLOS CERÁMICOS

Dentro de las alternativas posibles de eliminación de lodos, la producción de ladrillos en base a éstos se perfila como una solución integral de gestión, en consideración a su composición, ya sea en materia orgánica, su contenido en elementos trazas metálicos, y los microorganismos patógenos, o los compuestos orgánicos contaminantes residuales (como plaguicidas, disolventes, colorantes, etc.) ya que todos estos elementos condicionan en alguna medida su aplicación en otras opciones; como la fertilización de terrenos agrícolas, la disposición en rellenos sanitarios, etc.

La fabricación de ladrillos en base a lodos, aborda por ejemplo el problema del manejo de los metales pesados, puesto que gracias al propio proceso de fabricación de un ladrillo, en especial en la cocción, y bajo ciertas condiciones de control se puede asegurar que los metales serán retenidos en la matriz del ladrillo formando parte de su estructura físico-química y, con ello se restringe fuertemente o se anula la posibilidad de que exista lixiviación y posterior contaminación a causa de estos metales.

Además, otro problema que se elimina con esta aplicación de los lodos es su potencial de emisión de olores debido a los compuestos orgánicos que posee, ya que también en la cocción éstos son eliminados completamente, a la vez que los compuestos inorgánicos que posee el lodo (arcillas, tierras, etc.) sirven para reforzar la estructura mecánica del ladrillo al quedar incorporados en éste. Otra de las atractivas ventajas que confiere el uso de lodos en la fabricación de ladrillos, es la incorporación de materia orgánica, ya que ésta al degradarse y combustionarse durante la cocción, crea una porosidad interna en el ladrillo propiciada por la formación y salida de los gases de descomposición, lo que favorece un mejor aislamiento térmico de estos ladrillos en comparación a uno que no incluya lodos en su fabricación. Esta propiedad de aislamiento térmico es debida, en cualquier material, a la porosidad interna que posea y el tamaño de ésta, lo que provee al material de espacios cerrados conteniendo aire en su interior, que frenan la transmisión del calor. Una ventaja que se deriva de la anterior, es el ahorro de energía en el proceso gracias a que el ladrillo contiene materia combustible brindada por los lodos, aprovechando al mismo tiempo el medianamente elevado poder calorífico inferior que poseen. Además, como los lodos pueden ser incluidos en estado natural, es decir, húmedos, esto permite un ahorro de agua en el proceso de producción.

No puede desconocerse si embargo, que al incluir biosólidos en la fabricación de ladrillos, existen ciertos problemas, como la emisión de olores al secar los ladrillos, emisión de gases durante la cocción (ya sean gases inorgánicos u orgánicos volátiles), pero éstos son controlables a través de algunos ajustes en los procesos industriales, como incorporar el uso de scrubbers, o lavadores, y en algunos casos filtros para los olores.

No obstante, haciendo un balance entre las ventajas y desventajas que reportaría el uso de los biosólidos como sustituto parcial de la materia prima en la fabricación de ladrillos, se advierte que sus beneficios son numerosos y algunos de especial valor, lo que valida ésta como una alternativa eficiente y con alto potencial de aplicación en los procesos industriales, que permita obtener productos de características muy similares e incluso, algunas mejorarlas para conferir un valor agregado a los productos.

### ***La ceramización como medio de eliminación segura de los lodos***

Hoy en día, se puede hablar de la ceramización de materiales arcillosos como uno de los mecanismos por los cuales se puede procurar una correcta gestión de lodos de plantas de aguas servidas, ya que al ser utilizados como parte de las materias primas son eliminados por la vía de la reutilización o valorización.

### ***Proceso de fabricación de ladrillos cerámicos***

La fabricación de materiales cerámicos, en especial de ladrillos, requiere la ejecución de varias etapas o tareas, cada una con ciertas consideraciones básicas para lograr el objetivo de tener un producto cerámico que cumpla ciertas condiciones de calidad, como la resistencia mecánica y la absorción de agua, parámetros que se encuentran normados tanto para ladrillos artesanales como industriales.

El proceso comienza con la preparación de los materiales, ya sea la arcilla y el residuo a incorporar o lodo;

a) la primera etapa se trata de tamizar y/o triturar las arcillas para eliminar los residuos orgánicos grandes, disminuir el tamaño de los terrones y dar a la arcilla y al lodo una textura uniforme, para asegurar que la distribución del tamaño de granos de ambos es homogénea y adecuada al proceso.

b) Luego de esto sigue la etapa de secado de la arcilla, la cual se hace a una temperatura determinada por espacio de 24 horas, esto porque la arcilla se trabaja en seco para conformar el material cerámico.

c) Luego viene la etapa de mezcla de los materiales (arcilla y lodo), donde se incluyen los posibles aditivos que se agreguen al proceso, como los desgrasantes.

d) Una vez lograda una mezcla homogénea de los materiales, se procede a humedecer las pastas, para dar la consistencia plástica que permita moldearlas, dejándolas en un período de reposo.

e) Luego se da la forma a las pastas por el método de moldeo que se aplique, para dar la forma característica del ladrillo.

f) Una vez moldeado el material, se deja secar por algún medio que permita eliminar la mayor parte de la humedad que ha sido agregada al material para su moldeo. Esto se suele hacerse dejando el material al aire libre por algunos días, generalmente 5 ó 7 días, o si el proceso es industrial se usan hornos secadores especiales.

g) La etapa última y la más importante del proceso es la cocción, la cual tiene por objeto formar la fase amorfa de la pasta y dar con ello las propiedades intrínsecas de un material cerámico, como su resistencia mecánica, características químicas y físicas, debido a la disminución de porosidad que se consigue y el consecuente aumento de la densidad del material. Esta etapa también contempla el enfriamiento de las piezas, el cual debe ser con velocidad controlada para evitar fracturas en los ladrillos.

Los biosólidos utilizados en este estudio fueron facilitados por la empresa sanitaria Aguas Andinas, y proviene de la planta de tratamiento de aguas servidas El Trebal.

Los biosólidos elegidos para el trabajo correspondieron a lodos extraídos de zonas diferentes del depósito de la planta o “monofill”, los cuales han tenido diferentes procesos de tratamiento para su secado y acopio.

A continuación se identifican los principales tipos de biosólidos utilizados en el trabajo y se muestran algunos de los análisis que la empresa Aguas Andinas ha realizado a éstos y que ha facilitado junto con las muestras.

Biosólidos de zona 1: estos biosólidos son depositados desde el período de puesta en marcha de la planta de tratamiento y se sabe que poseen un alto contenido de metales. Su depósito se hace sobre el terreno en forma homogénea, conformando capas de material y que adquiere la apariencia de un terreno plano debido a la compactación que va sufriendo.

Parte de la analítica que corresponde a este biosólido se presenta a continuación:

**Tabla 16:** Elementos encontrados en biosólidos

Elemento	Unidad	Valor muestra
Humedad	%	27,76
Nitrógeno total	g/kg	35,7
Sólidos fijos	%	54,93
Sólidos totales	%	72,24
Sólidos Volátiles	%	45,07

Fuente: Aguas Andinas citado por Arriagada 2007

**Tabla 17:** Elementos en biosólidos

Elemento	Unidad	Valor muestra
CD Cadmio total (Cd) M.S.	mg/kg	2,14
Níquel total (Ni) M.S.	mg/kg	79
Selenio total (Se) M.S.	mg/kg	35,89
Zinc total (Zn) M.S.	mg/kg	1601
Bario (Ba)	ppm	130
Cromo (Cr)	ppm	230
Cobre (Cu)	ppm	670
Antimonio (Sb)	ppm	<5
Mercurio (Hg)	ppm	0,8
Cadmio (Cd)	ppm	5
Plomo (Pb)	ppm	85
Cobalto (Co)	ppm	13
Zinc (Zn)	ppm	0,17 (% en peso)
Níquel (Ni)	ppm	70
Óxido de aluminio (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	ppm	1,7 (% en peso)
Hierro (Fe)	ppm	2,2 (% en peso)
Arsénico (As)	ppm	35

\*M.S.: Materia Seca

Fuente: Aguas Andinas citado por Arriagada 2007

Biosólido de biosecado en monorrelleno: este lodo es depositado en el terreno formando dunas, su proceso se basa en un semi compostaje natural; su composición es relativamente uniforme en cuanto a la textura de la mezcla.

Los análisis de estos lodos son expuestos en la Tabla a continuación:

**Tabla 18:** Elementos que componen los biosólidos de biosecados

Elemento	Unidad	Valor muestra
Calcio total (Ca) M.s.*	mg/Kg	76719
Coductividad eléctrica	dS/m	11,2
DBO	mg/Kg	201378
Demanda química de oxígeno	mg/Kg	516355
Potasio total (K) M.S.*	mg/Kg	2818
Materia Orgánica	%M.O.	41,5
Magnesio total (Mg) M.S.*	mg/Kg	8840
Manganeso total (Mn) M.S.*	mg/Kg	457
Sodio total (Na) M.S.*	mg/Kg	912
pH		6,28
Azufre (S-SO4)	g/Kg	1,3
Sólidos totales	%	88,19

Fuente: Aguas Andinas, 2007

**Tabla 19:** Metales en los biosólidos

Elemento	Unidad	Valor muestra
Arsénico total (As)	mg/Kg	15,12
Cadmio total (Cd)	mg/Kg	2,62
Cromo total (Cr)	mg/Kg	237,2
Cobre total (Cu)	mg/Kg	734,9
Hierro total (Fe)	mg/Kg	25459
Plomo total (Pb)	mg/Kg	65,9
Manganeso total (Mn)	mg/Kg	457
Mercurio total (Hg)	mg/Kg	1,51
Molibdeno total (Mo)	mg/Kg	9
Níquel total (Ni)	mg/Kg	90,7
Selenio total (Se)	mg/Kg	2
Zinc total (Zn)	mg/Kg	1466

Fuente: Aguas Andinas, 2007

### ***Evaluación de los Resultados***

Las probetas de lodo zona 1 cumplieron los requisitos mínimos que exige la norma chilena NCh169.Of2001. El valor promedio de absorción de agua que presentaron las probetas es de 16.99%, valor menor al 18% que exige dicha norma. El valor promedio que presentaron estas probetas para el ensayo de resistencia a la compresión es de 9,2 MPa, lo cual excede el valor mínimo exigido en la norma (5 MPa) en casi el doble.

Por lo tanto, para los parámetros evaluados a través de los ensayos aplicados en las probetas de lodo zona 1, se evalúa como satisfactorios los resultados obtenidos. De este modo, según la norma chilena NCh 169, las probetas hechas con 15% de lodo zona 1 son homologables a un ladrillo cerámico de grado 3.

En cuanto a las probetas hechas con biosólido biosecado, según los resultados exhibidos para el ensayo de absorción de agua y resistencia a la compresión; se concluye que no pueden ser homologables a un ladrillo cerámico de grado 3, según la norma chilena NCh169.Of2001.

Sin duda, el hecho de estudiar a futuro el uso de lodos en ladrillos que se hacen mediante sistemas mecanizados, es una razón para esperar una considerable mejora de las propiedades de los ladrillos, que repercutirá en mejores resultados para los parámetros de absorción de agua y resistencia a la compresión. En este sentido, sería interesante investigar el uso de biosólidos en la fabricación de ladrillos a nivel industrial, donde es posible contrarrestar los efectos que provoca la adición de lodos en las masas cerámicas a través de varios medios auxiliares que permiten mejorar también los resultados; entre estos medios se encuentra la posibilidad de utilizar desgrasantes en el proceso, los cuales pueden provocar una corrección de los tiempos de secado y disminuir la posibilidad de contracciones, además esta la posibilidad de crear piezas con perforaciones y formas y evaluar su comportamiento.

Además, al propiciar el desarrollo de estos estudios en el ámbito industrial, sería posible conseguir una optimización de la cantidad de lodo a añadir en la conformación de las pastas cerámicas, logrando un aumento de ésta hasta niveles cercanos al 30%, que puede ser perfectamente aplicable como así lo demuestran los estudios y aplicaciones en la fabricación de materiales de construcción que se han venido haciendo desde los años 80, sobretodo en Europa, de cuya experiencia se han sentado las bases para la realización de este trabajo.

### ***Evaluación ambiental***

Esta evaluación consiste en una revisión de los aspectos cualitativos sobre las ventajas y desventajas que ofrece la reutilización de biosólidos de las plantas de tratamiento de aguas servidas en la fabricación de ladrillos.

En el ámbito de las ventajas que reporta la ceramización de lodos se pueden considerar las siguientes:

- Se disminuye la disposición de biosólidos en monorrelenos, con el consecuente ahorro económico que ello reporta.
- Al reducir el uso de arcilla para fabricar ladrillos o elementos cerámicos, se reduce el nivel de explotación de las canteras desde donde se extrae la arcilla.

Esta disminución en la extracción de arcilla es equivalente, en toneladas, a la cantidad de lodo que se use como materia prima auxiliar en la fabricación de ladrillos.

El proceso de fabricación de ladrillos con biosólidos ofrece menores costos, puesto que por una parte se tiene un ahorro en los costos de adquisición de arcilla.

Por otra parte, se tienen ahorros en los costos energéticos debido a varias razones:

- El elevado poder calorífico inferior (PCI) de los lodos, lo cual representa una mejor transferencia de calor en los ladrillos al ser sometidos a la cocción
- Al incorporar a los ladrillos materia orgánica existente en los lodos, también se produce un ahorro en la cocción debido a la combustibilidad que sufre esta materia orgánica. Esto repercute en que una mayor cantidad de los minerales que contiene la arcilla puedan reaccionar y formar fase líquida amorfa.
- Se produciría también un ahorro en el consumo de agua en el proceso, ya que ésta es aportada en cierto porcentaje por los lodos.
- Una de las ventajas más importantes que produce la ceramización de los lodos es, sin duda, la capacidad de retención y eliminación segura de los metales pesados que contienen los lodos, cuya eficacia depende de varios factores; entre los de mayor importancia caben mencionar la naturaleza de los minerales

de arcilla y de la fase amorfa líquida que forman, de la temperatura de volatilización de los metales y sus óxidos y de la granulometría de la arcilla.

- Las probetas creadas en este trabajo, considerando específicamente las de zona 1 por haber demostrado resultados satisfactorios, tienen densidades menores con respecto a un ladrillo normal, lo que puede crear un efecto positivo debido al transporte, ya que si se paga por tonelada de ladrillo transportado, para una misma cantidad de ladrillos de zona 1 se incurrirá en menor requerimiento de transporte.
- Un ladrillo hecho con lodos, debiera necesariamente presentar un mayor nivel de aislamiento térmico debido a mayor porosidad creada en él (lo que se condice con la menor densidad observada), lo que supone que un edificio fabricado con ladrillos de este tipo disminuye sus costos energéticos debido a un mayor aislamiento térmico.
- Los ladrillos son hoy en día, materiales que representan los mayores porcentajes de uso en la construcción; representan un 30%4 de los materiales usados para la edificación total de todo tipo: viviendas, industria, comercio y servicio. Por lo tanto, dada su gran demanda en las edificaciones a nivel país, es susceptible reutilizar elevada cantidad de biosólido en la fabricación de ladrillos.

Sin embargo, a pesar de las ventajas que reviste el uso de lodos en la fabricación de ladrillos, es necesario considerar los inconvenientes que se originan para lograr una valoración ambiental integrada. Algunos de los aspectos que revisten problemas ambientales son:

- Incurrir en la adaptación de infraestructura y/o maquinarias, para recibir los lodos y procurar su correcto almacenamiento y procesamiento.
- Emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV's) como a-pineno, disulfuro de metilo, trisulfuro de dimetilo, metilmercaptano y ácido acético.

Por lo que se hace necesario la depuración y eliminación de estos compuestos a través de la instalación de lavadores, lo que haría disminuir en parte los beneficios

logrados en el proceso, sin embargo, esta disminución de beneficios aún dejaría como saldo ahorros positivos que hacen rentable esta alternativa.

- Emisión de gases de tipo inorgánicos; como partículas en suspensión, cloruro de hidrógeno, metales, etc. lo que sugiere hacer una caracterización acerca de los tipos de emisiones y sus concentraciones, para evaluarlos en función de las normas de emisión que existan para los distintos compuestos o elementos.
- La posibilidad que se establezcan normativas o hagan cambios en la legislación ambiental, que pudiera afectar el uso de lodos en la fabricación de ladrillos.
- Existe el temor ante la aceptación social que pueda tener un ladrillo hecho en base a residuos biológicos, puesto que en general, los materiales reciclados representan una imagen negativa.

En consideración a lo anterior, un ladrillo hecho con lodos se puede considerar como un material ecológico que ofrece similares características técnicas e incluso algunas mejoradas, con respecto un ladrillo común en el mercado actual pero, que además tiene un valor agregado debido a la inclusión de residuos potencialmente contaminantes como vía de solución al problema de su manejo y eliminación.

### ***Evaluación de beneficio-costos***

Para iniciar el análisis, los antecedentes básicos que deben considerarse para evaluar la alternativa de uso de biosólidos en los ladrillos son los siguientes:

Antecedentes de costos:

1.- Los costos de elaboración de un ladrillo común se pueden dividir, en términos generales, en 25% de costo de materia prima, un 25% de costos energéticos y un 50% de amortización y costos laborales. Sin embargo, según datos entregados por una de las empresas, el costo de materia prima de un ladrillo común de medidas 29 cm x 14 cm x 7,1 cm, equivale entre un 15% - 20%. Se tomará un promedio de 18% de costo de materia prima, 32% de costos de energía y 50% de costos laborales y amortización.

2.- El costo de elaboración de un ladrillo, tomando como referencia un ladrillo estándar de medidas 29 cm x 14 cm x 7,1 cm, es de \$150 cada uno.

3.- Al considerar la alternativa de utilización de lodos en la fabricación de los ladrillos con sustitución de un 15% de la materia prima, los costos de materia prima se estima pueden disminuir a un 84% (si la adquisición de biosólidos tuviese sólo el costo equivalente al transporte, el que se ha estimado en un 40% de acuerdo a antecedentes recopilados). Se considera que el costo de obtención de los biosólidos es cero ya que en la actualidad no posee valor residual.

4.- Al implementar la alternativa en estudio, el costo energético de producción se verá disminuido en un 10%, ello haciendo un balance entre los costos asociados a la ventajas propiciadas por los ahorros en energía y, los costos de las inversiones destinadas a solventar los problemas derivados en el proceso (como la instalación de un scrubber e incluyendo un filtro de olores).

#### Antecedentes sobre beneficios:

1.- El precio de venta de un ladrillo común de medidas 29 cm x 14 cm x 7,1 cm se sitúa en el rango de \$190 - \$200 cada uno.

2.- Se asume que el precio de venta de un ladrillo hecho con biosólidos, de las mismas medidas de un ladrillo común tendría el mismo precio de venta final, se tomará por tanto un precio de venta de \$195. Por lo tanto el beneficio principal que reporta el proyecto son los ingresos por venta del producto.

3.- Los otros beneficios asociados al proyecto se constituyen por el ahorro de costos en que se incurre al implementar la alternativa. Estos beneficios son:

- ahorro estimado de un 16% en el costo de materia prima
- ahorro estimado en costos energéticos de un 10%

**Tabla 20:** Resumen de ahorro de costos al utilizar biosólidos

Costos por unidad	Total	Beneficios por unidad	Total
-------------------	-------	-----------------------	-------

Costos laborales	\$ 75	Costo ladrillo normal	\$ 150
Costos materia prima	\$ 22,70	Ahorro costos materia prima	\$ 4,30
Costos energéticos	\$ 43,2	Ahorro costos energéticos	\$ 3,80
<b>Costos totales</b>	<b>\$ 140,9</b>	<b>Ahorro por unidad</b>	<b>\$ 8,10</b>

#### 4.5 OTROS MERCADOS

Existen otros potenciales mercados que pueden utilizar biosólidos. Entre ellos se puede mencionar la utilización de éstos en recuperación de tranques de relaves (pasivos mineros), recuperación de canteras, reforestación (no industrial), cierre de rellenos sanitarios, entre otros.

Estos escenarios son considerados en otros trabajos respecto al tema, pero presentan algunos problemas, como la falta de una demanda estable por biosólidos para estos fines, por ejemplo, si consideramos la recuperación de tranques de relaves, nos daremos cuenta de que a las empresas no les exigen la recuperación de éstos y cualquier iniciativa está más orientada a una estrategia de Responsabilidad Social Empresarial, y por lo tanto la empresa minera no estaría dispuesta a pagar por esto. Si consideramos el cierre de canteras, veremos que no hay una demanda estable para este fin, ya que no es un proceso constante, al igual que el cierre de rellenos sanitarios, además en ambos caso el precio sería un elemento muy difícil de cuantificar.

Por lo tanto, no consideraremos otras formas de reutilización ni otros mercados, debido a que no son relevantes, tanto por los bajos volúmenes, como por la falta de un precio que se pueda transformar en un menor valor del precio de agua pagado por los consumidores.

## **5 CAPITULO V: MERCADO DE LOS BIOSÓLIDOS PARA LA REGIÓN METROPOLITANA (RM)**

El mercado de para los biosólidos está dado por todos aquellos quienes utilicen los biosólidos para un fin distinto a la disposición final, ya sea mono-rellenos, rellenos sanitarios, y que además tenga un valor para aquellos quienes usarán estos biosólidos.

No se puede considerar “mercado” a aquellos quienes usan biosólidos sin la presencia de una valorización de éste por parte de quien los demande, como por ejemplo, empresas encargadas de la disposición final de los biosólidos ó cualquier entidad que use biosólidos y que el costo que incurra la planta de tratamiento de agua, para entregarle los biosólidos a esta entidad, sea mayor que el costo que actualmente incurre en la disposición final de los biosólidos. Tampoco se considerará mercado a quienes se les entregan muestras de biosólidos para investigación, debido al bajo volumen que requiere y por lo tanto nos es de gran relevancia.

Se analizará en primer lugar las alternativas de uso potenciales y futuras para la reutilización de biosólidos y posteriormente se analizarán algunos mercados que pueden tener relevancia para el caso de nuestro país, de forma tal de que los biosólidos tengan alguna valoración por parte de estos mercados.

Actualmente en Chile no existe un mercado propiamente tal para los biosólidos como si lo existe en países como Estados Unidos o en el Reino Unido, en donde existen marcas de fertilizante producidos con biosólidos y empresas que incineran biosólidos (y en algunos casos pagan por éstos) para la producción de energía.

### **5.1 EL MERCADO DE LOS BIOSÓLIDOS PARA USO FORESTAL Y AGRÍCOLA**

Actualmente hay estudios en Chile sobre el mercado de los biosólidos como un fertilizante ó abono, para la RM. Para estimar la demanda para la reutilización agrícola y forestal de los biosólidos consideraremos el estudio realizado por Erazo. Este estudio se basa en un análisis de distintas opciones de uso en Chile y revisión de las experiencias extranjeras. Este estudio parte con una consulta a un panel de expertos a través del método Delphi, el cual consta de 4 etapas con cuestionarios sucesivos.

También se hizo una elaboración cartográfica de distintas áreas de la RM para cada opción (forestal y agrícola). Finalmente, teniendo todas estas variables se realiza a una evaluación multicriterio para seleccionar opciones y sitios. Los criterios de este análisis son el punto de referencia, que son factores (criterios que realzan la capacidad de asentamiento de una alternativa) y limitantes (criterios que restringen disponibilidad de superficie). Esta evaluación se realizó para cuantificar las hectáreas que representan mejores condiciones para la recepción de biosólidos. Se utilizaron los siguientes criterios:

- Distancia a plantas de tratamientos (0 a 100 km)
- Distancia a Caminos (0 a 500 m)
- Distancia a Pozos de Extracción de Agua (0 a 500 m)
- Distancia a Captación Superficial de Agua (0 a 500 m )
- Distancia a Centros urbanos (0 a 500 m)

Estos criterios permiten hacer una **estimación de la demanda potencial** en la RM de la cantidad de hectáreas que podrían recibir biosólidos para uso forestal o agrícola. A esto hay que restar la aceptación de uso como fertilizante por parte de la población y toman un valor de referencia de un 10% (valor conservador) en base al valor de aceptación de Francia que es del 8%. Esto es un **supuesto muy importante** para el cálculo de demanda potencial.

Esta metodología para determinar la demanda potencial, tiene algunas falencias, ya que no considera las percepciones de los potenciales consumidores, ya sea los dueños de predios agrícolas, industrias del área o consumidores finales quienes buscan abonos para sus plantas. A futuro se recomienda hacer un estudio acabado sobre el potencial de uso de biosólidos como fertilizantes en predios agrícolas y forestales, para esto se debe hacer una encuesta estadísticamente significativa y con una muestra representativa de los tomadores de decisión (en su mayoría, dueños) en los terrenos agrícolas y forestales de la RM. Por lo demás la aplicación al suelo actualmente está condicionada al Plan de Impacto Ambiental de cada planta de tratamiento de agua y existe un reglamento que está de proyecto, cuyo borrador nos muestra muchas restricciones para el uso de biosólidos como fertilizante agrícola,

siendo muy probable que se deban hacer inversiones para el tratamiento de los biosólidos con tal de obtener Lodos Clase A. Por otro lado, hay que considerar que cada vez han sido más criticados los usos agrícolas de los biosólidos en el extranjero (, lo que en el futuro puede redundar en regulaciones más restrictivas para éste uso.

### ***El mercado agrícola***

El estudio muestra que hay un 13% de la superficie agrícola de la RM, apta para recibir biosólidos, lo que suma 34.474 ha. De éstas, un 10% cumplen con los criterios establecidos para recibir biosólidos. Esto se traduce en una **demandas potencial de 10.249 ton de materia seca por año** (valores al año 2006). Para el año 2010 se estima una demanda potencial de 11,9% del total de la producción de biosólidos proyectadas para ese año, es decir una demanda de **10.377 ton materia seca para el 2010**.

Sin embargo, estas cifras son alentadoras y si se compara con el uso de otros países puede ser incluso superior. Pero hay que considerar que tanto en la Unión Europea como en Estados Unidos se han realizado fuertes campañas promocionales y educacionales sobre los beneficios de biosólidos en plantaciones agrícolas para aumentar la aceptabilidad tanto de los productores como de los consumidores. Esta inversión no se ha hecho en Chile y por eso hay que considerar distintos escenarios para la demanda agrícola de biosólidos.

- **Escenario pesimista:** El peor escenario que enfrentamos para el uso agrícola, es una normativa muy restrictiva, sin promoción alguna de los beneficios del uso de biosólidos para plantaciones agrícolas y por lo tanto una nula aceptación por parte de los productores. En este caso la **demandas de biosólidos es nula**.
- **Escenario normal:** El escenario normal que proyectamos, es uno en el que la normativa es la que actualmente se proyecta y no existe promoción de los biosólidos. Por lo tanto la aceptación puede ser variable. En este caso consideraremos la propuesta de Erazo para la demanda potencial de la RM. La cual está representada en la siguiente tabla:

**Tabla 21:** Escenario normal para demanda de biosólidos con valorización agrícola

Año	Total ton/año en base seca	% producción demandado	Demanda Estimada
2009	59.202	17,5%	10.360
2010	87.155	11,9%	10.371
2011	88.468	11,7%	10.351
2012	89.779	11,5%	10.325
2013	91.113	11,3%	10.296
2014	92.418	11,2%	10.351
2015	93.751	11,0%	10.313
2016	95.099	10,9%	10.366
2017	96.428	10,7%	10.318
2018	97.392	10,7%	10.421
2019	98.366	10,7%	10.525
2020	99.350	10,7%	10.630
2021	100.343	10,7%	10.737
2022	101.347	10,7%	10.844
2023	102.360	10,7%	10.953
2024	103.384	10,7%	11.062

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Erazo 2007

- Escenario Optimista:** El escenario optimista está dado por una regulación más permisiva y con la mayor aceptación posible por parte de los productores. Aquí nos haremos un supuesto que puede ser irrealista pero que sirve para considerar el rango en los que se puede mover la demanda. En este caso consideraremos que el 50% de los biosólidos son destinados para estos fines, tomando como referencia un valor conservador pero cercano a los valores de Estados Unidos y Europa de uso de biosólidos para fines agrícolas. Las demandas para los mismos periodos se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 22:** Escenario optimista para demanda de biosólidos con valorización agrícola

Año	Total ton/año en base seca	% producción demandado	Demanda Estimada
2009	59.202	50%	29.601
2010	87.155	50%	43.578
2011	88.468	50%	44.234
2012	89.779	50%	44.890
2013	91.113	50%	45.557
2014	92.418	50%	46.209
2015	93.751	50%	46.876
2016	95.099	50%	47.550
2017	96.428	50%	48.214
2018	97.392	50%	48.696
2019	98.366	50%	49.183
2020	99.350	50%	49.675
2021	100.343	50%	50.172
2022	101.347	50%	50.673
2023	102.360	50%	51.180
2024	103.384	50%	51.692

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Erazo 2007

### ***El mercado forestal***

El mercado de biosólidos para el mercado forestal, es menor que el mercado agrícola debido a la menor superficie apta para recibir biosólidos según muestra la tesis de Erazo. Para el caso del uso forestal, se ha promovido mucho su uso en otros países y se ha logrado buenos resultados en aumento tanto de diámetro como de altura de los árboles. Además no ha sido objeto de críticas por parte de los ambientalistas, porque al no estar en la cadena alimenticia, no afectan directamente la salud humana y por lo tanto existen mejores perspectivas sobre su uso. Sin embargo igual consideraremos escenarios para la demanda de este producto, en función de la demanda estimada por Erazo.

- **Escenario pesimista:** En este escenario consideraremos una normativa restrictiva con respecto al uso de biosólidos y una poca aceptación de biosólidos por parte de predios forestales. Para este caso consideraremos una demanda equivalente a la mitad de la demanda estimada por Erazo.

**Tabla 23:** Escenario pesimista para demanda de biosólidos con valorización forestal

Año	Producción Ton/año MS	% producción demandado	Demanda Estimada
2009	59.202	0,6%	355
2010	87.155	0,6%	523
2011	88.468	0,6%	531
2012	89.779	0,4%	359
2013	91.113	0,4%	364
2014	92.418	0,4%	370
2015	93.751	0,35%	328
2016	95.099	0,35%	333
2017	96.428	0,35%	337
2018	97.392	0,35%	341
2019	98.366	0,35%	344
2020	99.350	0,35%	348
2021	100.343	0,35%	351
2022	101.347	0,35%	355
2023	102.360	0,35%	358
2024	103.384	0,35%	362

Fuente: Elaboración propia en base a Erazo 2007

- **Escenario normal:** En este caso hemos considerado la aproximación de Erazo para el uso de biosólidos en plantaciones forestales. Esto es un porcentaje igual al 10% de la superficie forestal apta para la aplicación de biosólidos en la RM. Las cifras, en función de los porcentajes del total de biosólidos que utilizaría se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 24:** Escenario normal para demanda de biosólidos con valorización forestal

Año	Producción Ton/año MS	% producción demandado	Demanda Estimada
2009	59.202	1,2%	710
2010	87.155	1,2%	1.046
2011	88.468	0,8%	708
2012	89.779	0,8%	718
2013	91.113	0,8%	729
2014	92.418	0,7%	647
2015	93.751	0,7%	656
2016	95.099	0,7%	666
2017	96.428	0,7%	675
2018	97.392	0,7%	682
2019	98.366	0,7%	689
2020	99.350	0,7%	695
2021	100.343	0,7%	702
2022	101.347	0,7%	709
2023	102.360	0,7%	717
2024	103.384	0,7%	724

Fuente: Elaboración propia en base a Erazo 2007

- Escenario optimista:** Para este escenario consideraremos una mayor aceptación por parte de los predios forestales y una legislación más permisiva que puedan facilitar una mayor cantidad demandada de biosólidos. En este caso, consideraremos una cantidad equivalente al doble de la proyectada por Erazo para cada año. Esto supone un mayor porcentaje de superficie dispuesta a utilizar biosólidos, pero sigue siendo inferior al 50% de la superficie forestal apta disponible en la RM para aplicación de biosólidos.

**Tabla 25:** Escenario optimista para demanda de biosólidos con valorización forestal

Año	Producción Ton/año MS	% producción demandado	Demanda Estimada
2009	59.202	2,4%	1.421
2010	87.155	2,4%	2.092
2011	88.468	1,6%	1.415
2012	89.779	1,6%	1.436
2013	91.113	1,6%	1.458
2014	92.418	1,4%	1.294
2015	93.751	1,4%	1.313
2016	95.099	1,4%	1.331
2017	96.428	1,4%	1.350
2018	97.392	1,4%	1.363
2019	98.366	1,4%	1.377
2020	99.350	1,4%	1.391
2021	100.343	1,4%	1.405
2022	101.347	1,4%	1.419
2023	102.360	1,4%	1.433
2024	103.384	1,4%	1.447

Fuente: Elaboración propia en base a Erazo  
2007

### ***El precio para el mercado de fertilizantes***

Para determinar el precio de los biosólidos, hemos considerado los productos fabricados con biosólidos en Estados Unidos, los cuales en su mayoría son composts o tierras de hoja, en donde mezclan los biosólidos junto a otros componentes para obtener un producto final envasado los cuales se venden a través de distintas “nurseries” (viveros o comercio orientado a la jardinería). Para esto hemos considerado tres marcas de composts fabricados con biosólidos: Amend y Topper de Kellogg’s, y Milorganite de la planta de tratamiento de aguas de Milwaukee, la cual ofrece este producto en el mercado por más de 80 años (Milorganite, 2008). Si bien, estos productos se venden al por menor, también están disponibles al por mayor y utilizaremos precios conservadores para el caso de Chile (ya que la demanda está considerada para el mercado al por mayor). Para conseguir los precios se llamó y buscó a través de internet, los precios de estos productos en distintos tipos de envases. Hay que dejar en claro que esto es un sondeo y por lo tanto no es una muestra estadísticamente significativa, pero aún así, pudimos constatar que los precios

no varían mucho según el local que se venda y por lo tanto no es una mala aproximación. Los precios se detallan a continuación

**Tabla 26:** Precios de distintas marcas de composts fabricados con biosólidos

Marca	Kilos (1)	Litros	Precios USD	Precios Cl\$(2)	Precio Cl\$ x Kg
Kellogg's Amend	53,1	85,0	9,49	4745	89,4
Kellogg's Topper	53,1	85,0	9,49	4745	89,4
Milorganite	16,3		10,97	5485	336,1

(1) La equivalencia usada es de 1.6 litros por kilo. Es un valor aproximado

(2) Se utilizó un precio de 500 pesos por dólar

Fuente: Elaboración propia en base a cotizaciones en línea y por teléfono a distintos viveros de Estados Unidos



Por otro lado, en Chile existe una gran variedad de marcas que ofrecen productos similares, por lo tanto también hay que considerar estos precios para operar en el mercado local. Cabe destacar que en la mayoría de los casos, los productos hechos con biosólidos tienen en promedio un menor valor que los de la competencia (esto se puede verificar cotizando a través de internet). En Chile, hicimos un sondeo en las tiendas Homecenter Sodimac de algunos productos, en su mayoría locales, de composts y tierras de hojas. Estos se pueden ver en la siguiente tabla:

**Tabla 27:** Precio de distintos compost orgánicos en el mercado nacional

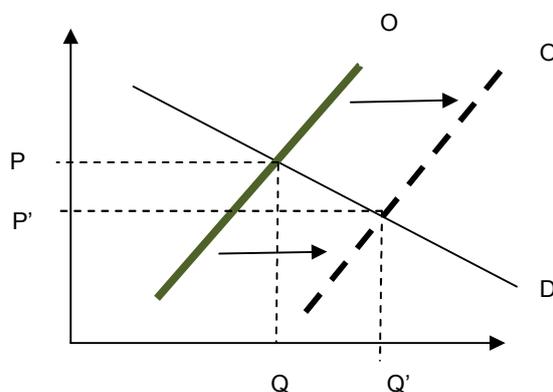
Fertilizante	Cantidad (kg) (1)	Cantidad (L)	Precio	Precio x Kg
Armony - maceteros	9,4	15,0	1.990	212
Rosario - tierra mejorada	6,3	10,0	1.990	318
Terragreen - T. de Hojas Reforzada	16,0	30,0	2.690	168
Anasac - tierra orgánica	3,8	6,0	1.690	451
Anasac - T. de Hojas desinfectada	50,0	-	5.990	120
Anasac - T. Biológica Compost	50,0	80,0	4.990	100
Gaspar Green - T. de Hojas Reforzada	50,0	80,0	3.990	80
Anasac - T. para maceteros	25,0	15,0	3.990	160
Armony - T. para siembra de pastos	55,0	60,0	3.890	71
H. Lee. M. - Tierra de litre	40,6	65,0	3.790	93
Rosario - Compost con abono	50,0	80,0	3.690	74
Ergo - Compost	50,0	80,0	2.990	60
Compost-humus genérico	50,0	80,0	2.000	40

(1) La equivalencia usada es de 1.6 litros por kilo. Es un valor aproximado

Elaboración propia en base a valor de Homecenter Sodimac Julio 2008 y otros valores cotizados a través de Internet

Finalmente, el precio que utilizaremos para hacer las proyecciones de ingresos, será un valor conservador del mercado nacional. El precio de “genérico” a \$40 el kilo parece un precio razonable si consideramos que no va a existir un trabajo de creación de una marca para promover el uso de biosólidos como fertilizante o compost. Pero también hay que considerar el factor de la **elasticidad precio de la demanda**. Como podemos ver es un mercado relativamente competitivo y probablemente exista algún grado de elasticidad precio de la demanda, por lo que ante cualquier aumento en el precio, la cantidad demandada va a variar. Además hay que tomar en cuenta de que al hacer un cambio tecnológico de este tipo (vender biosólidos como compost), la curva de oferta se va a desplazar hacia la derecha, lo cual va a hacer caer el precio y por lo tanto es esperable que el precio de \$40 baje en un porcentaje equivalente al grado de elasticidad.

**Gráfico 2:** Variación de precio debido a desplazamiento en la oferta



Fuente: Elaboración propia

Hay que considerar que los precios de Estados Unidos son más altos, pero a su vez los hechos con biosólidos son más bajos que productos similares de la competencia y además estos constan con la existencia de una marca con su respectivo posicionamiento, conocimiento e imagen, lo cual le da un valor agregado. En este estudio no contemplaremos la existencia de una marca para los biosólidos que Aguas Andinas venda, pero ante cualquier caso es recomendable la creación de una, junto a una respectiva estrategia de marca para de esta forma, darle un valor agregado al producto y facilitar el proceso de compra por parte de cualquier potencial usuario.

## 5.2 EL MERCADO DE LA ENERGÍA (INCINERACIÓN)

Una alternativa que se ha utilizado en el mundo, es el uso de biosólidos para generar energía a través de la incineración de éstos, debido a su alto contenido en materia orgánica y por lo tanto un poder calorífico capaz de generar energía (electricidad). Esta alternativa de uso, es la segunda más usada a nivel mundial entre aquellos países que reutilizan los biosólidos. La incineración de por sí, tiene por objetivo fundamental la reducción del volumen generado pero también se ha demostrado que se puede generar electricidad a través de su incineración, lo cual lo transforma en una fuente de energía renovable y probablemente menos contaminante que otras.

Para esto, hemos visto que existen dos formas de incinerarlos, la primera es a través de un incinerador exclusivo para biosólidos o biomasa, y co-incineración de los biosólidos en termoeléctricas, principalmente de carbón, pero también termoeléctricas que funcionan con pet coke y petróleo.

En Sandford, Florida (Estados Unidos), se ha inaugurado recientemente una planta regasificadora y un incinerador de biosólidos, que le va a permitir al municipio ahorrar 9 millones de dólares gracias a la recuperación de energía que se pretende obtener con la energía térmica. Esto es considerado como una fuente renovable de energía para este país, por lo que es importante tomar en cuenta la nueva regulación en Chile, que obliga a las empresas generadoras, tener en su matriz energética al menos un 5% de energías renovables para el año 2010 y de ahí en adelante tendrán que aumentar un 0,5% por cada año, hasta llegar al 10% el año 2014 y los biosólidos podrían ser una solución a esta nueva regulación (ACERA citado por Ponce, 2008), debido a que pueden ser considerados una fuente renovable de energía. Además de eso, si consideramos que un incinerador para biosólidos generaría cerca de 15.000 kilowatts, la Ley Corta de Electricidad del año 2004, autoriza a que las empresas cuyas fuentes de energías sean no convencionales e inyecten al sistema de transmisión hasta 20.000 kw, estarán exceptuados del pago total o de una porción de los peajes por el uso de los medios de transmisión troncal (Ley Corta, 2004). Lo cual da la posibilidad de incineración de biosólidos, no sólo de ser una alternativa ambientalmente amigable, sino que también una alternativa potencialmente rentable.

### **5.2.1 INCINERADORA PARA BIOSÓLIDOS**

Las incineradoras para biosólidos, son plantas en las cuales se incineran los biosólidos principalmente para reducir su volumen, posteriormente se han descubierto formas para recuperar la energía que se genera en base a esta incineración. En algunos países estas incineradoras se encuentran incluso en la misma ciudad, como el caso de Madrid, Barcelona y Navarra, en donde funcionan con los más altos estándares de protección al medio ambiente. La presencia de estas incineradoras en la ciudad permite abaratar costos de transporte.

Existe un estudio de prefactibilidad técnica y económica sobre la instalación de un incinerador para biosólidos en la RM, de .Arriagada 2007. Este trabajo corresponde a una tesis en la cual se hace un estudio a distintos tipos de incineradores, se elige el más adecuado dada las características del entorno y se realiza un análisis de las inversiones y costos de este proyecto. Además, este proyecto considera la opción de recuperación de energía, que según muestra este estudio, haría rentable la construcción de este incinerador (en otro caso, el incinerador no es rentable como forma de reducir los costos de transporte de residuos y disposición).

Esta planta tiene una capacidad para incinerar de 250.000 toneladas de biosólidos en base húmeda, es decir, un 60% del total de biosólidos a producirse el año 2010. La idea es utilizar biosólidos con secado solar o biosecado, con un 60 a 75% de humedad y utilizar un incinerador con tecnología de lecho fluidizado por ser considerados mas apropiados para la incineración de biosólidos, en anexos se detalla el proceso en este tipo de horno. Este incinerador permitiría a la empresa Aguas Andinas, ahorrar costos por un menor costo de traslado y disposición de los residuos (ya que se reduce en aproximadamente en 50% el volumen final de los residuos y con menos requerimientos para ser tratados). Lamentablemente se evaluó que esta alternativa por sí misma no es rentable debido a la alta inversión que hay que realizar y el ahorro de costos no es tan significativo. Sin embargo existe la alternativa de recuperación de energía, esta tecnología permite generar unos 15.000 Kw de electricidad, lo cual permite no sólo autoabastecer la energía usada por el incinerador, sino que también queda un remanente de 12.000 Kw que podrían ser vendidos a través del sistema eléctrico.

Para cuantificar la demanda por biosólidos para este mercado, hemos considerado la construcción de un incinerador exclusivo para biosólidos, con las características mencionadas por Arriagada, considerando la recuperación de energía dentro del sistema. A continuación analizamos los siguientes escenarios para la demanda:

- **Escenario pesimista:** En este escenario consideraremos la no construcción de un incinerador para biosólidos, por lo que la cantidad demandada por biosólidos para este escenario es cero.
- **Escenario normal:** En este escenario, consideraremos que se construirá un incinerador de biosólidos, pero que no operará en su plena capacidad, si no que tan sólo funcionará con respecto a un porcentaje del total de biosólidos producidos en la RM. Este porcentaje será del 20% del total de la producción de biosólidos y es un valor similar al volumen de biosólidos que son incinerados en Estados Unidos (22%). En la tabla se muestra el detalle de los biosólidos demandados, la cantidad de biosólidos por día (como promedio del valor anual), la energía de los biosólidos ingresados al incinerador por hora (PCI de 2700 kcal/Kg) y la cantidad de electricidad generada con esa energía, asumiendo una eficiencia térmica del incinerador de 28%<sup>4</sup>.

**Tabla 28:** Escenario normal de demanda de biosólidos y producción de electricidad con construcción de incinerador

Año	Producción Ton/año MS	% producción demandado	Demanda Estimada Ton/año MS	Demanda Kg/día MS	Energía Kcal/hora	Electricidad Generada Kw-h
2009	59.202	20%	11.840	32.439	3.649.438	1.188
2010	87.155	20%	17.431	47.756	5.372.568	1.748
2011	88.468	20%	17.694	48.476	5.453.507	1.775
2012	89.779	20%	17.956	49.194	5.534.322	1.801
2013	91.113	20%	18.223	49.925	5.616.555	1.828
2014	92.418	20%	18.484	50.640	5.697.000	1.854
2015	93.751	20%	18.750	51.370	5.779.171	1.881
2016	95.099	20%	19.020	52.109	5.862.267	1.908
2017	96.428	20%	19.286	52.837	5.944.192	1.934
2018	97.392	20%	19.478	53.366	6.003.634	1.954
2019	98.366	20%	19.673	53.899	6.063.670	1.973
2020	99.350	20%	19.870	54.438	6.124.307	1.993
2021	100.343	20%	20.069	54.983	6.185.550	2.013
2022	101.347	20%	20.269	55.532	6.247.405	2.033
2023	102.360	20%	20.472	56.088	6.309.879	2.053
2024	103.384	20%	20.677	56.649	6.372.978	2.074

Fuente: Elaboración propia, considerando biosólidos con 70% SS y 28 % de eficiencia térmica

<sup>4</sup> Fuente ISEL. La eficiencia térmica es el porcentaje de energía que puedo extraer al combustible del total de energía que contiene, que para el caso de los incineradores propuestos, es de 28%. La energía se suele perder con el calor generado y que no genera electricidad (calor que se pierde)

- **Escenario optimista:** En este escenario consideraremos la construcción de un incinerador de biosólidos y que este funcione en plena capacidad, es decir, que use cerca del 60% de biosólidos generador en la RM. En la tabla se muestran las cantidades demandadas para cada año, la demanda diaria, la energía por hora que entra a los incineradores y la electricidad generada por hora en función de la potencia.

**Tabla 29:** Escenario normal de demanda de biosólidos y producción de electricidad con construcción de incinerador

Año	Producción Ton/año MS	% producción demandado	Demanda Estimada Ton/año	Demanda Kg/día	Energía Kcal/hora	Electricidad Generada Kw-h
2009	59.202	60%	35.521	97.318	10.948.315	3.563
2010	87.155	60%	52.293	143.268	16.117.705	5.245
2011	88.468	60%	53.081	145.427	16.360.521	5.324
2012	89.779	60%	53.867	147.582	16.602.966	5.403
2013	91.113	60%	54.668	149.775	16.849.664	5.483
2014	92.418	60%	55.451	151.920	17.091.000	5.562
2015	93.751	60%	56.251	154.111	17.337.514	5.642
2016	95.099	60%	57.059	156.327	17.586.801	5.723
2017	96.428	60%	57.857	158.512	17.832.575	5.803
2018	97.392	60%	58.435	160.097	18.010.901	5.861
2019	98.366	60%	59.020	161.698	18.191.010	5.920
2020	99.350	60%	59.610	163.315	18.372.920	5.979
2021	100.343	60%	60.206	164.948	18.556.649	6.039
2022	101.347	60%	60.808	166.597	18.742.216	6.099
2023	102.360	60%	61.416	168.263	18.929.638	6.160
2024	103.384	60%	62.030	169.946	19.118.934	6.222

Fuente: Elaboración propia, considerando biosólidos con 70% SS y 2700 Kcal/Kg y 28 % de eficiencia térmica

En el caso de que la empresa sanitaria decida construir un incinerador para biosólidos y que considere la recuperación de energía, los beneficios se verán expresados tanto por el ahorro de costos de transporte y disposición final de los biosólidos, como por los ingresos generados por la venta de electricidad.

### 5.2.2 CO-INCINERACIÓN DE BIOSÓLIDOS EN PLANTA TERMOELÉCTRICA

La co-incineración, busca utilizar biosólidos durante el proceso de combustión para poder generar electricidad. A diferencia de un incinerador exclusivo para biosólidos, acá se mezclarían los biosólidos con otro combustible para generar electricidad. En Escocia, la planta eléctrica de Longannet incinera cerca de 65 mil

toneladas secas de biosólidos por año. En el año 2005 se prohibió incinerar biosólidos, pero esta ha seguido en funcionamiento hasta la entrada en funcionamiento de una planta eléctrica de biomasa (Wikipedia 2006).

Para hacer una estimación de demanda de biosólidos para cogeneración en plantas termoeléctricas, hemos determinado tres escenarios, el primer escenario usaremos como “benchmark” la planta termoeléctrica de Longannet, que incinera cerca de la mitad de los biosólidos producidos por Escocia. El peor escenario lo situaremos en la eventualidad de un rechazo por parte de las autoridades ó empresas generadoras de utilizar biosólidos para generación de electricidad. A su vez consideraremos un escenario intermedio, en el cual veremos qué pasa con la demanda si ésta es la mitad de lo utilizado por Longannet para producir electricidad.

- **Escenario pesimista:** En este escenario consideraremos una demanda por biosólidos nula, ya que en este escenario las empresas no querrán o no podrán utilizar biosólidos para coincinerarlos en plantas termoeléctricas.
- **Escenario normal:** En este escenario hemos considerado una demanda estimada, equivalente a la mitad que utiliza la planta termoeléctrica de Longannet, es decir un 25% del total de la producción de biosólidos. Consideramos una eficiencia térmica del 50%.

**Tabla 30:** Escenario normal esperado para demanda de biosólidos por empresas eléctricas y la electricidad generada con estos biosólidos

Año	Producción Ton/año MS	% producción demandado	Demanda Estimada Ton/año	Demanda Kg/día	Energía Kcal/hora	Electricidad Generada Kw-h
2009	59.202	25%	14.801	40.549	4.561.798	2.651
2010	87.155	25%	21.789	59.695	6.715.711	3.902
2011	88.468	25%	22.117	60.595	6.816.884	3.961
2012	89.779	25%	22.445	61.492	6.917.902	4.020
2013	91.113	25%	22.778	62.406	7.020.693	4.079
2014	92.418	25%	23.105	63.300	7.121.250	4.138
2015	93.751	25%	23.438	64.213	7.223.964	4.198
2016	95.099	25%	23.775	65.136	7.327.834	4.258
2017	96.428	25%	24.107	66.047	7.430.240	4.317
2018	97.392	25%	24.348	66.707	7.504.542	4.361
2019	98.366	25%	24.592	67.374	7.579.588	4.404
2020	99.350	25%	24.837	68.048	7.655.383	4.448
2021	100.343	25%	25.086	68.728	7.731.937	4.493
2022	101.347	25%	25.337	69.416	7.809.257	4.538
2023	102.360	25%	25.590	70.110	7.887.349	4.583
2024	103.384	25%	25.846	70.811	7.966.223	4.629

Fuente: Elaboración propia, considerando biosólidos con 70% SS y 2700 Kcal/Kg y 50 % de eficiencia térmica (1.721 kcal = 1 kwh)

- **Escenario optimista:** En este escenario hemos considerado una cantidad demanda equivalente a la cantidad de biosólidos que utiliza la planta de Longannet (benchmark), equivalente al 50% de biosólidos. Consideramos una eficiencia térmica del 50%.

**Tabla 31:** Escenario optimista esperado para demanda de biosólidos por empresas eléctricas y la electricidad generada con estos biosólidos

Año	Producción Ton/año MS	% producción demandado	Demanda Estimada Ton/año	Demanda Kg/día	Energía Kcal/hora	Electricidad Generada Kw-h
2009	59.202	50%	29.601	81.099	9.123.596	5.301
2010	87.155	50%	43.578	119.390	13.431.421	7.804
2011	88.468	50%	44.234	121.189	13.633.767	7.922
2012	89.779	50%	44.890	122.985	13.835.805	8.039
2013	91.113	50%	45.557	124.812	14.041.387	8.159
2014	92.418	50%	46.209	126.600	14.242.500	8.276
2015	93.751	50%	46.876	128.426	14.447.928	8.395
2016	95.099	50%	47.550	130.273	14.655.668	8.516
2017	96.428	50%	48.214	132.093	14.860.479	8.635
2018	97.392	50%	48.696	133.414	15.009.084	8.721
2019	98.366	50%	49.183	134.748	15.159.175	8.808
2020	99.350	50%	49.675	136.096	15.310.767	8.896
2021	100.343	50%	50.172	137.457	15.463.875	8.985
2022	101.347	50%	50.673	138.831	15.618.513	9.075
2023	102.360	50%	51.180	140.220	15.774.698	9.166
2024	103.384	50%	51.692	141.622	15.932.445	9.258

Fuente: Elaboración propia, considerando biosólidos con 70% SS y 2700 Kcal/Kg y 28 % de eficiencia térmica (1.721 kcal = 1 kwh)

### ***El precio pagado por kg de biosólidos***

Para poder valorizar los biosólidos que se puedan vender a una termoeléctrica, hay que considerar que éstos tienen un poder calorífico menor que el de los otros combustibles. A continuación se detalla una lista de combustibles junto con su PCI.

**Tabla 32:** Poderes caloríficos de distintos combustibles

DENSIDADES Y PODERES CALORIFICOS DE DISTINTOS COMBUSTIBLES			
PRODUCTO	DENSIDAD	PODER CALORIF.	
	Ton/m3	KCal/Kg	
PETR. CRUDO NACIONAL	0,825	10.963	(*)
PETR. CRUDO IMPORTADO	0,855	10.860	
PETR. COMBUSTIBLE 5	0,927	10.500	
PETR. COMBUSTIBLE IFO 180	0,936	10.500	
PETR. COMBUSTIBLE 6	0,945	10.500	
NAFTA	0,700	11.500	
GAS LICUADO	0,550	12.100	
GASOLINA AUTOMOVILES	0,730	11.200	
GASOLINA AVIACION	0,700	11.400	
KEROSENE AVIACION	0,810	11.100	
KEROSENE	0,810	11.100	
DIESEL	0,840	10.900	
GAS NATURAL PROCESADO	-	9.341	(**)
LEÑA	-	3.500	
CARBON	-	7.000	
BIOGAS	-	4.000	(**)
GAS DE REFINERIA	-	4.260	(***)
ELECTRICIDAD	-	860	(****)(1)
(*) Promedio Isla, Continente y Costa Afuera (**) KCal/m3 (***) KCal/Lts (****) KCal/KWh (Equivalente Calórico Teórico Internacional) (1) Equivalente Calórico práctico para Chile 2.750 KCal/KWh			

Por otro lado, estos combustibles, han experimentado fuertes alzas en los últimos años. El precio del petróleo ha experimentado un alza de más de 147% desde enero del 2007 a la fecha, pasando de US\$53 el barril Brent, a 133,33 en Julio de este año, por otro lado, el gas natural además de incrementar su precio por los impuestos cobrados por Argentina, es cada vez más escaso debido a la falta de envíos por parte de éste país. El petróleo tiene la característica de tener un alto poder calorífico como se ve en la tabla anterior, al igual que el gas natural, pero su alto precio y poca disponibilidad han hecho que muchas empresas estén sustituyendo por carbón, el cual tiene un poder calorífico menor pero también tiene un precio menor.

En este sentido, los biosólidos pueden ser de gran ayuda para las plantas generadoras, debido a su menor costo como combustible, su ventaja de ser renovable y el incurrir en un menor costo de transporte (comparado con el carbón traído de Australia, Canadá y otros mercados lejanos).

En el mercado del carbón, existe uno denominado “Brown coal” o “lignite coal” (carbón café), el cual es utilizado principalmente para generación eléctrica y posee un PCI menor a 4.165 kcal/kg (IEA 2008), teniendo un PCI de 2.250 kcal/kg (World Coal Institute 2008). Este carbón posee un precio inferior que el carbón bituminoso (que tiene un PCI cercano a 7.000 kcal/kg) y como se puede ver, un poder calorífico muy similar al biosólido producido en Chile. Es por esto, que consideraremos los precios de este tipo de carbón (“Brown coal”), como referencia para determinar el precio a pagar por los biosólidos.

En las tablas se muestran algunos datos históricos sobre el precio del carbón café y otros carbones para generar electricidad con vapor:

**Tabla 33:** Precios históricos del Brown-Coal en algunos países que los utilizan

Precios históricos de Brown Coal US\$ / ton métrica									
Año	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
República Checa	9,5	9,6	8	8	8,5	C	C	C	C
México	25,9	28,8	31,8	33,9	33,7	32,1	37,1	41	42,3
Turquía	15,9	15,4	14,4	10,3	15,2	19	25,9	25,2	24,8
<b>Promedio</b>	<b>17,1</b>	<b>17,9</b>	<b>18,1</b>	<b>17,4</b>	<b>19,1</b>	<b>25,6</b>	<b>31,5</b>	<b>33,1</b>	<b>33,6</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Energy Information Administration (EIA)

C= Confidencial

**Tabla 34:** Precios históricos de otros tipos de carbón para generar electricidad con vapor en algunos países de la OECD

Precios históricos de carbón (no Brown-Coal) US\$ / ton métrica									
Año	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Bélgica	34,2	30,2	32,8	37,7	34,5	35,9	72,5	80,3	63,2
Finlandia	43	39,4	38,6	46,7	44	48,3	67	72,1	74,3
Irlanda	36,3	30,9	30,3	35,4	37,5	35,5	67,2	70,1	61,3
Portugal	36	31,5	30,2	38,6	32,3	38,4	57,5	67,6	58,3
Reino Unido	50	47	44,4	46,5	44,5	45,9	59,7	65,6	NA
Estados Unidos	28,6	27,8	27,5	28,2	28,7	29,1	30,9	35,3	38,6
<b>Promedio</b>	<b>38</b>	<b>34,5</b>	<b>34</b>	<b>38,9</b>	<b>36,9</b>	<b>38,9</b>	<b>59,1</b>	<b>65,2</b>	<b>59,1</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Energy Information Administration (EIA)

Se puede ver claramente que el promedio de precio del Brown - Coal es menor que otros tipos de carbones (sub bituminoso o bituminoso). Es en ese escenario en el cual los biosólidos deben competir y por lo tanto se debe mover en rangos similares a los precios del Brow-coal.

Hay que dejar en claro, que los precios del carbón han aumentado los últimos dos años, llegando a estar en Chile por sobre los US\$100-US\$140 la tonM, por lo tanto ha de esperarse que el valor del Brown – Coal haya subido también (por efecto sustitución). Aún así para realizar los cálculos utilizaremos el precio del Brown – Coal para México del año 2006, US\$42,3 por tonM, lo que nos deja en una posición bien conservadora.

### 5.2.3 SOBRE PRECIOS DE ELECTRICIDAD

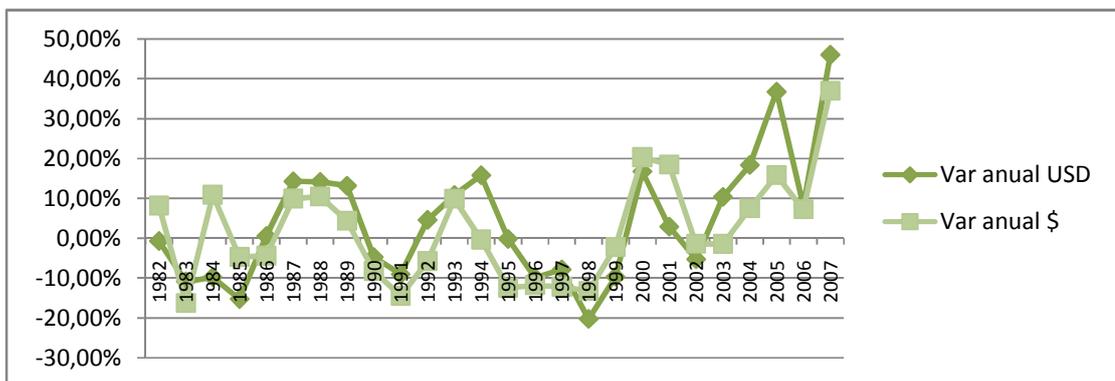
Los precios de electricidad en Chile, son fijados por el Estado. Este valor está dado por el precio del nudo, el cual es determinado por la Comisión Nacional de Electricidad y es fijado en abril y octubre, en función del costo marginal de las empresas generadoras (CNE, 2008).

Este precio, es un valor exógeno y muy difícil de predecir, ya que el costo marginal de las empresas generadoras, están en función de los precios internacionales de los combustibles los cuales son muy volátiles, como el petróleo, carbón y gas

natural (este último determinado por Argentina). Además, estos costos están en función de las lluvias caídas en los embalses de agua que generan hidroelectricidad, lo cual depende de factores climáticos igualmente impredecibles en el largo plazo.

Es por esto que para determinar el precio a utilizar para la demanda utilizaremos rangos de precios en función de promedios históricos y al momento de realizar la evaluación financiera de los proyectos relacionados con la valorización energética, haremos una sensibilización de precios.

A continuación se muestra la variación de los precios del nudo en Chile desde el año 1982 a la fecha:



Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Comisión Nacional de Energía

Como se puede apreciar hay una variación bastante irregular en los cambios de precios durante los últimos años, probablemente este se explica por variaciones en los precios de insumos (combustibles).

En la siguiente tabla 29 se muestra el promedio de las variaciones anuales del precio del nudo:

**Tabla 35:** Promedio de variaciones anuales del precio del nudo distintos periodos

	Var USD	VAR \$
Promedio variaciones desde 1990 al 2008	5,45%	1,70%
Promedio variaciones desde 1995 al 2008	6,62%	3,94%
Promedio variaciones desde 2000 al 2008	16,73%	12,90%
Promedio variaciones desde 2003 al 2008	23,90%	13,19%

Fuente: Elaboración propia en base a datos de la Comisión Nacional de Energía

Actualmente el precio del nudo de electricidad en la RM está dado por el precio fijado por el Sistema Interconectado Central (SIC) en el nudo de Alto Jahuel y su valor es de \$45,253 por kWh (precio base de la energía). Existen otros nudos tarifarios, sin embargo la diferencia no supera \$1 dentro de la zona centro-sur.

### 5.3 MERCADO DE LADRILLOS

Existen trabajos que muestran que los biosólidos pueden ser utilizados para la fabricación de ladrillos, los cuales poseen características similares a un ladrillo común. Esta alternativa de reutilización se ve muy interesante pero depende del grado de aceptación de las empresas y autoridades, para utilizar biosólidos en el proceso de fabricación de ladrillos.

En términos generales, hemos tomado como base para este análisis los antecedentes y resultados por Navarro 2007. Aquí se considera la producción de ladrillos de las dos empresas más grandes del país en el rubro de fabricación de ladrillos industriales o cerámicos: Industrias Princesa Ltda., accediendo a información a través de su página web, y la empresa Cerámicas Santiago.

Ambas empresas concentran más del 70% del mercado de ladrillos cerámicos, tanto en la RM como en el país.

La producción de ladrillos entre ambas empresas es de aproximadamente 19.884.483 ladrillos por mes, considerando ladrillos de medidas 29 cm x 14 cm x 7,1 cm, cuyo peso por unidad es de 2,9 kg. Por lo tanto, la producción anual de ladrillos para ambas empresas se puede estimar en 238.613.796 ladrillos anuales. Se asume igual nivel de producción de los ladrillos del proyecto alternativo. Se puede estimar

según los datos informados, que las ventas totales equivalentes a un 96% del total producido. Se asume el mismo nivel de ventas para un ladrillo hecho con lodo (Navarro 2007)

Al hacer un análisis sobre las cantidades de biosólido que pudiera utilizarse en la fabricación de ladrillos, se asumiría que todos los lodos son potencialmente reutilizables por medio de la ceramización. Atendiendo a lo anterior, se puede calcular el nivel de producción actual de ladrillos en toneladas, tomando como referencia un ladrillo estándar de medidas 29 cm x 14 cm x 7,1 cm (Navarro 2007)

Con esto se tienen 691.980 toneladas de materia prima que se usa en un ladrillo cocido. Como la pérdida de peso por cocción de un ladrillo industrial no es un dato al que se pueda tener acceso, se estima según los resultados del trabajo y otros documentos, que la pérdida de peso por cocción es de alrededor de un 9% a un 10%. Es decir, si un ladrillo cocido pesa 2,9 kg, este ladrillo en crudo pesa alrededor de 3,2 kg (Navarro 2007)

Por lo tanto, para la producción de 691.980 toneladas de ladrillos cocidos, esto significa aproximadamente 768.867 toneladas anuales de ladrillos crudos. Si a esta cantidad se le sustituye un 15% de biosólido en relación a los resultados del trabajo de Navarro, se tendrían alrededor de 115.330 toneladas de biosólidos para utilizar. Si esto se contrasta con la cantidad de biosólidos generados en la RM por la mayor empresa sanitaria, que asciende a 600 ton/día, se contaría con 216.000 toneladas anuales de biosólidos. De estas toneladas por lo tanto se estarían utilizando en la fabricación de ladrillos las 115.330 Ton, lo cual significa un porcentaje de 53,39% de biosólidos que se pueden revalorizar por esta alternativa (Navarro 2007)

En cuanto a la producción de ladrillos artesanales, ésta es aproximadamente de 30,2 millones de unidades al año. Si se realizara una estimación de la cantidad de arcilla utilizada para el proceso, se debe considerar que en este caso una parte del ladrillo está hecha en base a aserrín, por lo cual del peso inicial de un ladrillo antes de ser cocido, una parte de alrededor del 5% - 10% en peso es aserrín. Si se considera que el peso promedio de un ladrillo artesanal o fiscal cocido, es de 3,7 kg. (el peso de un ladrillo artesanal es muy variable, ya que su proceso de manufactura es irregular),

se tendrían 111.740 toneladas de ladrillos cocidos. Si se considera el porcentaje de pérdida de peso por cocción de 10%, se tendrían alrededor de 124.155,6 toneladas de ladrillos crudos, de las cuales un 15% podría sustituirse por biosólido, lo que entregaría una cantidad de lodo para reutilizar de 18.623,3 toneladas anuales (8,62%) (Navarro 2007).

En resumen, si consideramos lo máximo que se puede llegar a revalorizar por medio de la fabricación de ladrillos con biosólidos, obtenemos lo siguiente:

**Tabla 36:** Toneladas y porcentajes de lodos utilizados para fabricar ladrillos según industria

Tipo de proceso	Toneladas de lodo generadas anuales	Toneladas de lodos requeridas ladrillos	% de Valorización de Lodos
Industrial	216.000	115.330	53,39%
Artesanal	216.000	18.623,30	8,62%
Total	432.000	133.953	62,01%

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Navarro 2007

Este resultado es muy interesante, debido a la gran cantidad de lodos que se utilizarían, sin embargo consideramos la situación propuesta por Navarro muy optimista. Es por esto que hemos puesto distintos escenarios para ver los rangos entre los cuales se mueva la cantidad demandada.

- **Escenario pesimista:** Acá hemos considerado la posibilidad de que este proyecto no se realice. Este proyecto puede ser rechazado por las autoridades, como también puede no ser aceptado por parte de las empresas y artesanos que fabriquen ladrillos, ya sea por desconocimiento o desconfianza, o por el impacto en la imagen de la empresa con los consumidores finales, por el hecho de fabricar ladrillos con biosólidos que probablemente tengan connotación negativa (por ejemplo, asociarlos a enfermedades).
- **Escenario normal:** Acá hemos considerado de que este proyecto sea aceptado por tan sólo una empresa que fabrique ladrillos, por lo cual la demanda corresponde a la mitad de la fabricación industrial de ladrillos (suponiendo que

ambas empresas producen lo mismo) y que esta empresa produce todos sus ladrillos con biosólidos. La situación queda como sigue:

**Tabla 37:** Escenario normal de valorización de biosólidos para fabricar ladrillos

Año	Producción Ton/año SS	% producción demandado	Demanda Estimada
2009	59.202	27%	15.955
2010	87.155	27%	23.488
2011	88.468	27%	23.842
2012	89.779	27%	24.195
2013	91.113	27%	24.555
2014	92.418	27%	24.907
2015	93.751	27%	25.266
2016	95.099	27%	25.629
2017	96.428	27%	25.987
2018	97.392	27%	26.247
2019	98.366	27%	26.510
2020	99.350	27%	26.775
2021	100.343	27%	27.043
2022	101.347	27%	27.313
2023	102.360	27%	27.586
2024	103.384	27%	27.862

Fuente: Elaboración propia en base a Navarro 2007

- **Escenario optimista:** En este escenario hemos considerado que ambas empresas fabrican todos sus ladrillos con un 15% de biosólidos y a su vez, la fabricación artesanal también es elaborada con biosólidos (mejor escenario posible). Este escenario es poco probable, por un lado porque las empresas pueden decidir utilizar un porcentaje menor de biosólidos o sólo fabricar un porcentaje de sus ladrillos con biosólidos, y por otro lado, es difícil que todos los productores artesanales decidan fabricar con biosólidos, por desconocimiento de esta tecnología o por rechazo. La situación queda como sigue:

**Tabla 38:** Escenario optimista de valorización de biosólidos para fabricar de ladrillos

Año	Producción Ton/año MS	% producción demandado	Demanda Estimada
2009	59.202	62,0%	36.711
2010	87.155	62,0%	54.045
2011	88.468	62,0%	54.859
2012	89.779	62,0%	55.672
2013	91.113	62,0%	56.499
2014	92.418	62,0%	57.308
2015	93.751	62,0%	58.135
2016	95.099	62,0%	58.971
2017	96.428	62,0%	59.795
2018	97.392	62,0%	60.393
2019	98.366	62,0%	60.997
2020	99.350	62,0%	61.607
2021	100.343	62,0%	62.223
2022	101.347	62,0%	62.845
2023	102.360	62,0%	63.474
2024	103.384	62,0%	64.108

Fuente: Elaboración propia en base a Navarro 2007

#### 5.4 OTROS MERCADOS

Debido a la dificultad para valorar otras opciones, por su poca importancia o simplemente por no ser factibles de implementar, no se consideraron opciones como:

- Utilización de biosólidos para fitoestabilización de tranques de relaves
- Recuperación de suelos degradados
- Recuperación de pasivos mineros y canteras
- Planes de cierres de rellenos sanitarios

## 6 CAPITULO VI: ANÁLISIS FINANCIERO

### 6.1 CONSIDERACIONES GENERALES

El objetivo de este trabajo es ver como impactaría en las tarifas de aguas las distintas alternativas de uso que hemos propuesto para los biosólidos. Por lo tanto todas las proyecciones que realicemos serán desde el punto de vista de la empresa sanitaria, en este caso Aguas Andinas, ya que la rentabilidad o pérdida en valor actual que puedan generar las distintas posibilidades de uso de biosólidos para Aguas Andinas, implicaría una menor o mayor tarifa de agua respectivamente. Esto es porque los monopolios naturales en Chile, como empresas energéticas y sanitarias, se les realiza una tarificación asumiendo que el Valor Actual Neto de la empresa es cero, por lo tanto cualquier proyecto con  $VAN > 0$  implicaría una menor tarifa de agua y cualquier proyecto con  $VAN < 0$  implicaría una mayor tarifa de agua. Consideraremos también aquellos proyectos con  $VAN = 0$ , ya que si bien no afectan la tarifa de agua, si impactarían positivamente en el medio ambiente. Dado esto, se considerará la tasa de descuento, la tasa de descuento WACC de Aguas Andinas calculada por el Banco de Chile, de 7,4%. (Banchile, 2008).

Hay que considerar también que todas las inversiones que actualmente se estén realizando, son costos hundidos. En este caso, el proyecto de Centro de Gestión Integral de Biosólidos "El Rutal", lo consideraremos como un costo hundido debido a que este proyecto, si bien se iniciaría oficialmente su construcción en el año 2009 para estar operacional el año 2010, existe una muy alta probabilidad de que se lleve a cabo, entre otras razones porque los terrenos ya fueron comprados. Para los flujos hemos considerado que el proyecto El Rutal estará operando a partir del año 2009, este es un supuesto que no debería afectar mayormente la proyección de flujos en el largo plazo.

Tampoco son relevantes para nuestro análisis los costos operacionales de las PTAS, costos de administración de Aguas Andinas ya que éstos tendrán que incurrirse independiente de las alternativas de uso de biosólidos.

Los costos de tratar el biosólido para obtener un lodo clase A, tampoco deben considerarse en este estudio, ya que el costo de tratar estos están incluidos en el proyecto El Rutal, mediante un tipo de secado solar (verano) y biosecado (invierno).

## **6.2 VALORIZACIÓN PARA USOS AGRÍCOLAS Y FORESTALES**

### **6.2.1 Consideraciones**

Para la valorización agrícola y forestal, como mencionamos anteriormente, consideramos un precio de un “compost” genérico, debido a la inexistencia de una marca que pueda brindarle un valor agregado al producto. Este precio por kg de compost (tierra de hoja) es de \$40 por kg sin IVA, excluido el costo de flete. Los costos de operación están asociados al costo de compostaje, el cual se va a realizar se reutilice o no el biosólido, por lo que también se puede considerar un costo hundido. No así los gastos de administración y ventas, que asumiremos que será de \$3 millones mensuales, que es el equivalente a contratar a 3 personas encargadas de la venta de los biosólidos, búsqueda de clientes, etc. Se considera en este gasto también los costos administrativos de las ventas (oficinas, computadores, etc.).

No se considerará necesaria la inversión en una planta de secado térmico, debido a que existen estudios que muestran que este proyecto tiene un VAN < 0 (Halcrow 2004) y la única ventaja que tendría, es que los lodos al estar secos al 90-95%, serían clasificados como lodos Clase A, pero esto ya es posible lograrlo con el CGIB, que va a obtener biosólidos de esta categoría.

Para simplificar el análisis, el costo de flete del compost, correrá por parte del comprador o se le cobrará proporcionalmente a la distancia desde donde este se encuentre y según el precio del petróleo. Se hace este supuesto debido a que no se sabe con precisión la ubicación de los predios donde el comprador utilizará los biosólidos y tampoco se sabe el valor de los combustibles como para proyectar el precio en el largo plazo. Tan sólo como ejemplo, la distancia de CGIB hasta el peaje de Lampa son 37 km, hasta Lampa mismo son cerca de 52 km y hasta Colina, una comuna aledaña, son 44 km aproximadamente. Si consideramos un camión de 30 toneladas, con un rendimiento de 3 km/l, tendríamos un gasto de 17,3 lt de diesel hasta

Lampa y de 14,7 lt hasta Colina. Con un precio promedio de \$700 el litro, se tiene que trasladar 30 ton de biosólidos a Lampa cuesta \$12.133 mientras que para Colina el costo es de \$10.267. Como se puede apreciar, la diferencia es significativa si consideramos que se van a transportar al menos 10.000 toneladas al año de biosólidos. Lo mismo pasa si se hace variar el precio del petróleo. En ambos casos existe incertidumbre frente a los flujos por eso lo consideraremos una variable exógena.

Se debe hacer una inversión en capital de trabajo para poder hacer una previsión de los gastos de administración y ventas. Se supondrá que la mitad de los clientes pagarán al contado y la otra mitad a 90 días.

### 6.2.2 Resultados uso agrícola

Para las proyecciones de uso agrícola no fue necesario hacer inversiones. No hay depreciaciones ni amortizaciones asociadas a alguna inversión tangible o intangible. Tampoco fue necesario invertir capital de trabajo, debido a que para los escenarios normal y optimista, los flujos más que compensan los gastos en capital de trabajo adicionales que se necesitan para vender los biosólidos. Esto dado que todas las inversiones necesarias para poder producir el compost, costos operacionales, son hundidos ya que se harían se venda o no el biosólido.

Para cada escenario los flujos (de capacidad de pago) quedan como siguen (en pesos chilenos):

1. **Escenario pesimista:** En este escenario se considera la no realización del proyecto. Por lo tanto no hay impacto en la tarifa de agua.
2. **Escenario normal:** Este escenario considera las proyecciones de Erazo para la demanda de uso forestal. Tiene un **VAN = \$2.918.151.59** y por lo tanto tendría un **impacto positivo en las tarifas de agua (disminuye el precio)**
3. **Escenario optimista:** En este escenario se considera un benchmark de un uso del 50% de los biosólidos producidos, para fines agrícolas (equivalente a los

niveles de Estados Unidos). Tiene un **VAN = 13.580.102.302** y por lo tanto tendría un **impacto positivo en las tarifas de agua.**

### 6.2.3 Sensibilización uso agrícola

El proyecto tiene VAN = 0 en el escenario normal, en el caso de que el precio pagado por kg de biosólido fuera de \$3,44.

Si hacemos una sensibilización bidimensional tenemos la siguiente tabla:

**Tabla 39:** Sensibilización de VAN con respecto a distintos precios y cantidades

Cantidades (toneladas)	Precios (en pesos chilenos)						
	2.918.151.591	5	15	35	45	55	65
5.000	103.488	860.334	2.374.027	3.130.873	3.887.719	4.644.565	
10.000	122.808	918.295	2.509.269	3.304.756	4.100.243	4.895.729	
15.000	142.129	976.256	2.644.511	3.478.638	4.312.766	5.146.893	
20.000	161.449	1.034.217	2.779.753	3.652.521	4.525.289	5.398.057	
25.000	180.769	1.092.178	2.914.995	3.826.404	4.737.812	5.649.221	

Fuente: elaboración propia

Como podemos ver, aún vendiendo 5.000 toneladas de biosólidos a un precio de \$5, sigue siendo rentable (VAN>0) hacer todos los esfuerzos comerciales para vender biosólidos con fines agrícolas.

### 6.2.4 Resultados uso forestal

Para los resultados del uso forestal, no consideramos las inversiones para el escenario pesimista y el normal. Debido a que el flujo, sin inversión, traído a valor presente, es negativo para ambos casos. En el caso del escenario optimista, se tiene que realizar inversión en capital de trabajo.

Los resultados son los siguientes (con un precio de \$40 por kg):

1. **Escenario pesimista:** En este escenario, los flujos son negativos y se tiene un **VAN = (280.241.200)**, por lo tanto hay un **efectivo negativo en la tarifa de agua (sube).**
2. **Escenario normal:** En este escenario los flujos también son negativos, con un **VAN = (97.176.400)** por lo tanto hay un **efecto negativo en la tarifa de agua.**

3. **Escenario optimista:** En este escenario, hay flujos positivos y el **VAN= 168.154.828** y por lo tanto hay un **impacto positivo en la tarifa de agua.**

### 6.2.5 Sensibilización para el mercado forestal

Si el precio del kg de biosólido fuera \$96,7, el VAN en el escenario pesimista sería cero, mientras que si el precio fuera de \$50,2, el VAN sería cero en escenario normal.

La sensibilización bidimensional queda como sigue:

**Tabla 40:** Sensibilización bidimensional para el mercado forestal, considerando distintos precios y cantidades demandadas

	Precios						
	283.694.000	20	30	40	50	60	70
Cantidades	300	(115.802)	65.338	246.477	427.616	608.755	789.894
	600	(110.822)	72.808	256.437	440.066	623.695	807.324
	900	(105.842)	80.278	266.397	452.516	638.635	824.754
	1.200	(100.862)	87.748	276.357	464.966	653.575	842.184
	1.600	(94.222)	97.708	289.637	481.566	673.495	865.424
	1.800	(90.902)	102.688	296.277	489.866	683.455	877.044

Fuente: Elaboración propia

Como se puede apreciar en la tabla, a un precio de \$20, independiente de la cantidad, se tiene una situación de pérdidas y por ende, afecta el precio del agua pagado por el consumidor.

## 6.3 VALORIZACIÓN PARA GENERACIÓN DE ENERGÍA

### 6.3.1 Incinerador para biosólidos

Para determinar la rentabilidad en este mercado, tuvimos que hacernos supuestos con respecto al precio de la energía en Chile, ya que al ser el precio una variable exógena, que depende de los mercados de combustibles y de las lluvias (hidroeléctricas), hemos considerado un precio spot del nudo en primer lugar para ver los escenarios y posteriormente sensibilizaremos para ver como cambia la rentabilidad ante distintos escenarios de precios de electricidad.

La rentabilidad de este proyecto, se da por la cantidad de energía que se puede ahorrar la empresa sanitaria, la que puede vender y el menor costo de transporte por menor volumen.

Un supuesto es que el incinerador funciona 7.500 horas al año (ICEL). La planta incineradora utiliza aproximadamente 3.000 kWh, considerando el precio pagado por Aguas Andinas por electricidad (\$45 por kWh), se tendría que cualquier valor de producción de electricidad bajo los 3.000 kWh va a significar un ahorro de costos de \$45 por cada kWh generado. Mientras que si la generación supera los 3.000 kWh, tenemos un ahorro equivalente a \$52,49 por cada kWh (precio nudo Alto Jahuel de abril del presente). Otros supuesto es que el costo de transporte a KDM (relleno sanitario), es de \$80 ton/km, y son 60 km desde la PTAS hasta KDM. El costo de tratamiento es de \$8.000 por tonelada. El incinerador se construye en la misma planta de tratamiento de aguas para ahorrar los costos de transporte. No se necesita inversión en capital de trabajo adicional

Los resultados que obtuvimos son los siguientes:

1. **Escenario pesimista:** En este escenario hemos considerado que no se construye el incinerador, por lo que no hay variación en las tarifas de agua.
2. **Escenario normal:** En este escenario hemos considerado la construcción del incinerador, con una producción de energía menor a la proyectada originalmente. Este proyecto tiene un **VAN de capacidad de pago = \$19.421.822.904**, una **TIR del 9,9%** y un **VAN económico = \$31.167.210.254** Por lo que la construcción de un incinerador para biosólidos en este escenario, significa **una menor tarifa de agua.**
3. **Escenario optimista:** En este escenario el incinerador funciona a plena capacidad. Este proyecto tiene un **VAN de capacidad de pago = \$29.827.413.146**, una **TIR=14,4%** y un **VAN económico = \$47.207.358.435** Por lo que la construcción de un incinerador en este escenario, significa **una menor tarifa de agua.**

En general, para este proyecto, cualquier valor de energía mayor a cero, implica una rentabilidad positiva (sensibilización)

### 6.3.2 Co-incineración de biosólidos en plantas termoeléctricas

Para la co-incineración, se utilizará el precio de referencia del carbón café (Brown – Coal) del mercado mexicano para el año 2006, valor inferior al precio actual y por lo tanto conservador.

Los costos de transporte los paga la empresa generadora (al igual que paga por el transporte de todos sus combustibles).

Se enviarán lodos con una sequedad del 70% y PCI de 2.700 kcal.

No se requieren inversiones debido a que el CGIB tendrá la capacidad de secar los lodos hasta un 70% y este es por lo tanto un costo hundido.

Los resultados de este proyecto son los siguientes:

1. **Escenario pesimista:** En este escenario se hace el supuesto de que no se puede producir electricidad con biosólidos por diversos factores. No hay variación de la tarifa de agua
2. **Escenario normal:** En este escenario, hay un **VAN=\$10.190.566.394** por lo tanto esto se traduce en una **menor tarifa de agua** para los consumidores.
3. **Escenario optimista:** En este escenario, hay un **VAN=\$20.656.067.775**, por lo tanto esto se traduce en una **menor tarifa de agua** si se realiza este proyecto y se da este escenario.

### 6.3.3 Sensibilización para escenario normal

**Tabla 41:** Sensibilización de precios y cantidades para escenario normal de co-incineración en miles de pesos

		Precios					
		10.190.566	30	40	50	60	70
Cantidades	5.000	6.773.128	9.122.482	11.471.837	13.821.191	16.170.546	18.519.900
	15.000	7.004.972	9.431.607	11.858.243	14.284.878	16.711.514	19.138.149
	25.000	7.236.815	9.740.732	12.244.649	14.748.565	17.252.482	19.756.399
	35.000	7.468.659	10.049.857	12.631.055	15.212.253	17.793.451	20.374.648
	45.000	7.700.502	10.358.982	13.017.461	15.675.940	18.334.419	20.992.898
	55.000	7.932.346	10.668.106	13.403.867	16.139.627	18.875.387	21.611.148

Fuente: Elaboración propia

A su vez, con un precio de \$1,11 por Kg de biosólidos, el VAN del escenario normal se hace cero, por lo que es altamente rentable vender estos biosólidos para este fin.

### 6.4 VALORIZACIÓN PARA FABRICACIÓN LADRILLOS

El mercado de ladrillos está compuesto por 2 empresas que controlan la mayor parte de la producción de ladrillos en la RM.

Éstos productores, obtendrían ahorros de hasta \$8,1 por ladrillo si utilizaran biosólidos como un 15% de la materia prima para la fabricación.

Este ahorro de \$8 por ladrillo, es el precio máximo que Aguas Andinas puede cobrar a las fábricas de ladrillos, para que la rentabilidad de éstas sea igual a cero.

A continuación se muestran los resultados para los distintos escenarios que enfrenta esta opción de valorización.

- 1. Escenario pesimista:** En este escenario la demanda por biosólidos para generar electricidad son nulas. Por lo tanto no hay un efecto en la tarifa de agua.
- 2. Escenario normal:** En este escenario consideramos que sólo una de las empresas decide fabricar ladrillos con biosólidos. En este escenario el

**VAN=3.917.238.708**, por lo que hay un **impacto positivo en las tarifas de agua**.

3. **Escenario optimista:** En este escenario el **VAN=9.635.333.861**, por lo que hay un **impacto positivo en las tarifas de agua**.

#### 6.4.1 Sensibilización para el mercado de ladrillos

**Tabla 42:** Sensibilización de precios para el mercado de los ladrillos en miles de pesos, considera distintos precios y distintas cantidades demandadas

Cantidades	Precios						
	3.917.284	2	4	6	8	10	12
5.000	577.705	1.633.490	2.689.275	3.745.061	4.800.846	5.856.631	
10.000	591.165	1.660.410	2.729.654	3.798.899	4.868.144	5.937.389	
15.000	604.624	1.687.329	2.770.033	3.852.737	4.935.442	6.018.146	
20.000	618.084	1.714.248	2.810.412	3.906.576	5.002.740	6.098.904	
25.000	631.544	1.741.167	2.850.791	3.960.414	5.070.038	6.179.661	
30.000	645.003	1.768.086	2.891.170	4.014.253	5.137.336	6.260.419	

Fuente: Elaboración propia

Para esta valorización, el VAN = 0 cuando el precio cobrado por Kg de biosólidos es igual a \$0,88.

Por lo tanto para este mercado el precio de cobrado por kg de biosólido debe estar entre \$0,88 y \$8,1, ya que si es menor que este rango, la empresa Aguas Andinas tendría pérdidas y si es mayor que el rango descrito la empresa fabricante de ladrillos sustituiría los biosólidos con otro material menos costoso.

## 6.5 RESUMEN DE LOS RESULTADOS

**Tabla 43:** Resumen de rentabilidad en valor actual sin valor residual, para cada escenario

VAN Capacidad de pago	Pesimista	Normal	Optimista
Valorización agrícola	0	2.918.151.591	13.580.102.302
Valorización forestal	(280.241.200)	(97.176.400)	168.574.828
Valorización energética – incinerador	0	19.421.822.904	29.827.413.146
Valorización energética - co-incineración	0	10.190.566.394	20.656.067.775
Valorización para fabricar ladrillos	0	3.917.283.708	9.635.333.861

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 44:** Resumen de la rentabilidad en valor actual con valor residual económico, para cada escenario en pesos

VAN económico	Pesimista	Normal	Optimista
Valorización agrícola	0	4.373.008.258	20.851.746.334
Valorización forestal	0	0	249.412.931
Valorización energética - incinerador	0	31.167.210.254	47.207.358.435
Valorización energética - co-incineración	0	15.651.732.716	31.707.249.216
Valorización para fabricar ladrillos	0	7.618.348.662	18.676.510.011

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 45:** Impacto en la tarifa de agua de cada una de las alternativas evaluadas

Impacto en la tarifa de agua	Pesimista	Normal	Optimista
Valorización agrícola	No cambia	Disminuye	Disminuye
Valorización forestal	Sube	Sube	Disminuye
Valorización energética - incinerador	No cambia	Disminuye	Disminuye
Valorización energética - co-incineración	No cambia	Disminuye	Disminuye
Valorización para fabricar ladrillos	No cambia	Disminuye	Disminuye

Fuente: Elaboración propia

## 7 CAPITULO VII: CONCLUSIONES

A través del presente estudio, se ha explicado el proceso de tratamiento de aguas servidas en la RM a través de dos macro plantas de tratamientos de agua. Como resultado de este proceso, se obtienen dos productos, agua y lodos (biosólidos). Estos biosólidos tienen características tales que, si son secados mediante secado solar o biosecado, cumplen con las normativas más estrictas.

A su vez en Chile no existe todavía una normativa que rija el uso de los lodos de las PTAS, el cual está todavía en tramitación y que probablemente sea muy estricta en cuanto al uso a suelo (como fertilizante o compost).

Actualmente, la empresa sanitaria de la RM, Aguas Andinas está llevando a cabo un proyecto el cual busca crear un Centro de Gestión Integral de Biosólidos, llamado “El Rutal”, cercano a la comuna de Til-til a un costado de la Ruta 5. Este centro, busca poder secar todos los biosólidos producidos por Aguas Andinas en sus dos PTAS y en un futuro, en su tercera macro planta “Mapocho”, las cuales tienen por objetivo tratar el 100% de las aguas servidas. En este sentido, la inversión en este proyecto, busca dar una solución a este problema.

En este estudio se analizaron distintos usos que pueden tener los biosólidos y los aspectos técnico-legales que restringen su uso. Dentro de estos usos hay tres formas de valorización que se ha considerado que tienen una gran opción de ser proyectos rentables y sustentables ambientalmente. Estos son: la valorización para la aplicación a suelo, como abono, fertilizante o compost, para predios agrícolas y forestales; la valorización energética a través de un incinerador para biosólidos o la co-incineración de éstos en plantas termoeléctricas, convirtiéndose en una fuente de energía renovable; y la valorización para la fabricación de ladrillos, la cual permitiría utilizar biosólidos como materia prima para la construcción de éstos.

Se realizó una proyección de demandas potenciales para cada una de estas valorizaciones, considerando tres escenarios para cada valorización (pesimista, normal y optimista) y también se generó un *proxy* del precio al cual se podrían vender los biosólidos y la energía generada con éstos.

Posteriormente se procedió a evaluar económicamente cada una de estas valorizaciones en los tres escenarios. De éstos análisis financieros, anteriormente explicados, se puede concluir que hay opciones que tienen un impacto positivo en las tarifas de agua (disminuyen el precio), otras sin impacto y finalmente opciones con un impacto negativo (aumentan el precio) en las tarifas de agua.

Las opciones que tienen un impacto positivo, es decir, que disminuirían las tarifas de agua son aquellas con VAN positivo. A continuación se presenta un ranking de las distintas alternativas dado un escenario normal, aquellas que tienen mayor VAN generan una mayor riqueza y por lo tanto tienen un mayor impacto positivo en la tarifa de agua

VAN Capacidad de pago	Normal
Valorización energética - incinerador	25.199.632.526
Valorización energética - co-incineración	10.190.566.394
Valorización para fabricar ladrillos	3.917.283.708
Valorización agrícola	2.918.151.591
Valorización forestal	(97.176.400)

Las opciones que no tienen impacto en la tarifa, se deben a que los escenarios planteados no permiten la realización de esta opción. Éstos corresponden a los siguientes:

- Uso Agrícola: En un escenario pesimista se considera la no realización del proyecto, por lo tanto no hay impacto en la tarifa. Este escenario se puede dar por normas muy restrictivas o por poca aceptación de los dueños de predios agrícolas. .
- Incineración: En un escenario pesimista se considera que no se construye el incinerador, por lo que no hay variación en las tarifas de agua. La no construcción de un incinerador para biosólidos, se puede dar por un rechazo del Estudio de Impacto Ambiental, un rechazo de la comunidad aledaña o simplemente por la inexistencia de alguien que quiera asumir el riesgo.

- Co-incineración: En un escenario pesimista no se producirá electricidad con biosólidos por diversos factores, como la no aceptación por parte de las autoridades o la comunidad. No hay variación de la tarifa de agua.

Por último, las opciones que tendrían un efecto negativo (es decir, que aumentarían las tarifas de agua) en caso de su realización son las siguientes:

- Uso forestal: En esta opción, tanto en el escenario considerado como normal como en un escenario considerado pesimista, los flujos arrojan resultados negativos, con un VAN de **(97.176.400)** y de **(280.241.200)** respectivamente, por lo que estas opciones no deberían implementarse en caso de considerar que se dan estos escenarios.

Dentro de estas alternativas que se manejan, para utilizar los biosólidos, las que presentan mejores perspectivas, son la utilización de biosólidos para fines agrícolas y forestales, y la co-incineración en plantas termoeléctricas.

Las razones tienen que ver básicamente porque no hay que hacer inversiones adicionales una vez operando el CGIB El Rutal, para poder conseguir biosólidos con las características necesarias. Lo que implica tomar menos riesgo que al decidir hacer una inversión.

A su vez se recomienda a Aguas Andinas realizar un plan de marketing para sus biosólidos, de preferencia crear una marca para venderlos como un abono orgánico. Un plan de marketing para este producto, puede significar un mayor precio por Kg de biosólidos, una mayor aceptación por parte de los dueños de predios agrícolas y de la comunidad en general. Este es el caso de Milorganite<sup>5</sup>, esta es reconocida como un abono de alta calidad, orgánico y cobra un precio mucho mayor que otros “compost” orgánicos (\$336 vs \$89 por Kg). Se debe considerar el riesgo de que exista un rechazo por parte de la comunidad, debido información sobre posibles efectos nocivos del uso de biosólidos con fines agrícolas.

---

<sup>5</sup>Ver más información en [www.milorganite.com](http://www.milorganite.com)

## BIBLIOGRAFÍA

1. HALCROW GROUP LIMITED – CHILE, 2005. Plan de manejo Integral de los lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Servidas La Farfana. Informe de factibilidad. Santiago, 149p.
2. BS CONSULTORES, 2008. EIA Centro de Gestión Integral de Biosólidos – El Rutil. Estudio de Impacto Ambiental. Santiago, 185p.
3. AGUAS ANDINAS S.A., 2008. <[www.aguasandinas.cl](http://www.aguasandinas.cl)>[consulta: Julio 2008]
4. AGUAS ANDINAS S.A., 2006. Optimización y Mejoramientos en la gestión de la PTAS El Trebal. Declaración de impacto ambiental. Santiago, 103p.
5. ARRIAGADA F., E.G. 2007. Estudio de la factibilidad técnica, prefactibilidad económica y ambiental de la incineración de biosólidos de Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas. Memoria para título de Ingeniero en Prevención de Riesgos y Medio Ambiente. Santiago, Universidad Tecnológica Metropolitana, Facultad de Ciencias de la Construcción y Ordenamiento Territorial, 154p .
6. NAVARRO N., C.R. 2007. Evaluación de la Potencialidad del uso de biosólidos originados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Servidas en la fabricación de ladrillos. Memoria para título de Ingeniero en Prevención de Riesgos y Medio Ambiente. Santiago, Universidad Tecnológica Metropolitana, Facultad de Ciencias de la Construcción y Ordenamiento Territorial, 97p.
7. ERAZO L., N.A. 2007. Opciones de uso y disposición de biosólidos en la Región Metropolitana. Tesis para título de Ingeniero en recursos naturales renovables. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. 79p.
8. SERRANO G. 2007, Atractivo Retorno en Medio de Aguas Calmas, Departamento de Estudios Banchile. <  
<http://www.banchileinversiones.cl/pls/portal/docs/1372407.PDF>> [Consulta: 31 de julio 2008]
9. BBC NEWS, 2005. Greens Spark Sewage Sludge Debate, BBC News UK Scotland, 28 de diciembre de 2005. Story from BBC News < [http://news.bbc.co.uk/go/pr/fr/-/2/hi/uk\\_news/scotland/4564432.stm](http://news.bbc.co.uk/go/pr/fr/-/2/hi/uk_news/scotland/4564432.stm)> [Consulta: 17 de Junio]
10. SUPERINTENDENCIA DE SERVICIOS SANITARIOS, Gobierno de Chile 2008. Superintendencia entregó evaluación de la calidad de servicio de los prestadores

- de agua potable y alcantarillado en zonas urbanas año 2007. <  
[http://www.siss.cl/articles-6222\\_recurso\\_1.pdf](http://www.siss.cl/articles-6222_recurso_1.pdf)> [Consultado: 20 de Junio de 2008]
11. UNIVERSIDAD DE CHILE, 2003, Desarrollo de prácticas sustentables de biosólidos en plantaciones forestales
  12. SOUTHWESTERN OPPORTUNITIES NETWORK, 2008. The Badd Olde Days.<<http://www.swopnet.com/engr//londonsewers/londontext3.html>> [Consultado: 18 de Junio de 2008]
  13. WASTEGUIDE, 2008. Sewage Sludge.  
<[http://www.wasteonline.org.uk/resources/Wasteguide/mn\\_wastetypes\\_sewagesludge.html](http://www.wasteonline.org.uk/resources/Wasteguide/mn_wastetypes_sewagesludge.html)> [Consultado: 25 de Junio de 2008]
  14. CIVILIZATION AND SLUDGE, 2008. Civilization and Sludge: Notes of the history of the Management of human excreta. <<http://www.cqs.com/sewage.htm>> [Consultado: 15 Julio 2008]
  15. TRACKING DOWN THE ROOTS OF OUR SANITARY SEWERS, 2008. Disposal of Sanitary Sewage. <<http://www.sewerhistory.org/chronos/disposal.htm>> [Consultado: 10 de Julio de 2008]
  16. US EPA, 2008. Biosolids.  
<<http://www.epa.gov/OWM/mtb/biosolids/503pe/index.htm>> [Consultado: 5 de Julio de 2008] .
  17. CENTER FOR MEDIA AND DEMOCRACY , 2008. Secret ingredients.  
<<http://www.prwatch.org/prwissues/1995Q3/ingredients.html>> [Consultado: 23 de Julio de 2008]
  18. WORLD COAL INSTITUTE, 2008. Coal Conversion Facts.  
<<http://www.worldcoal.org/pages/content/index.asp?PageID=190>> [Consultado: 2 de Agosto de 2008]
  19. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2008. Statistics.  
<<http://www.iea.org/Textbase/stats/defs/sources/coal.htm>> [Consultado: 4 de Agosto de 2008]
  20. ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION, 2008. Annual Coal Report.
  21. <[http://www.eia.doe.gov/cneaf/coal/page/acr/acr\\_sum.html](http://www.eia.doe.gov/cneaf/coal/page/acr/acr_sum.html)> [Consultado: 24 de Julio de 2008]
  22. ASOCIACIÓN CHILENA DE ENERGÍAS RENOVABLES, 2008.

23. <<http://www.acera.cl/> > [Consultado: 13 de Julio de 2008]
24. ISEL, 2008. La incineración, una alternativa ecológica en la gestión de R.S.U.
25. <[http://www.isel.org/cuadernos\\_E/Articulos/y\\_alarcon.htm](http://www.isel.org/cuadernos_E/Articulos/y_alarcon.htm)> [Consultado: 9 de Julio de 2008]
26. LOWE'S, 2008. 36 Lbs. Organic Nitrogen Fertilizer.
27. <<http://www.lowes.com/lowes/lkn?action=productDetail&productId=97821-1321-97821&lpage=none>> [Consultado: 15 de Julio de 2008]
28. ENERGY DAILY, 2008. Sanford, Florida Chooses Maxwest Environmental Systems To turn Sludge into renewable Energy < [http://www.energy-daily.com/reports/Sanford\\_Florida\\_Chooses\\_MaxWest\\_Environmental\\_Systems\\_To\\_Turn\\_Sludge\\_Into\\_Renewable\\_Energy\\_999.html](http://www.energy-daily.com/reports/Sanford_Florida_Chooses_MaxWest_Environmental_Systems_To_Turn_Sludge_Into_Renewable_Energy_999.html) >[Consultado: 24 de Julio de 2008]
29. STAUBER. J y RAMPTON 1995, Sludge hits the fun: Toxic Sludge is Good for You, Lies, damn lies and the Public Relation Industry.

## **ANEXOS**

### **Anexo1**

#### **Impacto 1. Aumento en la concentración de material particulado respirable en la RM durante C.**

Actividades que pueden causar este efecto:

- Instalación de faenas.
- Suministro de material de relleno.
- Transporte de equipos, materiales, maquinaria, insumos y personal.
- Transporte de material de relleno.
- Tránsito de camiones y maquinaria pesada en obra.
- Funcionamiento de motores y generadores.
- Movimientos de tierra y compactación.
- Despeje de vegetación.
- Construcción de oficinas administrativas y de difusión.
- Construcción de cancha de acondicionamiento.
- Construcción de monorelleno.
- Construcción de tranque de acumulación de aguas lluvias.
- Construcción de estanque de acumulación de percolado.
- Construcción de planta de tratamiento de percolado.
- Construcción de acceso y caminos internos.
- Construcción de pircas y miradores.
- Manejo de residuos sólidos inertes.
- Cierre de faenas constructivas.

## **Anexo 2**

### **Actividades de mitigación**

Las principales medidas de mitigación para las emisiones de partículas durante la construcción, incluyen programación del transporte para minimizar el flujo vehicular, usar vehículos y maquinarias en buen estado de mantención y que cumplan con la normativa vigente, y humidificar los materiales y fuentes generadoras de material particulado.

Es importante notar que debido a las medidas de mitigación consideradas, a la naturaleza difusa de fuentes como el transporte, y a la repartición de las emisiones restantes en el sector del proyecto, éste no impactará significativamente la calidad del aire a escala local.

Por otra parte, a escala de la RM, se requiere verificar si las emisiones anuales de material particulado respirable del proyecto requieren compensación según el Plan de Prevención y

Descontaminación Atmosférica de la RM. Debido a que el proyecto se ejecutará en fases, se superponen las etapas de construcción y operación y mantenimiento, correspondiendo analizar el efecto acumulativo de sus emisiones. Esta implementación en fases del proyecto da origen a 6 escenarios de emisiones descritos y evaluados en el Anexo 2.3 del Capítulo 2.

La comparación de las emisiones totales de material particulado del proyecto durante cada fase de desarrollo con las emisiones anuales máximas que no requieren compensación según el Plan de

Prevención y Descontaminación Atmosférica de la RM, indica que el proyecto requiere compensar el 150% de sus emisiones de material particulado respirable durante los escenarios 3 (1 año de duración), 4 (4 años de duración), 5 (1 año de duración) y 6 (5 años de duración), por un monto de 28,3 ton, 24,3 ton, 36,3 ton y 33 ton de MP10, respectivamente (como se muestra en la tabla).

Montos anuales de emisiones a compensar

Escenarios de emisión		Monto de emisiones anuales a compensar				
N°	Descripción	MP10 (Kg)	HC (Kg)	CO (Kg)	NO <sub>x</sub> (Kg)	SO <sub>2</sub> (Kg)
1	Construcción etapa 1 (1 año)	0	0	0	0	0
2	Operación etapa 1 (4 años)	0	0	0	0	0
3	Operación etapa 1 + Construcción etapa 2 (1 año)	28.302	0	0	0	0
4	Operación etapa 2 (4 años)	24.339	0	0	0	0
5	Operación etapa 2 + Construcción etapa 3 (1 año)	36.342	0	0	0	0
6	Operación etapa 3 (5 años)	33.080	0	0	0	0

Nota: para definir la duración de cada escenario debe considerarse que cada etapa de desarrollo del proyecto tiene un horizonte de diseño estimado de 5 años, y que la construcción de la infraestructura de cada etapa demorará 1 año.

Como las emisiones dependerán de la demanda real de biosólidos que se genere en cada una de las alternativas de reuso presentadas en el EIA, Aguas Andinas anualmente entregará a la Autoridad Ambiental un “Informe de Gestión de Biosólidos del Centro de Gestión Integral de Biosólidos” que contendrá información respecto a las actividades de reuso benéfico efectivamente llevadas a cabo, indicando en detalle entre otros, los aspectos relacionados con la emisión de material particulado, tales como: los reusos desarrollados, identificación de predios y lugares de destino, distancias recorridas, rutas utilizadas y emisiones asociadas a las diferentes actividades realizadas. De esta forma anualmente, se definirá e implementará el plan de compensaciones si corresponde.

### **Anexo 3**

#### **Impacto 2. Aumento en la concentración de material particulado respirable en la RM durante OM.**

Actividades que pueden causar este impacto durante OM:

- Transporte de personal, materiales e insumos.
- Transporte de biosólidos desde el CGIB a lugares de reuso.
- Transporte de biosólidos y material estructurante al interior del CGIB

- Manejo de biosólidos en cancha de secado incluyendo secado solar, biosecado y acopio temporal.
- Disposición de biosólidos en monorrelleno.
- Funcionamiento de motores y generadores.
- Funcionamiento de maquinaria y equipos motorizados.
- Reuso de biosólidos en el CGIB.
- Reuso externo de biosólidos.

#### **Anexo4**

##### **Impacto 3. Aumento en la concentración de gases atmosféricos en la RM durante C.**

El aumento en la concentración de gases atmosféricos durante la etapa de construcción puede ser causado por las siguientes actividades:

- Transporte de equipos, materiales, maquinaria, insumos y personal.
- Transporte de material de relleno.
- Tránsito de camiones y maquinaria pesada en obra.
- Funcionamiento de motores y generadores.
- Construcción de oficinas administrativas y de difusión.
- Construcción de cancha de acondicionamiento.
- Construcción de monorrelleno.
- Construcción de tranque de acumulación de aguas lluvias.
- Construcción de estanque de acumulación de percolado.
- Construcción de planta de tratamiento de percolado.
- Construcción de acceso y caminos internos.
- Construcción de pircas y miradores.
- Manejo de residuos sólidos inertes.

#### **Anexo 5**

#### **Impacto 4. Aumento en la concentración de gases atmosféricos en la RM durante OM.**

El aumento en la concentración de gases atmosféricos durante la etapa de operación y mantenimiento puede ser causado por las siguientes actividades:

- Transporte de personal, materiales e insumos.
- Transporte de biosólidos desde el CGIB a lugares de reuso.
- Transporte de biosólidos y material estructurante al interior del CGIB.
- Manejo de biosólidos en cancha de secado incluyendo secado solar, biosecado y acopio temporal.
- Funcionamiento de motores y generadores.
- Funcionamiento de maquinaria y equipos motorizados.
- Manejo de basuras domésticas.
- Manejo de residuos peligrosos.

#### **nexo 6**

#### **Impacto 5. Aumento en la percepción de olores en las cercanías del CGIB durante OM.**

El cambio en la concentración de compuestos odoríferos durante la etapa de operación y mantenimiento puede ser causado por las siguientes actividades:

- Transporte de biosólidos desde el CGIB a lugares de reuso.
- Transporte de biosólidos y material estructurante al interior del CGIB.
- Manejo de biosólidos en cancha de secado incluyendo secado solar, biosecado y acopio temporal.
- Disposición de biosólidos en monorrelleno.
- Captación y almacenamiento de percolado.
- Tratamiento de percolado.
- Reuso de biosólidos en el CGIB.

## **Anexo 7**

### **Medidas de mitigación**

En determinadas condiciones meteorológicas y bajo ciertas condiciones de operación de la cancha, como la apertura de biosólidos húmedos que hayan sido acopiados durante los períodos de baja temperatura, se pueden dar las condiciones para que los olores de la cancha puedan ser percibidos por los vecinos de Montenegro y Rungue. A objeto de evitar o minimizar este posible impacto, el proyecto incorpora diversas medidas de mitigación entre las que se puede mencionar: construcción de la cancha alejada de los centros poblados, construcción de franja forestal en el entorno de las canchas, el proyecto será construido por etapas, disminuir la cantidad de lodos húmedos acopiados en la cancha, etc. Adicionalmente, se contará con un sistema de monitoreo de olores.

## **Anexo 8**

### **Impacto 6. Aumento en el nivel de ruido y vibraciones en las zonas habitadas cercanas a las obras durante C.**

El cambio en el nivel de ruido y vibraciones durante la etapa de construcción puede ser causado por las siguientes actividades:

- Instalación de faenas.
- Transporte de equipos, materiales, maquinaria, insumos y personal.
- Transporte de material de relleno.
- Tránsito de camiones y maquinaria pesada en obra.
- Funcionamiento de motores y generadores.
- Movimientos de tierra y compactación.
- Despeje de vegetación.
- Construcción de fundaciones, radieres y estructuras.
- Construcción de cancha de acondicionamiento.
- Construcción de monorrelleno.

- Construcción de tranque de acumulación de aguas lluvia.
- Construcción de estanque de acumulación de percolado.
- Construcción de planta de tratamiento de percolado.
- Construcción de acceso y caminos internos.
- Construcción de pircas y miradores.
- Cierre de faenas constructivas.

## **Anexo 9**

### **Niveles NPC Máximos permitidos, según DS 146**

Tipo de Zona	DS 146 Uso de Suelo permitido	Nivel corregido de inmisión de ruido NPC en dBA	
		Día 7 a 21 hrs.	Noche 21 a 7 hrs.
ZONA I	Habitacional y equipamiento a escala vecinal	55	45
ZONA II	Habitacional y equipamiento a escala comunal y/o regional	60	50
ZONA III	Como Zona II + industria inofensiva	65	55
ZONA IV	Industrial exclusivo	70	70
Rural	Rural, agrícola, etc.	Nivel de ruido de fondo + 10 dBA	

Según el Plano Regulador de la comuna de Til Til, el lugar donde se encuentran los puntos sensibles al ruido corresponde a una Zona Rural.

De acuerdo a la zonificación establecida por el D.S. 146, el Nivel de inmisión máximo permitido en una Zona Rural, está determinado por el Nivel de ruido de fondo + 10 dBA.

### **Línea Base de Ruido (LBR)**

Las mediciones de LBR se realizaron el Miércoles 28 de Agosto de 2007 en horario diurno, en 5 puntos de referencia, escogidos de acuerdo a la ubicación de los puntos sensibles al ruido más cercano al CGIB o, en su ausencia, en el interior y/o perímetro de éste. Cabe señalar que los Puntos 4 y 5 corresponden a puntos medidos por el Consultor en Abril de 2002.

Dado que durante estas mediciones se realizó un conteo de vehículos por la Ruta 5, los niveles de ruido registrados son homologables a la situación actual, considerando las grandes fluctuaciones de flujo que se producen durante el día.

En la Tabla 6.8 se encuentra registrado un resumen de las mediciones practicadas tanto en horario diurno como nocturno junto con el tipo de zona según el DS 146.

### Mediciones horario diurno

Miércoles 28.08.07, 16:00-18:00 hrs. Despejado, 16°C. Viento suave.					
Punto N°	Leq dBA	LMax dBA	Lmin dBA	Observaciones	Tipo Zona
1	64	73	45	Ruido de fondo determinado por paso de vehículos por Ruta 5 Norte. Con paso de tren y paso de avión comercial el Leq se incrementa en 1 dBA. Flujo vehicular: VP/h=192; VL/h=144	IV
2	47	58	36	Se percibe flujo vehicular por Ruta 5 Norte, pajarillos, paso de 2 aviones comerciales. Mugido de vaca provoca Lmáx.	IV
3	32	45	21	Se percibe en forma lejana flujo vehicular por Ruta 5 Norte. Pajarillos y mugidos lejanos.	IV
4	68	82	41	Se percibe sólo paso de vehículos por Ruta 5 Norte. Flujo vehicular: VP/h=70; VL/h=70.	IV
5	62	67	51	Se percibe sólo paso de vehículos por Ruta 5 Norte. Flujo vehicular: VP/h=400; VL/h=380.	IV

Los Niveles de Ruido de Fondo registrados en las cercanías de la Ruta 5 Norte, están determinados por el flujo vehicular en esta Ruta y el paso de tren y aviones. En la medida que se interna en el predio donde se emplazará el proyecto, el Nivel de ruido de fondo comienza a ser determinado por fuentes naturales, tales como pajarillos, relinchos o mugidos. En este último caso, el Nivel máximo está determinado por el paso de aviones a gran altura.

Identificación de las zonas sensibles durante etapas de construcción y operación

Los puntos sensibles más cercanos al proyecto corresponden, por el Norte, al sector de Montenegro, cuyas casas más cercanas se encuentran a 2,5 km del acceso

del proyecto. Por el lado suroeste del proyecto, se encuentra el poblado de Rungue, cuyas casas más cercanas están ubicadas a más de 2 km. del proyecto.

Todos estos puntos descritos, corresponden respecto del DS 146, a zonas de tipo rural, por lo que el nivel de inmisión de ruido máximo permitido, tanto en horario diurno como nocturno, está determinado por el ruido de fondo registrado + 10 dBA.

### **Identificación de fuentes de ruido etapa de construcción**

El proyecto contempla la construcción de obras de acceso y caminos interiores, centro de educación ambiental y difusión, invernadero y área de investigación de reuso de biosólidos, zonas de estacionamientos, áreas de reuso de biosólidos, tranque de acumulación de aguas lluvia y sistema de riego, plataforma de acondicionamiento (cancha de secado solar y biosecado), área de acopio de

biosólidos, monorelleno, sistema de manejo de percolado (incluyendo embalse de acumulación) y agua de lavado de camiones, planta de tratamiento de percolado, edificio de mantenimiento, edificio de administración, sistema de agua potable y red de incendio, y subestación eléctrica.

A continuación se detallan las principales actividades que, durante la etapa de construcción del proyecto, pueden provocar un incremento del nivel de ruido ambiente:

### **NIVELES DE POTENCIA ACÚSTICA ESTIMADOS PARA LA ETAPA CONSTRUCCIÓN DEL PROYECTO**

Actividades	Niveles de emisión de Potencia Acústica Lw, dBA
Movimientos de tierra	100
Movimiento de materiales	101
Equipos estacionarios	105
Maquinaria de impacto	111
Manipulación de materiales	110

El Nivel de inmisión de ruido máximo permitido por el DS 146, no es sobrepasado en el perímetro del Proyecto. Para casas ubicadas en el sector de

Rungue, a más de 2 km. al suroeste del proyecto, el nivel de inmisión de ruido máximo permitido por el DS 146, tampoco es sobrepasado por la construcción del proyecto.

Las emisiones de ruido durante la construcción se manejarán a través de la implementación de las siguientes medidas de control:

- Operación preferentemente diurna de los equipos y maquinaria de construcción.
- Utilización de pantallas acústicas en los frentes de trabajo cuando sea necesario.

### **Anexo 10**

#### **Impacto 7. Aumento en el nivel de ruido y vibraciones en las zonas habitadas cercanas al CGIB durante OM.**

El cambio en el nivel de ruido y vibraciones durante la etapa de operación y mantenimiento puede ser causado por las siguientes actividades:

- Suministro de material estructurante.
- Transporte de personal, materiales e insumos.
- Almacenamiento y manejo de materiales e insumos.
- Transporte de biosólidos desde el CGIB a lugares de reuso.
- Transporte de biosólidos y material estructurante al interior del CGIB.
- Manejo de biosólidos en cancha de secado incluyendo secado solar, biosecado y acopio temporal.
- Funcionamiento de motores y generadores.
- Funcionamiento de maquinaria y equipos motorizados.
- Reuso de biosólidos en el CGIB.
- Reuso externo de biosólidos.

Para el análisis de las emisiones de ruido, es muy importante destacar que el área de emplazamiento del proyecto se encuentra a una distancia entre 2 y 2,5 km (medida en el acceso) de las localidades más próximas (Rungue y Montenegro), al

costado opuesto de la Ruta 5. Las canchas se encontrarán a más de 3 kilómetros de los posibles receptores.

### **Identificación de fuentes de ruido etapa de operación**

La siguiente tabla contiene los niveles de emisión de potencia acústica asociado a las actividades que pueden constituir, durante la etapa de operación, una fuente de contaminación al entorno.

### **Niveles de potencia acústica estimados para la etapa de operación del proyecto.**

Actividades	Niveles de emisión de Potencia Acústica Lw, dBA
Subestación eléctrica	115
Tractor Brown Bear	105
Planta de Tratamiento Percolado	110
Máquina Tamizadora	105
Bulldozer	105
Sistema de Bombas	105

Las nuevas instalaciones contarán con las características de diseño que permitirán cumplir cabalmente con la normativa incluida en el D.S. N°594/1999 del Ministerio de Salud “Reglamento sobre condiciones sanitarias y ambientales básicas en los lugares de trabajo.” Adicionalmente, Aguas Andinas S.A. cuenta con un Programa de Salud Ocupacional, que monitorea permanentemente los niveles de ruido en los lugares de trabajo, implementa medidas correctivas y proporciona los equipos y procedimientos de trabajo necesarios para proteger la salud de los trabajadores. Las nuevas instalaciones consideradas en el proyecto quedarán sujetas al programa existente.

### **Anexo 11**

### **Impacto 9. Disminución de la calidad del caudal superficial que deja el CGIB durante OM.**

La variación en la calidad de agua superficial puede ser causada por las siguientes actividades:

- Tratamiento de percolados y descarga a curso superficial.
- Almacenamiento de aguas lluvias en tranque.

El efluente del tratamiento de líquidos percolados será descargado al cauce existente en la subcuenca sur, existente en el predio o será reusado en el riego de las plantaciones internas; en el caso de ser descargada al cauce, cumplirá con el DS 90. Por otra parte, la existencia de un pequeño tranque de aguas lluvias en la cuenca norte, provocará un proceso de sedimentación al interior del tranque mejorando la calidad de agua que no será embalsada y que seguirá su curso normal, hacia el estero Rungue.

## **Anexo 12**

### **Impacto 10. Disminución de la calidad del acuífero bajo el CGIB durante OM.**

Durante la etapa de operación y mantenimiento, las actividades que potencialmente podrían producir un impacto sobre la calidad del agua subterránea son:

- Almacenamiento y manejo de materiales e insumos.
- Disposición de biosólidos en monorrelleno.
- Captación y almacenamiento de percolado.
- Tratamiento de percolado.
- Manejo de aguas servidas generadas por los trabajadores.

Podría producirse una alteración de la calidad del agua subterránea si se produce infiltración de percolado desde el estanque de almacenamiento, la cancha de acondicionamiento, o el monorrelleno.

Sin embargo, estas instalaciones estarán revestidas con sellos impermeables y, por consiguiente, la contaminación del agua subterránea por esta vía es poco probable.

Podría producirse una alteración de la calidad del agua subterránea si se produce infiltración de sustancias contaminantes (combustibles, aguas servidas). Sin embargo, el manejo de éstas será según las normativas aplicables y, por consiguiente, la contaminación del agua subterránea por esta vía es muy poco probable.

El resultado del estudio geofísico de la quebrada Los Perales, sector donde estará emplazado el futuro embalse de percolado, muestra que los sectores acuíferos tienen potencias aproximadas de entre 10 y 20 m de profundidad. Las unidades que componen las zonas acuíferas están dadas por un primer estrato de sedimentos finos, seguido de un estrato delgado de ripio y finalmente, antes de llegar al fondo rocoso, un estrato más ancho de gravas con sedimentos finos. Por lo tanto, la geometría acuífera está dominada por sedimentos finos poco permeables, lo que minimizaría el riesgo de contaminación por esta vía.

### **Anexo 13**

#### **Impacto 11. Alteración de la calidad del suelo bajo la zona de obras al interior del CGIB durante C.**

El empeoramiento de la calidad del suelo bajo la zona de obras durante la etapa de construcción puede ser causada por las siguientes actividades:

- Almacenamiento de materiales e insumos.
- Tránsito de camiones y maquinaria pesada en obra.
- Mantenimiento de equipos y maquinaria de construcción.
- Construcción de oficinas administrativas y de difusión.
- Construcción de cancha de acondicionamiento.
- Construcción de monorrelleno.
- Construcción de tranque de acumulación de aguas lluvias.
- Construcción de estanque de acumulación de percolado.
- Construcción de planta de tratamiento de percolado.

- Construcción de acceso y caminos internos.
- Construcción de pircas y miradores.
- Manejo de aguas servidas generadas por los trabajadores.
- Manejo de residuos sólidos inertes.
- Manejo de basuras domésticas.
- Manejo de residuos peligrosos.

De las actividades mencionadas previamente, las únicas que alteran la calidad del suelo produciendo una compactación de éste, son aquellas actividades asociadas a la construcción de las instalaciones. La alteración de la calidad del suelo a través de la contaminación de éste, puede deberse al derrame de hidrocarburos, producto de la carga y descarga de combustibles y de la mantención de equipos y maquinarias. En consecuencia, para minimizar este riesgo de contaminación, se les exigirá a los contratistas que adopten las medidas necesarias para minimizar la ocurrencia de accidentes que puedan producir estos impactos.

Por último, la principal fuente de contaminación del suelo durante la etapa de construcción proviene de la inadecuada disposición de las aguas servidas y los residuos sólidos. En primer lugar, las aguas servidas serán manejadas con baños químicos proporcionados por contratistas autorizados.

Adicionalmente, todos los residuos sólidos de construcción (residuos sólidos inertes, basuras domésticas y residuos peligrosos) serán recolectados y retirados por empresas autorizadas que cumplan con la legislación ambiental vigente, y dispuestos finalmente en lugares autorizados por la Autoridad Sanitaria Regional Metropolitana.

#### **Anexo 14**

##### **Impacto 12. Alteración de la calidad del suelo bajo el CGIB durante OM.**

Las actividades que potencialmente podría producir un impacto sobre la calidad del suelo durante la etapa de operación y mantenimiento son:

- Almacenamiento y manejo de materiales e insumos.

- Captación y almacenamiento de percolado.
- Tratamiento de percolado.
- Mantenición de maquinaria y equipos.
- Reuso de biosólidos en el CGIB.
- Manejo de aguas servidas generadas por los trabajadores.
- Manejo de basuras domésticas.
- Manejo de residuos peligrosos.

La calidad del suelo puede verse alterada debido al derrame accidental de hidrocarburos o sustancias peligrosas cuando se almacenan insumos. Este riesgo de contaminación es bajo, debido a los planes de prevención de riesgos y control de derrames considerados para el proyecto. La carga, transporte por camiones y descarga de biosólidos y residuos del tamizado puede producir derrames de estos materiales, dejando capas esparcidas sobre el suelo. Este riesgo de contaminación es bajo, debido a los planes de prevención de riesgos y control de derrames. Adicionalmente, los biosólidos estarán deshidratados, por lo que su movilidad será mínima si son derramados y podrán ser completamente removidos. Además, de acuerdo a los análisis realizados, los biosólidos no corresponden a residuos peligrosos, dado que no tienen las características de toxicidad, inflamabilidad y corrosividad.

Podría producirse una alteración de la calidad del suelo si se produce infiltración de percolados desde la cancha de secado, desde el monorrelleno o desde el estanque de percolado. Sin embargo, estas instalaciones estarán provistas con superficies impermeables. Por consiguiente, la contaminación del suelo por esta vía es poco probable.

Adicionalmente, el suelo podría ver alterada su calidad por aplicaciones inapropiadas de biosólidos. Sin embargo, esta situación es poco probable debido a que las aplicaciones de biosólidos se efectuarán siguiendo planes de esparcimiento aprobados por la autoridad sectorial.

## **Anexo 15**

### **Impacto 14. Riesgo de desastres naturales en el CGIB durante OM.**

Durante la etapa de operación y mantenimiento, las obras y, por lo tanto, las actividades que podrían verse afectadas por desastres naturales son:

- Manejo de biosólidos en cancha de secado incluyendo secado solar, biosecado y acopio temporal.
- Disposición de biosólidos en monorelleno.
- Captación y almacenamiento de percolado.
- Almacenamiento de aguas lluvia en tranque y uso en regadío.

Las principales obras del proyecto serán construidas en terrenos con poca pendiente y fuera de zonas de riesgo de remoción en masa. Adicionalmente, las obras serán construidas sin intervenir quebradas e implementando una franja de protección de 40 m en torno a ellas. Para el drenaje de la zona industrial se consideró además un canal colector, diseñado en base a un análisis de crecidas, de tal forma que las aguas lluvia no escurran hacia el interior de las canchas de secado.

Respecto del riesgo sísmico, en caso de un movimiento sísmico de magnitudes elevadas sólo cabría esperar fallas menores en las instalaciones de proceso (como por ejemplo deslizamientos menores al interior del monorrelleno y grietas menores en la cancha asfáltica de acopio temporal/secado), las cuales podrían ser reparadas rápidamente. Lo anterior, porque los diseños se efectuarán utilizando normas de diseño sismorresistente, y porque las obras de procesos son eminentemente horizontales.

## **Anexo 16**

**Impacto 15. Alteración en la población de árboles en el terreno afectado por las obras al interior del CGIB durante C.**

Las actividades que potencialmente podrían alterar la población de árboles en el terreno afectado por las obras durante la etapa de construcción son:

- Despeje de vegetación.
- Restitución de vegetación.

El levantamiento de la línea de base estableció que el área donde se proyectaron las obras correspondientes a la zona de procesos, está cubierta por vegetación que constituye bosque según lo señala el Art. 2, DL 701/1974. Si bien es una formación de matorral espinoso degradado y abierto, las coberturas de copa estimadas, entregan valores sobre el 10%. Por lo tanto, Aguas Andinas presentará un Plan de Manejo Forestal por aquellas superficies cubiertas por vegetación nativa a cortar (destroncar) por actividades del proyecto. Dado que el proyecto tiene tres etapas, se presentará un plan de manejo para cada una de ellas. En total, la compensación forestal alcanzará 45 há.

### **Anexo 17**

Las actividades de reforestación para aplicación de biosólidos programadas al interior del CGIB incluyen:

- Enriquecimiento bosque esclerófilo (65 há). Como una manera de reutilización de los biosólidos y en lugares considerados como vulnerables.
- Franjas arborizadas (30 há). Pantalla que rodeará la zona de las canchas.
- Enriquecimiento protección de quebrada. Como una manera de reutilización de los biosólidos y para contribuir a la protección de los recursos hídricos.

Como una forma de hacer sustentable la reforestación propuesta y como parte del programa de enriquecimiento forestal, se implementará un vivero y un invernadero que permitan autoabastecerse de plantas y experimentar con el uso de biosólidos. Estas superficies permitirán disponer de plantas para la forestación de aproximadamente 27 hectáreas al año. Es importante destacar que en el CGIB se

realizará la investigación básica necesaria, que podría contribuir significativamente a fomentar la recuperación de terrenos degradados mediante el reuso forestal de biosólidos en el país.

### **Anexo 18**

#### **Impacto 19. Disminución del hábitat para fauna al interior del CGIB durante C.**

Las actividades que provocarán una disminución de hábitat para la fauna durante la etapa de construcción son:

- Instalación de faenas.
- Tránsito de camiones y maquinaria pesada en obra.
- Movimientos de tierra y compactación.
- Despeje de vegetación.
- Construcción de oficinas administrativas y de difusión.
- Construcción de cancha de acondicionamiento.
- Construcción de monorelleno.
- Construcción de tranque de acumulación de aguas lluvias.
- Construcción de estanque de acumulación de percolado.
- Construcción de planta de tratamiento de percolado.
- Construcción de acceso y caminos internos.

### **Anexo 19**

Las actividades que podrían producir un aumento en el nivel de tránsito vehicular durante la etapa de construcción del proyecto son:

- Transporte de equipos, materiales, maquinaria, insumos y personal.
- Transporte de material de relleno.
- Manejo de residuos sólidos inertes.

- Manejo de basuras domésticas.
- Manejo de residuos peligrosos.

El flujo de camiones y maquinaria pesada durante la construcción que se realice sobre caminos públicos cumplirá con lo establecido en el inciso 3° del artículo 30 del texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley Orgánica del Ministerio de Obras Públicas y en el Decreto con Fuerza de Ley sobre Construcción y Conservación de Caminos, que regula los pesos máximos para la circulación vehicular por caminos públicos.

El movimiento del flujo de camiones y vehículos livianos hacia el CGIB será siempre de sur a norte a través de la Ruta 5, específicamente hasta el punto kilométrico km 58,5, donde se ubicará el acceso. El retorno al sur se hará en el Enlace Montenegro distante aproximadamente 3,7 km más al norte. El área de influencia directa queda definida entonces por todo el entorno que será afectado por la construcción y operación del centro de gestión. Esta área de influencia debe incorporar aquellas vías que por sus características se puedan considerar como una opción para los flujos generados por el proyecto. En este contexto y considerando la ubicación del sitio, la única vía considerada en el área de influencia directa del proyecto es la Ruta 5 Norte en el acceso al proyecto.

El aumento en el grado de saturación, debido al flujo generado por el Centro de Gestión prácticamente no varía el nivel de servicio de la Ruta 5, ya que el porcentaje de incremento de vehículos equivalentes no sobrepasa el 2% respecto del flujo de la Ruta 5 y, por tanto, no es incidente.

Para el caso del Enlace Montenegro, que será utilizado para el retorno hacia el sur, no se prevén problemas de capacidad, ya que éste posee las correspondientes pistas de desaceleración y aceleración para ingresar y salir desde y hacia la Ruta 5. Tanto la estructura de paso a desnivel como los ramales de enlace no presentan problemas para el tránsito de camiones.

Finalmente, cabe destacar además que el proyecto incluye infraestructura vial de acceso que cumplirá el estándar de la Ruta 5, es decir, con las correspondientes

pistas de cambio de velocidad (desaceleración y aceleración), para acceder y salir del complejo, según las recomendaciones impuestas por la Dirección de Vialidad del MOP.

## **Anexo 20**

### **Impacto 25. Aumento en el nivel del tránsito vehicular en la RM durante OM.**

Las actividades que podrían producir un aumento en el nivel de tránsito vehicular durante la etapa de operación y mantenimiento del proyecto son:

- Suministro de material estructurante.
- Transporte de personal, materiales e insumos.
- Transporte de biosólidos desde el CGIB a lugares de reuso.
- Manejo de residuos.
- Difusión y educación.

El flujo de camiones durante la operación y mantenimiento que se realice sobre caminos públicos cumplirá con lo establecido en el inciso 3° del artículo 30 del texto refundido, coordinado y sistematizado de la Ley Orgánica del Ministerio de Obras Públicas y en el Decreto con Fuerza de Ley sobre Construcción y Conservación de Caminos, que regula los pesos máximos para la circulación vehicular por caminos públicos.

El análisis de la oferta vial del área de influencia, y de las capacidades y niveles de servicio de las vías a utilizar, se presentan en la evaluación del impacto anterior (Impacto 24), y no se vuelve a presentar en la tabla siguiente.

Se estima que, durante la fase de operación y mantenimiento del proyecto, se generarán los flujos vehiculares. A partir de esta información, se calcula entonces la demanda máxima total del proyecto en vehículos equivalentes para la etapa de operación y mantenimiento.

## DEMANDA CAMIONES ETAPA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO VEQ/H

Actividad	N° Viajes Día Ida y Regreso	N° Viajes Hora Ida y Regreso
Transporte de Biosólidos hacia el CIGB	80	5
Transporte de Biosólidos para reuso externo	56	2,5
Otros	16	1
Total Viajes hora	136	8,5
Veq/h		21,3

Del valor anterior, se concluye que el aumento en el grado de saturación, debido al flujo generado por el Centro de Gestión prácticamente no varía el nivel de servicio de la Ruta 5, ya que el porcentaje de incremento de vehículos equivalentes no sobrepasa el 1% respecto del flujo de la Ruta 5 y, por tanto, no es incidente. Para el caso del Enlace Montenegro, que será utilizado para el retorno hacia el sur, no se prevén problemas de capacidad, ya que éste posee las correspondientes pistas de desaceleración y aceleración para ingresar y salir desde y hacia la Ruta 5. Tanto la estructura de paso a desnivel como los ramales de enlace no presentan problemas para el tránsito de camiones.

Finalmente, cabe destacar además que el proyecto incluye infraestructura vial de acceso que cumplirá el estándar de la Ruta 5, es decir, con las correspondientes pistas de cambio de velocidad (desaceleración y aceleración), para acceder y salir del complejo, según las recomendaciones impuestas por la Dirección de Vialidad del MOP.

### **Anexo 21**

#### **Impacto 27. Alteración del patrimonio histórico y arqueológico al interior del CGIB durante C.**

Las actividades que podrían producir una alteración del patrimonio histórico y arqueológico durante C son:

- Instalación de faenas.
- Despeje de vegetación.
- Construcción de oficinas administrativas y de difusión.
- Construcción de cancha de acondicionamiento.
- Construcción de monorellenos.
- Construcción de tranque de acumulación de aguas lluvias.
- Construcción de estanque de acumulación de percolado.
- Construcción de planta de tratamiento de percolado.
- Construcción de acceso y caminos internos.
- Construcción de pircas y miradores.

La prospección arqueológica superficial estableció que en el área del proyecto existen variados hallazgos que corresponden a la categoría de elementos patrimoniales; comprenden las evidencias paleontológicas y los restos arqueológicos que están claramente protegidas por la legislación vigente (Artículos 1 y 21 de la Ley 17.288 y Artículo 21 del Reglamento de la misma ley).

La prospección arqueológica detectó una clara concentración de evidencias líticas en el sector medio de la Quebrada Los Perales, correspondiente a un área de aproximadamente 750 m de largo (NO-SE) por 400 m de ancho, ocupando ambos lados de la citada quebrada. Además, hacia los sectores NE y SE, correspondiente al área flanqueada por la Loma Los Niños, Monte El Buitre, Quebrada Los Salteadores, Loma Los Mayos y hacia el extremo SE de la Quebrada Los Perales, se registraron numerosas evidencias líticas dispersas junto con construcciones históricas y despejes de terreno actuales. Cabe destacar que estos terrenos de concentración de hallazgos arqueológicos estarán fuera de las áreas de proceso que incluyen las obras de la cancha de secado/acopio temporal de biosólidos y el monorelleno.

Sólo 2 de los hallazgos de la prospección superficial se ubicaron en el área de cancha, consistentes en los elementos patrimoniales R-45 y R-46. R-45 corresponde a un área de actividad lítica dispersa de área 3 m (E-O) por 4 m (N-S), mientras que R-46 corresponde a un área de actividad lítica concentrada de 40 m por 40 m (núcleo y lascas).

Posterior a la prospección superficial, se realizó una prospección subsuperficial. Los pozos de sondeo ejecutados, con autorización del Consejo de Monumentos Nacionales, confirmaron la presencia de restos con valor arqueológico en la zona subsuperficiales. En el informe ingresado al Consejo de Monumentos Nacionales se proponen un Plan de medidas de mitigación y compensación para hacerse cargo de este impacto. El plan incluye, entre otras medidas: planimetría de detalle, recolección, identificación, análisis, conservación y embalaje, etc.

En atención a lo anterior, si durante la etapa de construcción de la obra se descubriera algún sitio arqueológico subsuperficial adicional, o algún hallazgo superficial que no hubiese sido catastrado en las exploraciones ya realizadas, Aguas Andinas procederá en la forma que lo señala la Ley 17.288 sobre Monumentos Nacionales, más exactamente según lo estipulado en el Título V (De los Monumentos Arqueológicos, de las Excavaciones e Investigaciones Científicas Correspondientes), Artículo 26 de dicha ley. Además, el lugar tendría que ser objeto de una inspección arqueológica y se procedería a elaborar un Plan de Contingencias de acuerdo a la naturaleza de los hallazgos.

## **Anexo 22**

### **Impacto 28. Valoración del patrimonio histórico y arqueológico al interior del CGIB durante OM.**

Las actividades que pueden producir una potenciación del patrimonio arqueológico existente al interior del Centro de Gestión de Biosólidos es:

- Construcción de acceso y caminos internos.
- Construcción de pircas y miradores.
- Difusión y educación.

Es parte del proyecto la existencia de circuitos que permitan la observación de restos arqueológicos, tales como las piedras tacitas existentes en el sitio, las cuales serán protegidas y cercadas para asegurar su conservación. En esos puntos existirán paneles informativos y se contará con material escrito (folletos) para ser entregado a los estudiantes que visiten estos lugares.

## **Anexo 23**

### **Impacto 29. Modificación del paisaje en zona de obras al interior del CGIB durante C.**

Las actividades que podrían producir una alteración en la visibilidad, calidad y fragilidad visual durante la construcción son:

- Instalación de faenas.
- Despeje de vegetación.
- Construcción de cancha de acondicionamiento.
- Construcción de monorelleno.
- Construcción de tranque de acumulación de aguas lluvias.
- Construcción de estanque de acumulación de percolado.
- Construcción de planta de tratamiento de percolado.
- Construcción de acceso y caminos internos.
- Construcción de pircas y miradores.
- Restitución de vegetación.
- Cierre de faenas constructivas.