



Facultad de Ciencias
Instituto de Biología y Química
Ingeniería Ambiental

“Alternativa de manejo y disposición final de los lodos producto del tratamiento de las aguas residuales: Estudio de pre-factibilidad técnica para ser reciclado en la elaboración de materiales de la construcción”

Sr. Jorge Andrés Araya Araya

Trabajo de titulación para optar al título de Ingeniero Ambiental

Valparaíso – Chile

2004

Universidad de Valparaíso
Facultad de Ciencias
Instituto de Biología y Química
Ingeniería Ambiental

“Alternativa de manejo y disposición final de los lodos producto del tratamiento de las aguas residuales: Estudio de pre-factibilidad técnica para ser reciclado en la elaboración de materiales de la construcción”

Sr. Jorge Andrés Araya Araya

Profesor guía	: Dr. Hernán Gaete Olivares
Profesor informante	: Sr. Patricio Arellano Ricotti
Profesor informante	: Dra. Patricia Martínez Ramírez

Trabajo de titulación para optar al título de Ingeniero Ambiental

Valparaíso – Chile

2004

Consumismo (Nicanor Parra)

Consumismo
Derroche
Despilfarro
Serpiente que se traga su propia cola

Buenas noticias
La tierra se recupera en un millón de años

Somos nosotros los que desaparecemos

El mundo actual?
El mundo actual!

Agradecimientos

Ha pasado el tiempo suficiente y ya es hora de andar, pero también es tiempo de agradecer a los múltiples seres que han estado conmigo desde siempre y que sin ellos no podría estar celebrando la llegada de este apoteósico día. Gracias a mis incondicionales papá y mamá, que siempre están ahí, a mi hermana y su hermoso ángel (la nico), y a todos los innumerables que estuvieron entregándome su apoyo. Obviamente me faltan mis amigas que aguantaron reclamos tras reclamo, bajón tras bajón, pero siempre con una palabra de aliento y ánimo para mis des-ánimos, gracias paula, carina, cynthia. Por ultimo a los pilares que formaron algo de mi profesionalismo que ahora se encuentra a prueba, mis profesores, gracias.

Jorge Araya

INDICE TEXTO

INTRODUCCION	- 1 -
1. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS Y LA PRODUCCION DE LODOS	- 3 -
1.1 Caracterización de aguas residuales	- 3 -
1.2 Tratamiento de las aguas residuales	- 3 -
1.2.1 Sistema de lodos activados convencional	- 4 -
1.2.2 Lodos de aguas residuales	- 5 -
1.3 Características de los Lodos	- 6 -
1.3.1 Características físicas	- 6 -
1.3.2 Características químicas	- 7 -
1.3.3 Índices fundamentales de la caracterización de los lodos	- 9 -
1.4 Tratamiento y manejo para los Lodos de planta de tratamiento de aguas residuales	- 11 -
1.4.1 Tratamiento de los lodos	- 12 -
1.5 Higienización de los Lodos	- 16 -
2. DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	- 17 -
2.1 Tendencias mundiales en la disposición de los Lodos	- 21 -
2.2 Alternativas de uso para el Lodo	- 24 -
2.2.1 Nuevos usos benéficos	- 25 -
2.3 Problemas en el reciclaje para el Lodo	- 32 -
2.4 Observaciones para el uso del Lodo en procesos térmicos	- 36 -
3. PROBLEMA	- 38 -
3.1 OBJETIVOS	- 42 -
3.1.1 General	- 42 -
3.1.2 Específicos	- 42 -
4. METODOLOGÍA	- 43 -
4.1 Descripción del estado actual de los lodos	- 43 -
4.2 Identificación de las alternativas de disposición final para el lodo	- 43 -
4.3 Evaluación de la propuesta de reutilización y reciclaje del lodo	- 45 -
4.4 Análisis de los sistemas propuestos para la reutilización y el reciclaje del lodo en la industria de la construcción local	- 47 -
5. RESULTADOS	- 49 -
5.1 Descripción del estado actual de producción de lodos	- 49 -
5.1.1 Tratamiento de las aguas residuales del la ciudad de Santiago	- 49 -
5.1.3 Operaciones y Proceso Unitarios	- 53 -
5.1.4 Producción de lodos	- 57 -
5.1.5 Manejo y disposición final de los lodos	- 58 -

5.1.6 Características de los lodos	- 59 -
5.2 Identificación de las alternativas de disposición final para el lodo	- 63 -
5.2 Sistema de tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Santiago	- 51 -
5.2.1 Levantamiento de información de las industrias de la construcción en la región metropolitana	- 64 -
5.3 Evaluación de reutilización y reciclaje del lodo, en la región metropolitana, utilizando la metodología desarrollada por Zordan	- 71 -
5.3.1 Evaluación de la industria con potencial de reciclar el lodo, ubicada en la región metropolitana	- 72 -
5.3.2 Análisis de los resultados obtenidos de la evaluación	- 84 -
5.4 Análisis de los sistemas propuestos para la reutilización y el reciclaje del lodo en la industria de la construcción local	- 85 -
5.4.1 Variables técnicas	- 86 -
5.4.2 Variables ambientales	- 89 -
5.4.3 Variables económicas	- 91 -
6. DISCUSIÓN	- 94 -
7. CONCLUSION	- 102 -
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	- 104 -
ANEXOS	- 109 -

INDICE DE TABLAS

TABLA 1.1 Composición química de los lodos crudos y biosólidos	- 7 -
TABLA 1.2 Nutrientes presentes en lodos estabilizados	- 8 -
TABLA 1.3 Principales microorganismos presentes en los lodos	- 8 -
TABLA 1.4 Metales presentes en los lodos	- 9 -
TABLA 1.5 Espesamiento del contenido de sólidos del lodo	- 13 -
TABLA 1.6 Procesos involucrados en el Tratamiento de los Lodos	- 16 -
TABLA 1.7 Límites de microorganismo de patógenos	- 17 -
TABLA 2.1 Proyección de uso y disposición final de los lodos en los USA	- 24 -
TABLA 2.2 Propiedades de los ladrillos hechos de lodos y cenizas de lodos	- 31 -
TABLA 2.3 Cuidados para el Transporte de Lodo	- 33 -
TABLA 5.1 Proyección del caudal aportante por área del gran Santiago	- 50 -
TABLA 5.2 Estimación de generación de lodos secos	- 58 -
TABLA 5.3 Datos estimados de las características de las plantas de tratamiento y su producción de lodos	- 58 -
TABLA 5.4 Principales características analizadas para los lodos de la planta El Trebal	- 60 -
TABLA 5.5 Humedad del lodo de la planta el Trebal en Monorelleno	- 61 -
TABLA 5.6 Niveles de contaminantes microbiológico en los lodos, planta el Trebal	- 62 -
TABLA 5.7 Comparación entre Concentración de metales pesados planta El Trebal v/s literatura	- 62 -
TABLA 5.8 Concentración teórica para metales en lodos producidos en La Farfana	- 63 -
TABLA 5.9 Alternativas propuestas para el reciclaje del lodo, en materiales de la construcción	- 64 -
TABLA 5.10 Expertos considerados para la evaluación de los sistemas de reciclaje	- 72 -
TABLA 5.11 Porcentaje absorción del lodo para cada una de la industrias evaluadas	- 73 -
TABLA 5.12 Puntos positivos y negativos para el reciclaje del lodo en los sistemas propuestos	- 73 -
TABLA 5.13 Grado potencial de ocurrencia de los aspectos en los sistemas de reciclajes propuestos	- 75 -
TABLA 5.14 Valorización del desempeño ambiental del Co-procesamiento del lodo	- 76 -
TABLA 5.15 Valorización del desempeño ambiental en la fabricación de ladrillos cerámicos	- 76 -

TABLA 5.16 Valorización del desempeño ambiental de la. Fabricación de áridos livianos artificiales	- 77 -
TABLA 5.17 Desempeño de los sistemas de reciclaje para la evaluación ambiental	- 77 -
TABLA 5.18 Riesgo para la salud de los sistemas de reciclaje propuestos	- 78 -
TABLA 5.19 Resumen para la Evaluación de Mercado	- 81 -
TABLA 5.20 Resumen de evaluación para el aspecto económico	- 83 -
TABLA 5.21 Análisis de jerarquía para la evaluación económica	- 83 -
TABLA 5.22 Resumen de la Evaluación de los Sistemas de Reciclaje	- 84 -
TABLA 5.23 Matriz de valoración para las alternativas de reciclaje del lodo	- 85 -
TABLA 5.24 Análisis FODA Variable técnica	- 88 -
TABLA 5.25 Análisis FODA Variable Ambiental	- 91 -
TABLA 5.26 Análisis FODA Variable Económica	- 93 -

INDICE FIGURAS

Figura 1.1 Esquema general del tratamiento y manejo de los lodos	- 12 -
Figura 2.1: Eliminación de lodos en UE	- 22 -
Figura 2.2 Esquema del proceso de fabricaron del ALER	- 27 -
Figura 2.3 Balance de masas para el co-procesamiento del lodo	- 28 -
Figura 2.4 Esquema general del proceso de fabricación de ladrillos de lodos	- 29 -
Figura 4.1 Esquema resumen de la etapa de descripción del estado actual del lodo	- 43 -
Figura 4.2 Esquema resumen de la etapa de identificación de industrias	- 44 -
Figura 4.3 Esquema resumen para la etapa de evaluación de los sistemas de reciclaje propuestos para el lodo	- 47 -
Figura 4.4 Esquema resumen para la etapa de análisis de los sistemas de reciclaje propuestos	- 48 -
Figura 5.1 Plano de ubicación plantas de tratamiento gran Santiago	- 50 -
Figura 5.2 Metas plan de Inversión de Aguas Andinas	- 51 -
Figura 5.3 Foto panorámica general de planta El Trebal	- 52 -
Figura 5.4 Esquema de vista general planta La Farfana	- 53 -
Figura 5.5 Diagrama Esquemático del Tratamiento con Lodos Activados en la ciudad de Santiago	- 56 -
Figura 5.6 Esquema general de la elaboración del cemento	- 66 -
Figura 5.7 Esquema proceso estándar de fabricación de ladrillo en la industria nacional	- 69 -
Figura 5.8 Esquema del proceso de fabricación del árido artificial liviano	- 71 -

RESUMEN

En la ciudad de Santiago en la actualidad se encuentran en operación dos plantas de tratamiento, el Trenal y la Farfana, produciendo, en promedio, 200 ton/día de lodos, como sub-producto del tratamiento de sus afluentes. Estos lodos son depositados en monorellenos, ubicados en el interior de cada planta, pero se espera su aplicación y comercialización como abono agrícola. En casos de excepción pueden ser depositados en rellenos sanitarios, como el vertedero Lomas Los Colorados de KDM.

El objetivo principal de este trabajo de titulación, fue determinar la prefactibilidad técnica para el manejo y disposición final del lodo, producido en planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Santiago, proponiendo su reutilización o reciclaje en procesos de elaboración de materiales de la construcción, en la industria local.

La nueva propuesta para la gestión del lodo corresponde a la de tipo benéfico, la cual pretende entregar un “valor” al residuo. Se propuso la reutilización y el reciclaje del lodo, a través de la incorporación a procesos industriales en la fabricación de materiales de la construcción.

Se identificaron en la región metropolitana, las industrias dedicadas a la elaboración de los materiales posibles para dicha gestión, estas fueron: el Co-procesamiento para la fabricación del cemento; la fabricación de ladrillos cerámicos; y la fabricación de áridos livianos artificiales. Para cada uno de estos materiales se recopiló información, y se evaluó, a través de consulta a expertos de cada una de las áreas identificadas, utilizando la metodología propuesta por Zordan (2003). La información obtenida nos permitió ordenar para cada criterio (ambiental, técnico, económico y de mercado) cada alternativa, una vez resuelto los lugares, se realizó un análisis multicriterio, para determinar a la más viable como sistema de gestión para el lodo. Posteriormente cruzando, la información real de cada industria y las evaluaciones, se realizó un análisis FODA, para identificar la mejor alternativa en un escenario teórico para desarrollo de la nueva gestión y disposición final del lodo.

Como conclusión se determinó que la propuesta de reutilización del lodo mediante su incorporación a materiales de la construcción podría ser viable en el ámbito local, de la región metropolitana, con lo cual se podría ampliar las formas de disposición tradicionales. Además que el co-procesamiento en la elaboración de cementos es la alternativa mas viable en el corto plazo.

Palabras claves: lodos; plantas de tratamiento; residuos sólidos; reutilización; reciclaje; materiales de la construcción; disposición final.

INTRODUCCIÓN

A medida que se produce un mayor crecimiento en la economía de los países, se produce un aumento en la presión hacia el medio ambiente. Se puede mencionar mayor polución del aire, mayor consumo de recursos naturales, la generación y manejo de residuos sólidos y contaminación de los cursos de agua, por el aumento de las descargas de aguas residuales. La práctica habitual, a lo largo de la Historia, fue la de enterrar o diluir (en tierra, agua o aire) los residuos generados, posiblemente creyendo que lo que se diluye no contamina (John, 2000).

Actualmente las aguas residuales son tratadas, para eliminar o disminuir la carga de contaminantes, y de este modo poder restituir las a los cursos de aguas naturales. Este tratamiento, ambientalmente correcto y necesario, presenta algunos inconvenientes desde un punto de vista de la destrucción de los contaminantes eliminados de las aguas, ya que su separación no implica su destrucción total, presentando un nuevo problema ambiental para este sub-producto, debido (en muchos casos) a sus características físico-químicas y a su gran volumen a disponer. Este residuo es conocido como lodo y es eliminado de diversas formas como: la disposición en el mar, (basada en la capacidad de dilución de éste para los contaminantes); la disposición en rellenos sanitarios (enterrados con el resto de los residuos domésticos generados por la ciudad, lo que implica un agotamiento de la vida útil del relleno); también han sido incinerados (aprovechando su potencial energético). Otra alternativa ha sido su aplicación como abono en la agricultura y en terrenos forestales (donde, después de tratados se aprovecha los micro-nutrientes presentes en ellos).

En el presente trabajo se abordó la problemática que presenta, el aumento de producción del lodo, en las plantas de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Santiago. Como se observó, independientemente del tipo de

proceso que se utilice en dicho tratamiento, la producción del residuo viene intrínsecamente vinculada con él.

La primera parte de la revisión, tuvo la función de entregar nociones básicas sobre ingeniería sanitaria, capaz de apoyar la introducción en la discusión, sobre la posibilidad de reutilización y reciclaje del residuo. Además entregó una visión amplia, lo que significa el problema de su producción y las diferentes prácticas de su disposición final.

En la segunda parte, se presentaron los antecedentes que permiten avalar la ampliación de posibles aplicaciones benéficas para el manejo de los lodos, en Chile. Detallándose las más recientes alternativas que aprovechan las características de los lodos para la fabricación de ciertos materiales de la construcción civil.

Por último, se plantearon los objetivos para este trabajo de título, la metodología a seguir y los resultados obtenidos, que permitieron determinar la pre-factibilidad para la aplicación de los lodos en la elaboración de materiales de la construcción, a través de su reutilización y reciclaje. Los materiales de la construcción considerados para reutilización y reciclaje en sus procesos fueron: el co-procesamiento en la elaboración del cemento, fabricación de ladrillos cerámicos y la elaboración de áridos livianos artificiales, determinando la más viable en una posible reutilización del lodo en el ámbito local.

1. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS Y LA PRODUCCION DE LODOS.

1.1. Caracterización de aguas residuales

Las aguas residuales que se producen en una ciudad provienen de tres fuentes principales: aguas servidas domésticas, aguas de infiltración y residuos líquidos industriales. Las aguas servidas domésticas contienen 99 % de agua y 1 % de sólidos, orgánicos e inorgánicos, en suspensión o disueltos, en forma de microorganismos, que en conjunto constituyen la causa de su tratamiento (Metcalf & Eddy, 1995). Para las aguas servidas residuales existen características físicas (Sólidos totales, sólidos sedimentables o no, sólidos filtrables o no, temperatura, densidad, etc), químicas (materia orgánica, nitrógeno, fósforo, grasas y aceites, metales pesados, etc) y biológicas (organismos indicadores de contaminación fecal) cuantificables (Inda, 1999), de éstas dependerá el grado y tipo de tratamiento que se aplicará para su depuración (Knight Piesold, 1998).

1.2. Tratamiento de las aguas residuales

Los niveles de tratamiento que tendrán las aguas dependerán de las condiciones, legislación, normas reguladoras de calidad del agua, y necesidades locales (Metcalf & Eddy, 1995). A partir de este análisis se determina el grado de eficiencia para remover los contaminantes de las aguas. Los niveles de tratamiento usados son (Inda, 1999):

- **Preliminar:** remoción de sólidos en suspensión (sólidos de gran tamaño, arenas).
- **Primario:** remoción de sólidos en suspensión sedimentables y DBO¹ contenida en los sólidos sedimentables.
- **Secundario:** remoción de DBO en suspensión y DBO disuelta.

¹ Demanda biológica de Oxígeno

- **Terciario:** remoción de nutrientes, patógenos, compuestos no biodegradables, metales pesados, sólidos inorgánicos disueltos.

Los métodos de depuración de las aguas se dividen en operaciones y procesos unitarios, y la interacción de estos componentes forma los sistemas de tratamiento. Los principales sistemas de tratamiento comúnmente usados son: lagunas de estabilización, y sus variantes aireadas; sistemas de lodos activados; sistemas aerobios con biofiltros; sistema anaeróbico con post tratamiento (Metcalf & Eddy, 1995).

Por eficiencia en la remoción y capacidad de tratamiento de grandes volúmenes en áreas pequeñas el sistema mas solicitado es el sistema de lodos activados, el cual detallaremos a continuación.

1.2.1. Sistema de lodos activados convencional

El sistema de lodos activados convencional está compuesto por un tanque de aeración (reactor), un tanque de decantación (decantador secundario), una bomba de recirculación de lodos, y además de tratamiento preliminar (rejilla, desarenador) y tratamiento primario (decantador primario) (Metcalf & Eddy, 1995). A través de los procesos y operaciones unitarias ocurridas durante el tratamiento de las aguas se van generando residuos, que por poseer un elevado contenido de humedad suelen denominarse lodos.

El principio básico del sistema de lodos activados convencional es el aumento de concentración de biomasa (bacterias) en suspensión en el tanque de aireación. En el decantador secundario existe un reservorio de bacterias activas, estas son recirculadas al tanque de aireación manteniendo una relación alimento/microorganismos constante. Debido al continuo crecimiento de bacterias, se debe garantizar el equilibrio, con la retirada de biomasa, la cual aumenta proporcional con el crecimiento bacteriano normal. Esta fracción es llamada lodo biológico excedente, el cual puede ser extraído o recirculado, o en su defecto retirado para su tratamiento.

1.2.2. Lodos de aguas residuales

El tratamiento de los subproductos sólidos generados, es una etapa esencial del tratamiento de las aguas residuales. Estos subproductos son materia biológica en exceso, arena, espuma, lodo primario y lodo secundario (Metcalf & Eddy, 1995). La gestión de estos residuos presenta un alto grado de complejidad al transportarlo fuera de la planta depuradora, presentando un alto costo, entre un 40 a 60 % de los gastos totales de operación (Knight Piesold, 1998).

Los lodos que se originan en el tratamiento de las aguas residuales² se distinguen de acuerdo a su origen:

- **Lodos crudos:** son todos los lodos que se producen en el tratamiento de aguas residuales, previo al acondicionamiento o tratamiento de los mismos, en general corresponde a todos los lodos provenientes de tratamiento primario y tratamiento secundario de las aguas.

- **Lodos primarios:** se refiere a todos los sólidos gruesos, materia flotante o sedimento de las aguas residuales, removidos por tratamiento mecánico. Incluye sólidos separados en rejas o criba (vegetales, maderas, papeles, plásticos, etc.), lodos provenientes de la etapa de clarificación (constituidos por excrementos, papeles y restos de verduras). Su color varía desde el gris hasta el amarillo, con un contenido de agua del 90 al 95 %.

- **Lodos secundarios³:** provienen de los procesos biológicos de las plantas de tratamiento; se trata de biomasa excedente producida en la descomposición biológica y metabolización de los compuestos inorgánicos que llevan a cabo los microorganismos. Son de características esponjosa, con color desde el café al gris, con una carga orgánica alta (alrededor del 70 %), por lo que son altamente putrescibles y de mal olor. También muestran un elevado porcentaje de agua, cerca del 90 %.

- **Lodos terciarios:** son aquellos que se producen en el tratamiento químico de las aguas servidas, principalmente con un floculante o coagulante (polímeros orgánicos, sales de fierro, aluminio, cal u otro).

² Entendiendo tanto aguas servidas municipales como residuos industriales líquidos (RILES).

³ También conocidos como BIOSÓLIDOS.

- **Lodos provenientes de la aireación extendida:** corresponde a una modificación del proceso de lodos activados, en él no se requiere una clarificación primaria o un tratamiento anaeróbico de los lodos, sino los sólidos, o biomasa excedente del proceso se estabilizan a través de una aireación extendida, es decir en forma simultánea en la etapa de tratamiento biológico. El lodo resultante está estabilizado y parcialmente higienizado.

- **Sedimentos provenientes de lagunas de estabilización o aireadas:** incluyen sólidos orgánicos, inorgánicos y biomasa excedente. Por el largo tiempo que se encuentra en fondo, los lodos son estabilizados anaeróbicamente y parcialmente higienizados.

1.3. Características de los Lodos

Para proponer un acondicionamiento, tratamiento y una disposición final apropiada de los diferentes tipos de lodos es importante conocer las características físicas, químicas y biológicas de cada uno de los tipos de lodos mencionados. Los lodos o biosólidos⁴, en general, se caracterizan por gran contenido de agua, a la que deben su gran volumen y sus pobres características mecánicas, lo que dificulta su manejo y disposición final.

1.3.1. Características físicas (Knight Piesold, 1998)

Físicamente, los lodos generados en un proceso de tratamiento biológico por lodos activados, presentan un color café marrón, el que cambia a negro en el proceso de descomposición, su olor a tierra húmeda indica que la descomposición ha finalizado. La fluidez y la plasticidad de los lodos varían según el contenido de humedad y la naturaleza de los sólidos.

- Al reducir el contenido de agua del lodo aproximadamente un 15%, puede observar un espesamiento bien definido;
- Con un 70 a 80 % de agua, el lodo ya no escurre, y se conoce con el nombre de torta;

⁴ Sólidos con alto contenido de materia orgánica, denominado de este modo por su potencial agronómico.

- Los lodos con un contenido de humedad de hasta un 65%, pueden ser depositados sin restricciones, para lo cual se aplica secado térmico o acondicionamiento con cal.

1.3.2. Características químicas (Cortés, 2003)

En la tabla 1.1 se indican rangos de parámetros químicos para los lodos, citados en la literatura. Estas características químicas de los lodos se relacionan con sus cinco constituyentes principales:

TABLA 1.1 Composición química de los lodos crudos y biosólidos

PARÁMETROS	LODO PRIMARIO CRUDO	BIOSÓLIDOS O LODOS
Sólidos secos totales	2,0-8,0	0,83-1,16
Sólidos volátiles	60-80	59-88
Aceites y grasas	7-35	5-12
Proteínas	20-30	32-41
Nitrógeno N	1,5-4	2,4-5,0
Fósforo P ₂ O ₅	0,8-2,8	2,8-11
Potasio NaOH	0,1	0,5-0,7
Celulosa	8,0-15,0	
Hierro no como sulfuro	2,0-4,0	
Sílice SiO ₂	15,0-20,0	
pH	5,0-8,0	6,5-8,0
Alcalinidad mg/l como CaCO ₃	500-1.500	580-1.100
Ácidos orgánicos mg/l	200-2.000	1.100-1.700
Poder calorífico kcal/g	23.000-29.000	18.500-23.000
Fuete: Metcalf Y Eddy, 1995		

a) Contenido orgánico

El contenido orgánico presente en los biosólidos se expresa generalmente como porcentaje que representan los sólidos volátiles, removidos tras someter a los sólidos a una temperatura de 550° C, bajo condiciones de oxidación. La determinación del contenido orgánico es importante para determinar su valor térmico, su potencial olor, su utilización como mejorador de suelos y para la generación de biogás.

b) Nutrientes

Los lodos de aguas residuales domésticas contienen tres nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas: nitrógeno, fósforo y potasio. Por ejemplo, el nitrógeno, en los biosólidos puede estar como nitratos, amonio o nitrógeno orgánico y el fósforo, por su parte, puede estar presente como ión fosfato y orto fosfato. En la tabla 1.2 se presentan los niveles típicos del nitrógeno y otros compuestos considerados como nutrientes para vegetales.

TABLA 1.2 Nutrientes presentes en lodos estabilizados

COMPUESTO	NIVEL PORCENTUAL DE NUTRIENTES (%)		
	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Fertilizantes	5,0	10,0	10,0
Lodos estabilizados	3,3	2,3	0,3

Fuente: Metcalf & Eddy; "Ingeniería de aguas residuales", 1996.

c) Concentración de patógenos

Los lodos secundarios o biosólidos son principalmente biomasa residual, la cual está constituida por una variada y significativa población de microorganismos como: bacterias, virus, protozoos, huevos de helmintos, los que se concentran durante el proceso de depuración de las aguas residuales. El tratamiento puede reducir, pero no eliminar completamente tales portadores. En la tabla 1.3, se indican valores referenciales manejados por la agencia de protección ambiental de USA, EPA, para los niveles de concentración típica de patógenos.

TABLA 1.3 Principales microorganismos presentes en los lodos

PATÓGENO	LODO NO ESTABILIZADO (NMP/100ml)	LODO DIGERIDO ANAERÓBICA MENTE (NMP/100ml)
Virus	2.500-70.000	100-1.000
Coliformes fecales	1.000.000.000	30.000-6.000.000
Salmonella	8.000	3-62
Ascaris lumbricoides	200-1.000	0-1.000

Fuete: EPA, 1999.

d) Metales

Los lodos provenientes de plantas depuradoras en zonas urbanas con un aporte muy significativo de RILES, pueden contener metales pesados o sustancias orgánicas tóxicas. Estos compuestos pueden provocar dificultades en los procesos de tratamiento de los lodos y limitan las alternativas de utilización de estos. La tabla 1.4 contiene un resumen con los niveles típicos de metales pesados encontrados en los lodos citados en la literatura.

e) Químicos orgánicos tóxicos

El lodo digerido en una planta de tratamiento de aguas residuales, puede contener sustancias químicas orgánicas sintéticas aportadas por los efluentes industriales, productos químicos utilizados en el hogar y pesticidas.

TABLA 1.4 Metales presentes en los lodos

METALES	CONCENTRACIONES EN BIOSOLIDOS SECOS (mg/kg)		
	Intervalo ¹	Promedio ¹	Norma E.P.A ²
Arsénico	1,1-230	10	75
Cadmio	1-3.410	10	85
Cromo	10-99.000	500	3.000
Cobalto	1,3-2.490	30	
Cobre	84-17.000	800	4.000
Hierro	1.000-154.000	17.000	
Plomo	13-26.000	500	840
Manganeso	32-9.870	260	
Mercurio	0,6-5,6	6	57
Molibdeno	0,1-214	4	75
Níquel	2,5-300	80	420
Selenio	1,7-17,2	5	100
Estaño	2,6-329	14	
Zinc	101-49.000	1.700	7.500

Fuete: ¹ Metcalf & Eddy, 1995
² E.P.A, 1999.

1.3.3. Índices fundamentales de la caracterización de los lodos

Para una correcta expresión de las características de los lodos y un lenguaje uniforme son presentados los siguientes índices más utilizados.

- Relación entre sólidos totales y humedad.

- $\text{Humedad (\%)} = 100 - \text{sólidos secos (\%)}$.

La humedad influye en las propiedades mecánicas del lodo, dificultando su manejo y disposición final, debido al aumento del su volumen. La relación entre humedad y propiedades mecánicas son las siguientes:

- Humedad entre 100 – 75 %: lodo fluido;
- Humedad entre 75 – 65 %: torta semi sólida;
- Humedad entre 65 – 40 %: sólido duro;
- Humedad entre 40 – 15 %: lodo en gránulos;
- Humedad entre 15 – 0 %: lodo desintegrado en polvo.

- Sólidos totales, fijos y volátiles: Los lodos están compuestos por agua y sólidos. Los sólidos totales (ST) se dividen en sólidos disueltos y sólidos en suspensión, siendo estos últimos en mayor concentración. En cuanto a materia orgánica los sólidos se dividen en sólidos fijos (SF) o inorgánicos y sólidos volátiles (SV) u orgánicos, siendo la relación (SV/ST) un buen indicador de materia orgánica en el lodo.
- Remoción de sólidos volátiles: Los procesos de digestión remueven los sólidos orgánicos biodegradables. La eficiencia de remoción se sitúa entre 40 a 55 % de SV.
- Densidad del lodo: El lodo tiene densidad distinta según la composición de humedad, SV, SF, ya que depende de la distribución relativa en la masa. Por lo general el valor es igual a 1.
- Expresión de sólidos totales: Se expresa en forma de sólidos secos en relación al lodo (sólido + agua), mg/L o gr/m³.
- Carga de sólidos: La carga de sólido en los lodos es la masa de sólidos secos por unidad de tiempo, kg/día.

1.4. Tratamiento y manejo para los Lodos de planta de tratamiento de aguas residuales

Durante la depuración de las aguas residuales, se generan diversos residuos o lodos, su composición y el tipo de lodo resultante dependerá exclusivamente del tratamiento que se emplee en la depuración del agua (Metcalf & Eddy, 1995). En general, el manejo de los lodos es complejo, debido a su alto contenido de humedad y a la materia orgánica presente en ellos, la cual se descompone fácilmente generando malos olores, entre otros problemas ambientales.

En la práctica la mayoría de las plantas depuradoras proceden mediante la deshidratación mecánica de los lodos, procediendo a su disposición final en lugares destinados para tales efectos. En la figura 1.1 se muestra un diagrama de flujo que representa el tratamiento y depósito final de los lodos. Para conocer los tipos de tratamiento que se les da a los lodos debemos introducirnos en las principales tecnologías actualmente en uso que permiten deshacerse de ellos minimizando el impacto ambiental y económico.

El tratamiento de los lodos se efectúa para alcanzar dos objetivos básicos que son (Knight Piesold, 1998):

- Concentración / reducción de volumen (por consideraciones lógicas de transporte, almacenamiento y disposición final).
- Higienización y estabilización (reducción del potencial de atracción de vectores).

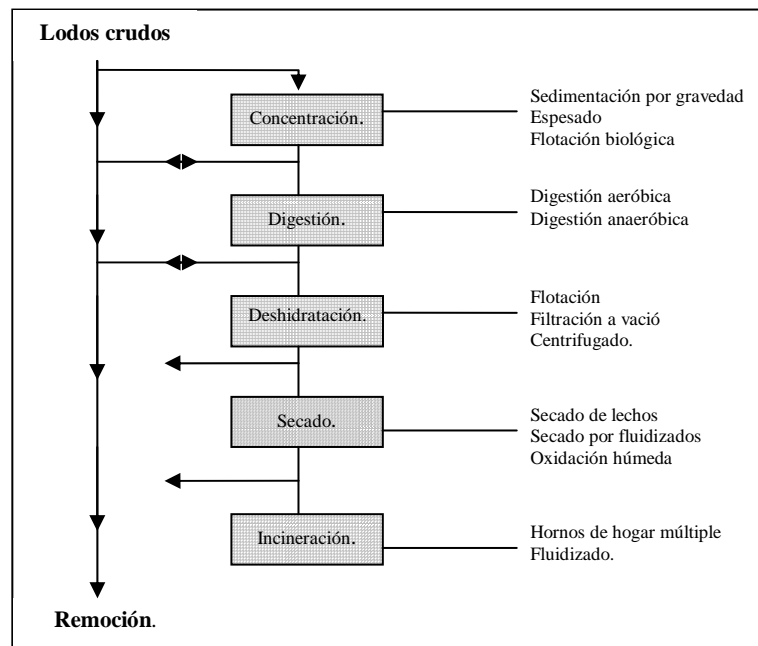


Figura 1.1 Esquema general del tratamiento y manejo de los lodos (Chamy y Poirrier, 1996).

1.4.1. Tratamiento de los lodos

- Procesos físicos

Estos se dividen en aquellos que logran espesamiento y desaguado del lodo:

- Espesamiento: El espesamiento se emplea para concentrar el contenido de sólidos del lodo mediante la eliminación de su fracción líquida, disminuyendo su volumen. Esta operación se lleva a cabo mediante procedimientos físicos, que incluyen el espesamiento por gravedad, flotación, centrifugación y filtros de banda por gravedad. Como se muestra en la tabla 1.5.

- Desaguado: El desaguado consiste en la remoción de agua del lodo tanto como sea posible, reduciendo el volumen a tratar en operaciones subsecuentes. Las técnicas se basan en operaciones como la evaporación y percolación natural, o en la aplicación de medios mecánicos como filtros, centrifugas, canchas de secado y lagunaje. La elección del método a aplicar

dependerá de las características del lodo y del espacio disponible para realizar la operación. Métodos de desaguado:

- Filtración a vacío.
- Filtros banda.
- Filtros de prensa.
- Canchas de secado.
 - Canchas de secado convencionales de arena
 - Canchas de secado pavimentadas
 - Canchas de secado de medio artificial
 - Canchas de secado por vacío
- Lagunas de secado.

TABLA 1.5 Espesamiento del contenido de sólidos del lodo.

MÉTODO	APLICABLE	USO
Espesamiento por gravedad	Lodo primario	Muy utilizado
	Mezcla de lodo y exceso de biosólido	De mayor aplicación en plantas de tratamiento pequeño
	Biosólidos	Poco utilizado por la pobre concentración de sólidos
Flotación con aire disuelto	Mezcla de lodo y exceso de biosólido	Poco utilizado pues otorga resultados similares a un espesador por gravedad
	Biosólidos	Uso frecuente pues entrega excelentes resultados
Centrifugación	Biosólidos	De uso limitado por el costo de manutención del equipo, pero entrega buenos resultados
Filtro banda	Biosólidos	De creciente uso, por sus buenos resultados
Espesador de tambor rotatorio	Biosólidos	De creciente uso, por sus buenos resultados
Fuente: Metcalf & Eddy, 1996		

- Procesos químicos

Estos procesos se caracterizan por la adición de elementos químicos a los lodos, para generar su estabilización. Entre las alternativas más utilizadas son el acondicionamiento químico con cal, el cual permite obtener excelentes resultados de estabilización y concentración de sólidos.

Los factores que afectan el acondicionamiento químico de los lodos, son sus propiedades y el tipo de equipo a utilizar en el mezclado biosólido-reactivo y la deshidratación. Entre las propiedades del lodo que afectan el acondicionamiento se tienen: Su origen: tipo primario, activado o digerido; Concentración de sólidos; Su edad; pH y Alcalinidad.

- Procesos biológicos

Los procesos biológicos implican la acción de microorganismos, a los cuales se les otorgan las condiciones óptimas para llevar a cabo el proceso de estabilización. Entre los procesos biológicos se encuentran:

- La digestión anaeróbica
- La digestión aeróbica
- El compostaje
- El secado biológico.

En general podemos mencionar las ventajas y desventajas del tratamiento biológicos de los lodos. Las principales ventajas de utilizar en proceso biológicos:

1. El metano generado puede aprovecharse como combustible (digestión anaerobia);
2. Genera escasa cantidad de biomasa (digestión anaerobia);
3. Favorece la desinfección y eliminación de patógenos (digestión anaerobia);
4. La reducción de sólidos volátiles es aproximadamente igual a la obtenida en la digestión anaeróbica;
5. Produce biosólidos biológicamente estables del tipo humus, sin olor otorgándole valor como fertilizante;
6. Presenta un menor costo inicial (digestión aerobia).

Sus principales desventajas son:

1. El crecimiento de las bacterias formadoras de metano es lento (digestión anaerobia);
2. Alto costo inicial (digestión anaerobia);

3. Existe un mayor gasto energético por la incorporación de oxígeno (digestión aerobia);
4. El biosólido digerido presenta pobres características para su deshidratación mecánica (digestión aerobia);
5. Es un proceso muy sensible a la temperatura y a los materiales empleados en la construcción del equipo (digestión aerobia);
6. No genera biogás (digestión aerobia).

- Procesos térmicos

El proceso consiste en someter al lodo a temperaturas altas que inhiban o eliminen la acción de microorganismos, además de destruir elementos dañinos, como ciertos contaminantes. El secado térmico de los lodos permite eliminar el agua mediante la aplicación de calor externo. En el secado de los lodos generalmente se realiza un aprovechamiento del calor residual, mediante su conducción a una central térmica o una planta incineradora o bien mediante la instalación de una planta de cogeneración. Otros procesos térmicos utilizados son:

- Incineración,
- Vitrificación,
- Cristalización Por Congelamiento, y
- Oxidación por aire húmedo.

En general podemos mencionar las ventajas y desventajas del tratamiento térmico de los lodos, encontrándose lo siguiente:

Ventajas

1. Logra concentrar un 30 al 50 % de contenido de sólidos en los lodos deshidratados;
2. No requiere aditivos químicos;
3. Permite estabilizar el lodo destruyendo la mayor parte de los organismos patógenos;
4. Presenta un poder calorífico entre 28 y 30 cal/g de sólidos volátiles;
5. Es insensible a las variaciones de la composición de los lodos a tratar.

Desventajas

1. Elevados costos de inversión inicial, limitando su uso en plantas de grandes dimensiones;
2. Requiere control y mantenimiento;
3. Problema de generación de olores que precisan de un tratamiento especial;
4. El sobrenadante obtenido en el proceso presenta un alto contenido de DBO y requiere un tratamiento auxiliar;
5. Sus subproductos presentan un alto contenido de nitrógeno amoniacal y color;
6. Genera incrustaciones en los intercambiadores de calor lo que requiere lavados con sustancias ácidas.

La tabla 1.6 se resume el tratamiento de los lodos, agrupado en cuatro categorías.

TABLA 1.6 Procesos involucrados en el Tratamiento de los Lodos

PROCESOS				
FÍSICOS		QUÍMICOS	BIOLÓGICOS	TÉRMICOS
Espesamiento	Desaguado			
<ul style="list-style-type: none">• Decantación• Flotación• Centrifugación	<ul style="list-style-type: none">• Filtración• Centrifugación• Secado• Evaporación• Prensado	<ul style="list-style-type: none">• Acondicionamiento• Neutralización• Extracción• Estabilización• Solidificación	<ul style="list-style-type: none">• Digestión• Anaeróbica• Digestión aeróbica• Compostaje	<ul style="list-style-type: none">• Incineración• Vitrificación• Congelamiento• Cristalización• Ceramización
Fuente: Knight Piesold, 1998				

1.5. Higienización de los Lodos

Los niveles de patógenos, presentes en los lodos, pueden ser reducidos a través de tratamiento anaeróbico, debido a que muchos parásitos intestinales y principalmente sus huevos son poco afectados por procesos de digestión convencionales, necesitando una etapa complementaria o en conjunto al proceso mismo, para una adecuada reducción de los niveles de

patógenos que ponen en riesgo a la población, de acuerdo a las exigencias para cada tipo de utilización.

TABLA 1.7 Límites de microorganismo de patógenos, expresado en base térmica, por norma USEPA, 40 CFR 503

Microorganismos	Norma 40 cfr 503
Coliformes fecales	< 1000 cfu / g ST
Salmonellas	3 < NMP / 4 g ST
Enterovirus	1 < NMP / 4 g ST
Huevos viables de helminto	1 huevo viable / 4 g de ST
Fuente: USEPA, 1999 Cfu= unidad formadora de colonia NMP= número más probable ST= sólidos totales	

Los mecanismos de higienización pueden ser por vía térmica, química, biológica o por radiación, de rayos gama o beta. De las más comunes se distinguen la alcalinización, por adición de cal en fase líquida, y el secado térmico. La alcalinización se produce por adición de cal, con el fin de aumentar el pH a 12, resultando la reducción de los microorganismos y la disminución en la ocurrencia de olores. El lodo líquido tratado con cal es fácilmente deshidratado mecánicamente, adecuándose para la disposición final.

Otros procesos como la incineración, son más complejos y caros, recomendables sólo en el caso que el lodo contenga altas concentraciones de metales pesados, productos orgánicos complejos, o sea necesaria una reducción de su volumen. Los productos de la incineración o de la oxidación húmeda, son inertes y estériles.

2. DISPOSICIÓN FINAL DE LODOS DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Las características de los lodos y los procesos involucrados en su tratamiento incidirán en su disposición o posterior uso. Esto dependerá de los recursos técnicos, económicos y en especial de la normativa vigente, a la

zona donde exista algún grado de generación de lodos. Internacionalmente se conocen 3 formas (Espíndola, 2001):

I. Aplicación sobre el suelo (uso de tipo benéfico)

Con aprovechamiento de las características de los lodos, encontramos las siguientes aplicaciones:

1. Aplicación sobre suelos forestales;
 - a. Generalmente se esparcen lodos con algún tipo de tratamiento primario o secundario, en forma líquida o deshidratada;
 - b. Especialmente en suelos pobres en nitrógeno, del tipo arenoso, limoso arenoso;
 - c. Favorece el crecimiento del follaje de los árboles y arbustos, especialmente en las coníferas;
2. Aplicación sobre suelos agrícolas;
 - a. La aplicación de lodo sobre el suelo es un camino natural de reciclaje, ya que son ricos en materia orgánica y nutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas;
 - b. Además de poseer materia orgánica y nutrientes, los lodos presentan metales pesados y orgánicos sintéticos, los cuales podrían traer problemas para la salud;
 - c. Por lo que deberá considerarse para su manejo una adecuada selección del cultivo, una legislación adecuada, capaz de regular las tasas de aplicación.
3. Depósitos en sitios erosionados;
 - a. Comprende un aprovechamiento de los lodos como sustitutos de tierra vegetal;
 - b. En terrenos degradados tanto por la acción de la naturaleza (viento, lluvias) o terrenos degradados por la acción antropológica (por sobreexplotación, mal uso)

- c. Con el objetivo de limitar la erosión, por fijación y reforestación o reverdecimiento a fin de permitir la fitoestabilización y de mejorar el aspecto estético de los sitios.
4. Compostaje;
- a. El compostaje es la descomposición de materia orgánica a través de microorganismos, en ambiente controlado (con temperaturas entre 55-60 ° C, destruyendo los patógenos);
 - b. El compostaje de lodo involucra la adición de un agente volumétrico, que puede ser viruta o restos de podas, con el objeto de bajar la humedad, incrementar la porosidad y proporcionar una fuente de carbón.
 - c. El compostaje de los lodos puede durar entre 3 a 4 semanas, en proceso activo y un mes de compostaje menos activo o de cura.

II. Disposición en rellenos sanitarios (disposición convencional)

Sin aprovechamiento de las características del lodo, se distinguen las siguientes formas de disposición final:

- 1. Mono fill o monorellenos;
 - a. Son unidades donde el lodo es dispuesto y cubierto periódicamente;
 - b. Generalmente el contenido de sólidos en los lodos es mayor del 15 % , produciéndose una descomposición anaerobia;
 - c. Pueden dividirse en dos categorías básicas: trincheras (donde el lodo es colocado en áreas excavadas bajo superficie) y áreas cubiertas (en el cual el lodo es colocado en la superficie).
- 2. Disposición en áreas dedicadas.
 - a. Son sitios donde el lodo es inyectado bajo la superficie o incorporado al suelo después de ser esparcido sobre la superficie. Estos sitios reciben típicamente lodos líquidos;
 - b. La disposición de lodos secos o drenados es posible pero no es común;

- c. Los sitios dedicados generalmente requieren de cierta capacidad de almacenamiento (por ejemplo: lagunas facultativas de almacenamiento), que permita proporcionar un buffer entre la continua producción de lodos y las operaciones intermitentes del sitio dedicado, y también durante períodos en condiciones climáticas extremas;
3. Co-disposición en rellenos sanitarios.
- a. El lodo puede ser co-dispuesto con residuos municipales en un relleno sanitario;
 - b. Existen dos tipos de co-disposición:
 - i. Mezcla lodo/residuos sólidos: Es una operación de mezcla de lodo/residuos sólidos, el lodo es depositado sobre el residuo en el área de trabajo del relleno y mezclado con el residuo sólido. La mezcla esparcida, compactada y cubierta de la manera casual como se realiza en relleno municipal.
 - ii. Mezcla lodo/suelo: En esta operación de mezcla lodo/suelo, el lodo es mezclado con suelo y es empleado como cobertura intermedia o cobertura final, sobre el área completa del relleno.

III. Incineración (disposición convencional)

1. La incineración consiste en:
- a. La incineración de los lodos involucra la quema por medio de altas temperaturas en un dispositivo conductor, donde los materiales orgánicos volátiles presentes son quemados en presencia de oxígeno;
 - b. La incineración reduce el volumen de los lodos a un 20 % de la cantidad inicial, destruyéndose todos los sólidos volátiles y patógenos, con la precaución de que se formen gases tóxicos en la combustión, como las dioxinas;
 - c. Existen tres tipos de incineradores mayormente usados, estos son:
 - i. Múltiple Herat

- ii. Incineradores de lecho fluidizado
- iii. Incineradores eléctricos de infrarrojo.

2.1. Tendencias mundiales en la disposición de los Lodos (Bontoux y Vega, 1998)

En países desarrollados, como UE, USA o Japón, el tratamiento de las aguas servidas de su población alcanza niveles muy altos. Por lo que la producción de lodos alcanza grandes volúmenes, enfrentado el dilema de su disposición, desde ya hace varias décadas.

- **Caso de Europa.**

En la UE las cifras varían dependiendo del país miembro. Pero en general se espera un aumento significativo para el año 2005, plazo dado para cumplir con la normativa europea⁵. A partir de esto, la producción de lodos estimada en Europa aumentará de 6,5 millones de toneladas al año, entre 10 a 15 millones de toneladas al año. Estos lodos deben cumplir con lo que exige la ley europea en lo que respecta a su tratamiento, lo que significa mejorar su manejo y evitar posibles problemas. La ley exige algún grado de: espesamiento, desinfección, estabilización, acondicionamiento, desecación, secado final o compostaje.

En lo que respecta a su manejo, se identifican varias vías de eliminación para los lodos, como se muestra la figura 2.1, se divide en: transporte a vertederos, aplicaciones en tierras de cultivo (abono agrícola), incineración y vertidos al mar.

⁵ *Directiva del Consejo de la UE sobre tratamiento de aguas residuales urbanas (91/271/EEC)*

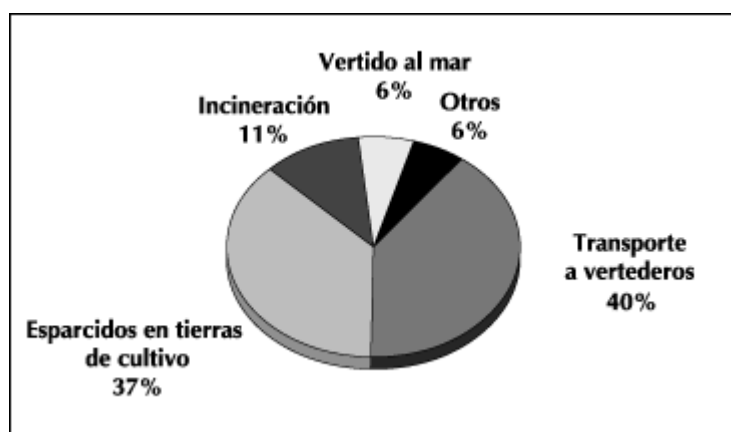


Figura 2.1: Eliminación de lodos en UE (Bontoux y Vega, 1998).

De todas las alternativas, el uso en tierra de cultivos de los lodos, se considera la mejor alternativa de manejo, por ser más barata (Bontoux, Vega et al, 1998). Pero la ley europea, 86/278/EEC, considera un gran número de factores que deben ser evaluados para su aplicación, teniendo en cuenta la salud de la población y los riesgos que puede significar su aplicación.

Para la disposición en vertederos, éstos deben cumplir con las normativas técnicas para estas instalaciones. Según la normativa europea se espera buscar nuevas alternativas para la disposición de los lodos, con lo que se deberá disminuir la cantidad depositada en vertederos.

La incineración va en franca retirada ya que no elimina completamente los lodos, quedando sus cenizas como sub-residuo, las cuales se depositan en vertederos controlados.

El vertimiento al mar queda completamente prohibido en la unión europea, encontrándose solo algunos casos de países que aun no se identifican completamente con la legislación reguladora del tema.

Dentro de las otras alternativas que se utilizan para la eliminación de los lodos se encuentran: la aplicación en tierra, a través de la silvicultura; la recuperación de energía, a través de la imitación del proceso natural, para producir petróleo, y a través de la digestión anaeróbica para la producción de metano (generación de energía); recuperación de elementos minerales a través de la combustión a 1400 ° C, en hornos cementeros, obteniendo

materiales inertes que pueden ser empleados como materiales para la construcción (cemento, vidrio, cerámica, escoria cristalizada, etc.); y el compostaje y vermicompostaje, a través de mezclas con otros materiales orgánicos para producir abonos para jardines.

- Caso de los Estados Unidos de Norteamérica (USEPA, 1999).

El reporte, Waster Environment Federation (WEF)⁶, subdivide las prácticas de manejo de lodos en: Usos benéficos y Métodos de Disposición. La categoría de usos benéficos incluye la utilización de estos lodos sobre el suelo, ya sea como abono orgánico o recuperador de suelo; compostaje y otros procesos más avanzados de estabilización para los lodos. En tanto la disposición incluye disposición en tierra, rellenos sanitarios e incineración. La tabla 2.1 muestra las proyecciones de uso y disposición de lodos para los años 2005, 2010 y 2015.

Durante 1998, se estimó que del total de 6,9 millones de toneladas (base seca) generados, 1,2 millones de toneladas fueron dispuestas en rellenos sanitarios municipales, 0,2 millones de toneladas fueron utilizadas como material de cobertura diaria o final en los rellenos. Adicionalmente los rellenos sanitarios pueden compostar los lodos, estimando que la cantidad de lodos compostados equivale a 0,4 millones de toneladas. Por otra parte, se estima que 2,8 millones de toneladas de lodo han sido aplicadas a suelo agrícola, jardines, bosques y parques.

Las tendencias apuntan hacia una disminución de los lodos lo que es consecuencia directa de las regulaciones tanto a nivel de estados como a nivel federal.

⁶ USEPA, 1999.

TABLA 2.1 Proyección de uso y disposición final de los lodos en los USA

Año	Uso benéfico				Disposición			
	Aplicación En suelo (%)	Tratamiento Avanzado (%)	Otro (%)	Total (%)	Relleno Disposición En suelo (%)	Incineración (%)	Otro (%)	Total (%)
1998	41	12	7	60	17	22	1	40
2005	43	12.5	7.5	63	14	22	1	17
2010	45	13	8	66	13	20	1	34
2015	48	13.5	8.5	70	10	19	1	30

Fuente: Biosolids Generation. Use and Disposal in The United State; U.S. EPA , 1999

2.2. Alternativas de uso para el Lodo

El uso benéfico de los lodos a través de su uso como abono agrícola, ha experimentado un crecimiento sostenido a través de los años, debido a ventajas comparativas con otros medios de disposición para los lodos. Convirtiéndose en una de las mejores alternativas de disposición final (Marambio y Ortega, 2002).

En los últimos 20 años se han ido estudiando nuevas formas para el uso y/o disposición de los lodos. Una de las opciones que más ha llamado la atención es la aplicación de los lodos en procesos industriales, clasificándose entre las tecnologías emergentes para el uso y disposición de los lodos (Show y Tay, 1997).

En tanto la reutilización del lodo como parte de materiales para la construcción está siendo cada vez mas sugerida, internacionalmente, ya que es considerada como una alternativa segura para su disposición (que en este caso corresponde a una reutilización de un residuo), “debido a que consigue un encapsulamiento de metales pesados; reducción de emisiones contaminantes atmosféricos; reducción de volumen en rellenos; y por consecuencia reducción de costos, aprovechamiento de una nueva materia prima y su energía disponible (BORSI, 1996)”, por nombrar algunos ejemplos de la ejecución de esta incipiente técnica.

Fue posible distinguir tres nuevas aplicaciones del tipo “usos benéficos”, esta vez con aplicación en la industria, a través de la elaboración de materiales para la construcción civil, estos son: elaboración de Áridos Artificiales o Agregados livianos; Co-procesamiento en la fabricación del Cemento Pórtland; y elaboración de Productos Ladrillos Cerámicos.

2.2.1. Nuevos usos benéficos

Las principales limitación para este tipo de disposición benéfica son los riesgos por contaminación que puedan presentar la presencia de los lodos, ya sea por metales pesados, agentes patógenos, lixiviación de nitrógenos, fósforos y una amplia gama de compuestos orgánicos presentes en ellos. Esto también incluye a la disposición en suelos como abono agrícola (Marambio y Ortega, 2002).

La puesta en marcha de una alternativa de este tipo no sólo requiere un planeamiento, organización, implementación y manejo en un programa de reciclaje, además requiere de anexos como: la caracterización del los lodos, datos del área de aplicación, contexto socio-económico, permisos ambientales, divulgación y asistencia técnica, y principalmente un control de calidad del producto, una vez generado (Zordan, 2003). Lo que permitirá mantener vigilado al responsable por los efectos ambientales de su residuo. También es importante mantener un control de todas las áreas donde el lodo es aplicado, con todas las características antes mencionadas.

La UE y USA poseen leyes que regulan el uso de biosólidos en la agricultura, iniciativa imitada por Chile (Espíndola, 2003), donde se está preparando un reglamento para la disposición o posterior uso del lodo. Para el uso del lodo en materiales para la construcción sólo se siguen las normativas y estándares que regulan la calidad final de cada producto.

A continuación se describe las aplicaciones con los materiales constructivos que mayor desarrollo han tenido durante los últimos años.

- Fabricación de agregados livianos o áridos artificiales

“Agregados leves elaborados a partir de residuos, ALER, es un árido artificial, ligero de material física y químicamente neutro, que no desprende gases ni malos olores, es imputrescible y no es atacable por parásitos, hongos o roedores (Elías, 2000)”. No le afectan las sustancias químicas y es altamente resistente a los cambios bruscos de temperaturas. Existen naturales y artificiales, de los cuales es importante destacar los elaborados a partir de lodos de plantas de tratamiento de aguas.

En ciudades donde existe escasez territorial, como algunas metrópolis asiáticas, la incineración es la forma más común en la reducción de volumen de los residuos sólidos, y se ha vuelto muy usado para disminuir la torta de lodo. La incineración implica la producción de cenizas, que corresponden entre un 10 a 15 % de volumen original de la torta de lodo, los cuales también deben ser depositados. Tay y Show (1997), en Singapur, realizaron ensayos para usar estos restos, de lodos, en Agregados Leves.

Las experiencias, alguna a escala real y otras en laboratorio, muestran que es posible la producción de áridos artificiales o agregados leves usando lodos deshidratados en mezcla con arcilla, o a partir de cenizas de los lodos incinerados, siguiendo el proceso de la figura 2.2.

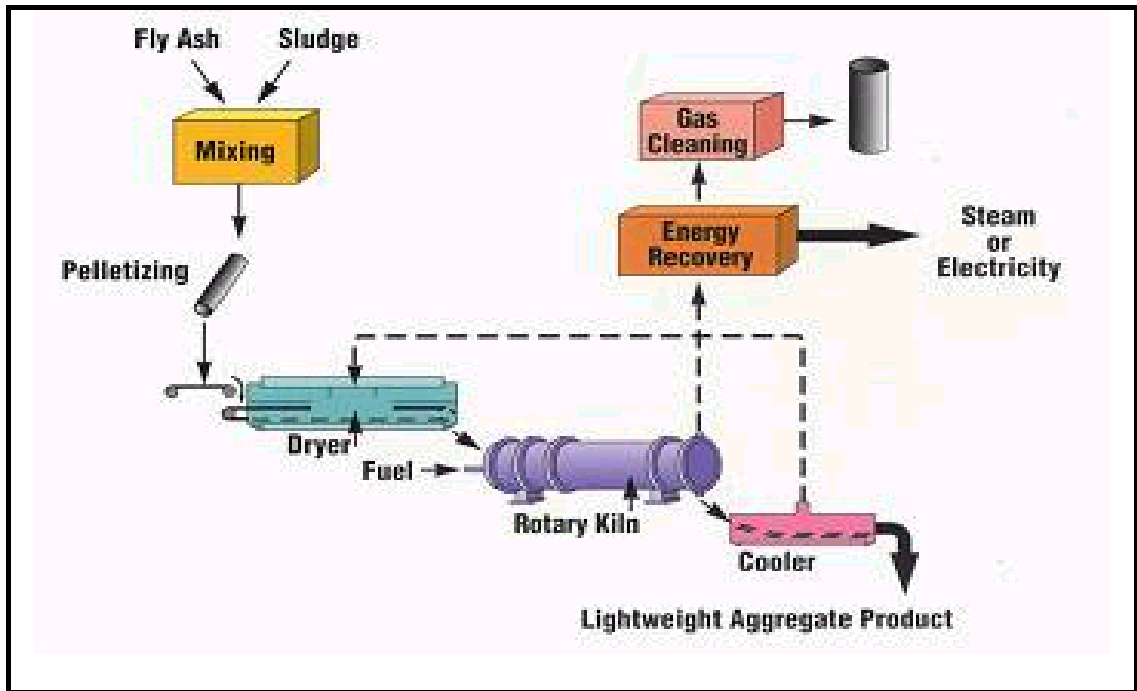


Figura 2.2 Esquema del proceso de fabricación del ALER. (Elías, 2000)

- Fabricación de Cemento Portland

Se produjo Cemento Portland, a escala de laboratorio, a partir del lodo de plantas de tratamiento. El cemento Portland tiene como materia prima piedra caliza y arcilla. En esta propuesta se reemplazó la arcilla por el lodo deshidratado, lo que fue fundamental para mezclarlo con la piedra caliza. El lodo fue secado a 105 ° C, posteriormente fue mezclado con CaCO_3 en diferentes proporciones. La mezcla que entregó mejores resultados fue 50 % lodo y 50 % CaCO_3 , con un temperatura de quemado de 1000 ° C y un tiempo de residencia de cuatros horas en el horno. En cuanto a las propiedades del Cemento Portland fueron buenas, pero no se recomendó su proliferación debido a la falta de estudios que avalaran mejor sus cualidades (Tay y Show, 1997).

Otra opción, es utilizar las cenizas que quedan después de la incineración de los lodos y adicionarlas a la mezcla del cemento. Se propone pre-secar los lodos, convertirlos en pellets, y de esta forma aprovechar su potencial

energético en la formación del clínquer de cemento. La figura 2.3 muestra un esquema para el balance de masa del proceso del cemento con incorporación del lodo.

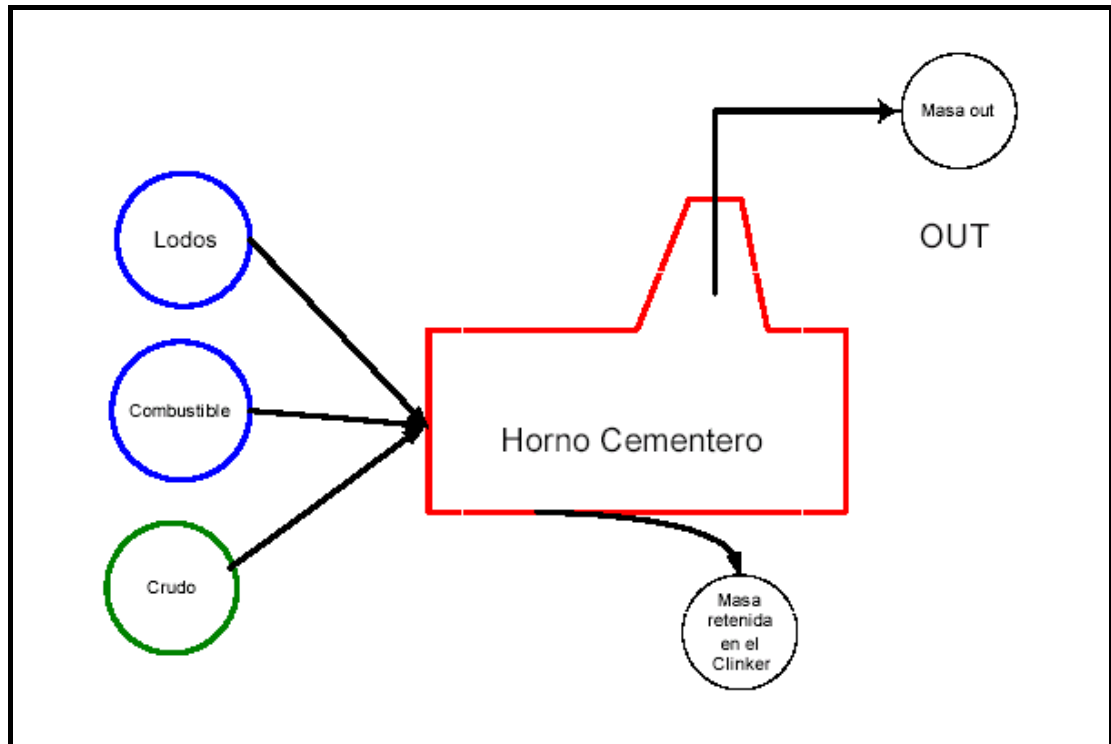


Figura 2.3 Balance de masas para el co-procesamiento del lodo en la producción de cemento (Fuente: Blumel, 2003)

El beneficio de esta aplicación es reducción de energía (combustible), aprovechamiento de las cenizas, evitándose el uso de rellenos sanitarios, aportando, por lo tanto, beneficios ambientales y económicos.

- Producción de ladrillos cerámicos

La producción industrial del ladrillo cerámico con el aprovechamiento del lodo, sigue el esquema de la figura 2.4. Data de 1979, en África del Sur, donde se produjeron 120 millones de unidades de bloques de ladrillos, en una mezcla de 30 % de lodo y el resto arcilla, en volumen.

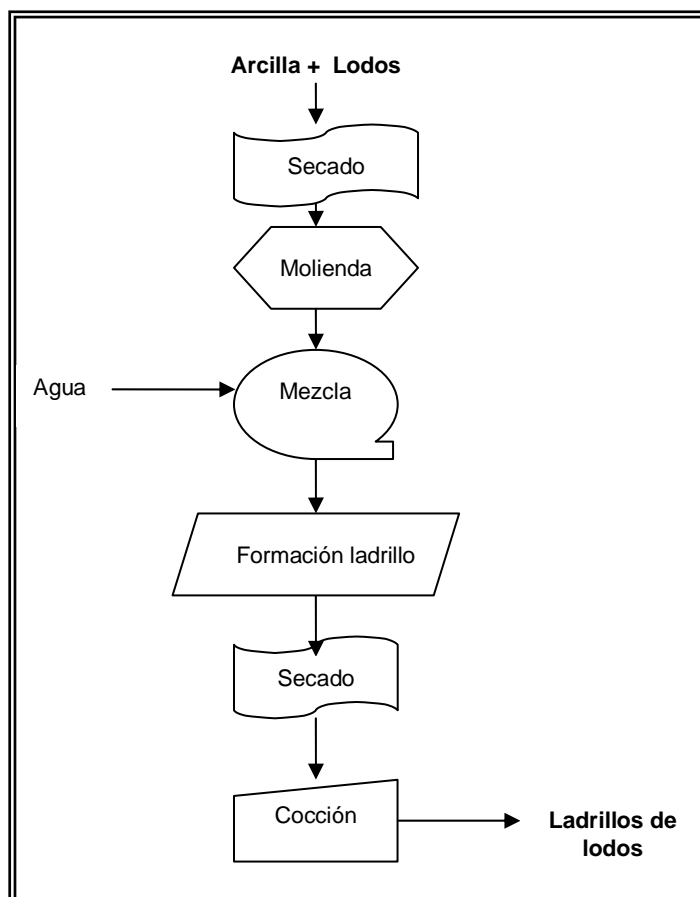


Figura 2.4 Esquema general del proceso de fabricación de ladrillos de lodos (Fuente: elaboración propia)

“También en los años 1984, 1985 y 1987⁷ se reportaron la fabricación de ladrillos a partir de la mezcla de 40 % cenizas de lodos (una vez incinerados) mezclados con arcilla. Alcanzando valores de hasta 70 MPa⁸ para la resistencia mecánica y reducción de masa en relación al bloque convencional” (Tay y Show, 1997).

Las ventajas se relacionan con la economía de agua en el proceso; con ladrillos más livianos, reducción de costos en transporte; con economía en combustible en el horno y aprovechamiento de los gases para el secado de la torta de lodos (Alleman y Berman, 1984)

⁷ Tay, Joo-Hwa. New resource from sludge. 2000.

⁸ 1 Mega Pascal = 10 kg/cm²

En España se desarrolló un ladrillo denominado Ecobrick en el 1993 (IMasD, 1998). La experiencia consistió, en la mezcla de arcilla con un % de lodo, en este estudio se pudo determinar que los metales pesados pasan a formar parte de la matriz del ladrillo en condiciones de temperatura por sobre los 1000 ° C, por lo que su lixiviación no se produce (Elías, 2000). Los ladrillos obtenidos de estas pruebas fueron analizadas tanto cualitativa y cuantitativamente. Los parámetros cualitativos evaluados fueron:

- Aspecto general,
- Color, textura,
- Capa superficial (florencia), y
- Olor.

Los resultados a estas pruebas fueron satisfactorios, demostrándose que la adición del lodo en la fabricación de ladrillos no representaba ningún problema con estos parámetros. Para evaluar cuantitativamente se utilizaron ASTM (American standard of material), las pruebas incluyen los índices de:

- Fuerza compresiva,
- Absorción de agua,
- Coeficiente de saturación,
- Resistencia y
- Contracción hielo-deshielo.

Existieron diferencias en los resultados, entre las mezclas con mayor cantidad de lodos adicionados. Encontrándose que a menor cantidad de lodos (máximo de 10 % - 15 % en la mezcla) los mejores resultados.

En la Tabla 2.2 se presenta un resumen con los resultados obtenidos por los autores que han trabajado con ladrillos a partir de la mezcla lodo + arcilla y cenizas de lodo + arcilla.

TABLA 2.2 Propiedades de los ladrillos hechos de lodos y cenizas de lodos

Lodo % en peso	Gravedad específica		Absorción de agua		Contracción al secarse		Contracción al cocerse		
	<i>Ladrillos fabricados a partir de lodos de plantas de tratamiento</i>								
	Tay	Alleman	Tay	Alleman	Tay	Slim	Tay	Slim	
0,0	2,3	2,09	0,03	6,4	4,0	-	9,91	-	
4,0	-	1,94	-	7,5	-	-	-	-	
8,6	-	1,91	-	8,6	-	-	-	-	
10,0	2,32	-	0,74	-	4,2	-	10,15	-	
13,9	-	1,80	-	10,0	-	-	-	-	
20,0	2,24	1,76	1,37	13,6	3,7	-	10,84	-	
27,3	-	1,63	-	15,8	-	-	-	-	
30,0	2,17	-	2,58	-	4,2	11,1	12,26	3,6	
40,0	1,98	-	3,63	-	4,0	-	12,87	-	
	<i>Ladrillos fabricados a partir de cenizas de lodos</i>								
	Tay	Alleman	Tay	Alleman	Tay	Slim	Tay	Slim	
0,0	2,38	1,88	0,03	13,25	4,0	3,4	9,91	1,0	
10,0	2,42	1,69	0,07	18,80	2,5	2,1	9,95	1,1	
20,0	2,46	1,56	0,11	19,37	2,5	1,2	9,1	2,1	
30,0	2,50	1,50	1,39	22,54	3,4	0,5	9,36	3,5	
40,0	2,55	-	1,52	-	3,2	-	9,76	-	
50,0	2,58	-	1,70	-	3,0	-	10,51	-	

Fuente: Tay y Show; 2003

Un factor limitante en los resultados, es la cantidad de lodo que participa en la mezcla, ya que a mayor incorporación de lodo, implica en una adición mayor cantidad de materia orgánica, que al ser cocida al horno (a altas temperaturas), va dejando espacios en el interior del ladrillo, lo que disminuye la masa específica, la resistencia mecánica con un aumento de absorción de agua y una retracción dimensional en la cocción.

En Japón, actualmente, existen dos plantas que fabrican bloques ladrillos usando las cenizas de los lodos de planta de tratamiento. Estas fábricas son subsidiadas por el gobierno metropolitano de Tokio, de modo que los ladrillos producidos son utilizados en la reposición de algunos servicios públicos de la ciudad, dejando un número considerable para ser vendido en el mercado convencional, pero el precio no alcanza a competir con ladrillo convencional, por su costo de fabricación levemente mayor. Pero trae otros beneficios que son valorados por el gobierno de Tokio, como el ahorro en

disposición en rellenos sanitarios y espacio en los mismos sitios de disposición (Okuno y Takahashi, 1997).

2.3. Problemas en el reciclaje para el Lodo

El reciclaje de cualquier subproducto puede traer consecuencias positivas para el medio ambiente, pero trabajar con estos residuos puede poner en riesgo a sus manipuladores y al entorno de la industria recicladora. En el caso del reciclaje del lodo las recomendaciones están dirigidas para el uso del lodo en la agricultura, pero éstas pueden servir como referencia y orientación básica en su reciclaje e incorporación en procesos industriales.

A continuación se describen los puntos que deberán tenerse en cuenta en la aplicación y desarrollo del reciclaje para el lodo.

- Salud ocupacional

La agencia de protección ambiental americana entrega las siguientes recomendaciones para trabajadores, basados en principios básicos de higiene personal (USEPA 1999):

- Lavar las manos, con agua y jabón después de cualquier contacto con los biosólidos
- Evitar contacto del lodos con partes sensibles: rostro, boca, nariz, órganos genitales, heridas abiertas o cortes
- Lavar manos antes de comer, beber, fumar, o usar sanitarios;
- Comer en áreas designadas y siempre lejos de zonas de manejo de lodos;
- No fumar, no masticar tabaco o goma de mascar mientras se trabaja con lodos;
- Remover acceso de lodos de los zapatos antes de subir a vehículos;
- En caso de contacto con los ojos, lavar con abundante agua;
- Cambiar ropa diariamente, antes de ir a casa, mantener calzado exclusivo para manejo de lodo.

- Transporte y almacenamiento

Las recomendaciones sobre el transporte y almacenaje, para la utilización de los lodos en procesos industriales se resumen en la tabla 2.3. El transporte del lodo puede provocar inconvenientes en el tránsito y emanación de olores desagradables. Por lo que un buen manejo debe minimizar posibles impactos ambientales, especialmente los que se refieren a congestión vehicular. Por lo tanto se debe evitar:

- Transitar por lugares con alta densidad de población;
- Por caminos en mal estado; y
- Rutas que demoren la llegada al lugar de disposición final.

TABLA 2.3 Cuidados para el Transporte de Lodo

ITEM	CUIDADOS
Control de volumen de material transportado	Debe ser revisada la capacidad volumétrica del camión, evitando que se recarguen cantidades específicas de lodos, evitando que la carga sobrepase la cabina del camión.
Limpieza externa de barandas del vehículo de transporte	El vehículo deberá tener sus barandas y otras partes que toman contacto con los lodos limpias
Cobertura de carga	La carga debe estar cubierta con lona, sobretodo en cargas donde se presente mayor concentración de sólidos, esto será indispensable para evitar situaciones indeseables.
De la seguridad	Antes de iniciar la operación de carga debe asegurarse que el vehículo tiene sus estructuras con su debida seguridad, que impliquen accidentes posteriores.
Los vehículos deben estar condicionados para este tipo de transporte	Las estructura debe del vehículo deben permitir el adecuado transporte de los lodos
Carga y transporte	La carga y transporte no deben ser permitidos en días de lluvias o por vías inseguras
Fuente: Zordan, 2003.	

En el caso de generación de olores desagradables (H_2 y NH_3), en los lodos estabilizados, se debe evitar que éstos sufran modificaciones disminuyendo la probabilidad de ocurrir. Por lo que se debe tener precaución cuando:

- Las condiciones meteorológicas son mayor humedad y temperatura;
 - El cambio de pH, bajo 9 en lodos estabilizados con cal;
 - Se producen condiciones anaerobias o deficiencia de oxígeno en los lodos;
 - Entran en contacto con agua;
 - El almacenamiento es inadecuado;
 - La limpieza y control del lugar es deficiente;
 - Los métodos de manejo son inadecuados.
- Procesamiento Térmico del lodo y Contaminación

El secado del lodo, la liberación y combustión de compuestos orgánicos volátiles, pirolisis, y una gran cantidad de cenizas son característicos del procesamiento térmico de los lodos.

Cuando éste posee alta humedad presenta dificultades para su combustión, debiendo ser secado previamente antes de consumirse como combustible. Una vez seco comenzará su auto-combustión (Werther y Ogada, 1999). En general poseen bajo poder calorífico.

En experiencias de fabricación de ladrillos (en mezcla de lodo + arcilla) a temperaturas cercanas a los 150°C, el lodo comienza un proceso de pirolisis, donde compuestos orgánicos volátiles empiezan a quemarse, alcanzando los ladrillos temperaturas cercanas a los 800°C. Una vez que el lodo está completamente quemado o consumido en el interior del ladrillo, la gradiente térmica comienza a disminuir, haciendo necesaria la aplicación de un combustible externo para completar el proceso de cocción, sobre los 1000°C. El uso de lodo, en esta experiencia, demostró una economía de 55 litros de petróleo diesel para cada 1000 ladrillos producidos (Werther y Ogada, 1999).

En general el proceso térmico aplicado en lodos, por ejemplo en la mezcla para ladrillos, genera gases, que al aumentar la temperatura, aumentan en cantidad, presentándose entre los principales el H₂, el CO, el CO₂, los C_xH_y, encontrándose en mayor proporción para el CO seguido del los C_xH_y. A

menos de 500°C 70 % de nitrógeno, 80 % del oxígeno y 90 % del hidrógeno pueden ser volatilizados (Werther y Ogada, 1999). Pero, actualmente existen las tecnologías necesarias para controlar los gases, como: precipitadores electrostáticos o lavadores de venturi, que evitan que los contaminantes contenidos en los gases, escapen directamente a la atmósfera.

- Los metales pesados.

La principal fuente de metales pesados en los lodos son los riles provenientes de la industria. Se presentan en forma de hidróxidos, carbonatos, silicatos y sulfatos, permaneciendo en la fase sólida del lodo, una vez que han precipitado.

Al ser incinerados los lodos, los metales se concentran en las cenizas, las cuales pueden ser dispuestas de varias formas (Tay y Show, 1997), como se ha revisado anteriormente, por ejemplo Japón, es el país que más usos les da a las cenizas de sus residuos. Cerca del 78 % a 98 % de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn son retenidos en las cenizas (Werther y Ogada, 1999).

Para casos como: la utilización de lodo en la fabricación de ladrillos, o su co-procesamiento para la fabricación del cemento. Los metales no aparecen como un problema, ya que en el primer caso, los metales pesados son encapsulados en la matriz de ladrillo y no son lixiviables. Para el segundo caso, los metales pesados son adsorbidos en partículas gaseosas y retornados en dirección al horno, después de haberse separado en el precipitador electrostático (Werther y Ogada, 1999).

- Dioxinas y Furanos

Los términos, dioxinas y furanos, se refieren a dos clases de compuestos: de 7, 5 dibenceno-p-dioxinas poli-clorados (PCDD), y de 1, 3, 5 dibenceno furanos poli-clorados (PCDF) respectivamente. Resultado de las variaciones de 1 a 8 posiciones átomos de Cl (cloro) en la molécula orgánica. Son subproductos de industria química, en procesos de pirólisis y combustión.

Son altamente tóxicos causantes de cierto tipo de cáncer; pueden afectar el normal crecimiento y desarrollo; el sistema nervioso, inmunológico y reproductor (Allsopp, et al, 2001).

En un procesamiento de combustión donde participe el lodo, puede generar de tres formas posibles dioxinas y furanos durante su combustión. La primera es por la combustión incompleta de compuestos que contengan PCDD/PCDF en el interior de la cámara de combustión. La segunda causa, por la presencia de compuestos órgano-clorados presentes en el horno. La tercera, y última forma, es por la combinación entre compuestos de cloro inorgánico en contacto con compuestos orgánicos. Todas formas evitables, con un adecuado control en la temperatura interna del horno, la cual es clave para evitar la síntesis de este tipo de compuestos. Por ejemplo a temperaturas mayores 1200°C las dioxinas y furanos son completamente destruidos, pero bajo los 450°C de temperatura se reanuda su síntesis (Werther y Ogada, 1999).

En el caso de la combustión completa del lodo, la producción de dioxina y furanos es menor en comparación con: la incineración de residuos sólidos urbanos y el proceso de elaboración del cemento (Werther y Ogada, 1999).

2.4. Observaciones para el uso del Lodo en procesos térmicos

La mayor preocupación cuando se trata del procesamiento térmico de los lodos, y en general de residuos, es la liberación de contaminantes gaseosos atmosféricos.

Para el caso de las cenizas, estas representan un volumen menor que el residuo inicial pudiendo existir la posibilidad de su reutilización, lo que se puede interpretar como una disminución en los costos de disposición final del residuo en cuestión.

Con respecto a la generación de contaminantes atmosféricos, algunos metales, dioxinas y furanos, son controlables totalmente, debido a que las tecnologías, existentes, son adecuadas para su control disminuyendo las emisiones.

A partir de ésto se puede deducir que la utilización de los lodos a través de procesos elaboradores de nuevos productos, y que implican un procesamiento térmico, puede tener bastante aceptación y buenos resultados desde el punto de vista ambiental.

Ventajas encontradas en las experiencias

- Del punto de vista ambiental.
 - Representa una opción innovadora, atractiva y constructiva para el manejo del lodo.
 - Además los lodos en el proceso son esterilizados, por las altas temperaturas alcanzadas. No existe riesgo sanitario.
 - Los lodos, o sus cenizas, ya no representan un gran impacto para el ambiente.
- Del punto de vista del proceso
 - Ahorro de costos en el proceso
 - Menor consumo de materias primas.
 - Hipotéticamente los componentes orgánicos presentes en los lodos son aprovechados como combustible en el proceso térmico, lo que permitiría ahorrar combustible.

3. PROBLEMA

En el caso de Chile, hasta hace unos años atrás, las aguas residuales se descargaban directamente y sin tratamiento a cursos de aguas superficiales o directamente al mar. Esto trajo consigo altos niveles de contaminación y se puso en riesgo sanitario, directamente o indirectamente, a la población. Actualmente esta situación está cambiando. Hasta 1998, en el país se trataban sólo el 16 % de las aguas residuales domésticas. A partir de septiembre del año 2003 esta cifra se incrementó sobre un 70 % (SISS⁹, 2003). Se espera que para el año 2005, cerca del 80% de las principales ciudades del país cuenten con algún tipo de tratamiento para sus aguas residuales (CONAMA, 2002).

La Región Metropolitana de Santiago concentra las mayores zonas residenciales, con mas de 6 millones de habitantes (INE, 2002), y un número considerable de industrias, por lo que el tratamiento de las aguas residuales se presenta como un gran desafío ambiental. La empresa sanitaria, Aguas Andinas, ha asumido el compromiso de alcanzar, en un plazo de 10 diez años, mejores niveles de saneamiento de los cursos naturales. En el año 2001 entró en operación la planta de tratamiento de El Trebal, y en el 2003 fue el turno de La Farfana. Para el año 2010 se contempla la puesta en marcha de Los Nogales, con lo que el saneamiento de las aguas de la cuenca de la ciudad de Santiago alcanzará valores cercanos al 100%.

Se espera que con la puesta en marcha de las plantas de tratamientos en la región metropolitana el sub-producto, conocido como lodo, aumente considerablemente en volumen. Sólo, el proyecto El Trebal genera 60 ton/día de lodo seco, y se estima para el año 2027 que los proyectos de La Farfana y Los Nogales produzcan 160 y 120 ton/día respectivamente. En ningún caso cifras despreciables, en total se espera una producción de 360 ton/día de lodos, aproximadamente (Aguas Andinas, 2000). En cada uno de

⁹ Superintendencia de Servicios Sanitarios.

los proyectos se considera una línea de tratamiento de los lodos que incluye entre sus etapas la deshidratación en canchas de secado, impermeabilizado, y posterior disposición final en mono-relleno, dentro del mismo terreno de la planta. Esta disposición final está concebida como una solución temporal, ya que ambos proyectos fueron autorizados ambientalmente con el compromiso de encontrar alguna vía de aprovechamiento de los lodos. En este sentido Aguas Andinas, se encuentra buscando una vía de reutilización, actualmente en estudio, junto al INIA y al SAG, tendiente a demostrar el valor agronómico y utilización del lodo como abono orgánico (Arata, et al, 2003).

A pesar de que esta forma de disposición para el lodo no se ha implementado a escala local, aparecen interrogantes que vale la pena tener presente, antes de su aplicación, como:

- ¿Su incorporación a los suelos podría producir acumulación de metales presentes en ellos?;
- ¿Su aceptación por el consumidor será la adecuada para absorber la oferta disponible?; ¿Su comercialización será un éxito?
- ¿Qué ocurre, con el lodo, si esta alternativa de disposición no cumple con los objetivos impuestos por el generador?

Por lo tanto, considerando lo anterior, además, la creciente producción de lodos y el cumplimiento de la normativa, que regulará su disposición y uso, el escenario para el manejo y disposición final de este residuo, se observa complejo, desde la visión de una estrategia a largo plazo. Desde este punto de vista, la mejor solución al problema ambiental de disposición del lodo, debería ser un conjunto de soluciones, ya que no se establecería una relación de dependencia con un sector determinado (en este caso consumidor del lodo que fue transformado en abono agrícola), la cual dejaría a la empresa de saneamiento ambiental en una posición de riesgo constante e imprevisible de vulnerabilidad en la gestión del residuo, sobre todo para las dimensiones del residuo que se producirá. Siendo preciso adoptar un mayor número de alternativas para su disposición, que permita una futura

valorización del residuo en el mercado, proporcionando seguridad al generador de éste, permitiendo administrar su distribución y comercialización entre varias alternativas, con base en decisiones bien fundamentadas (CONAMA, 2000).

Actualmente existe un único posible aprovechamiento del residuo, proveniente de las plantas de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Santiago, lo que hace necesario ampliar su campo de aplicaciones. En la gestión integral de residuos se considera una jerarquía en las alternativas a considerar, enumeradas de la siguiente manera:

1. Evitar;
2. Reducir;
3. Reutilizar;
4. Reciclar;
5. Tratar con recuperación de energía;
6. Tratar sin recuperación de energía;
7. Disponer.

Las alternativas de reutilizar, reciclar y tratar con recuperación de energía consideran la valorización del residuo (CONAMA, 2000). A partir de esto se define un área de investigación para encontrar nuevas alternativas. Por lo que se propone investigar una línea de reutilización y reciclaje para los lodos desarrollada recientemente, en otras investigaciones, la cual se enfoca en su aplicación en la fabricación de materiales de la construcción.

El manejo del lodo, a través de su reciclaje, en la fabricación de materiales de la construcción, se presenta como una solución coherente, desde el punto de vista de un desarrollo más sustentable, ya que presenta las siguientes garantías:

- Absorción continua de contaminantes;
- Seguridad ambiental, y social;

- Economía en el producto final, posible reducción de materias primas y de energía.

La incorporación del lodo a materiales constructivos puede realizarse en forma directa o a través de la conversión de éste (Berman, 1984).

En el país, los materiales de la construcción más significativos, por los volúmenes consumidos son: el acero, el cemento, la madera, el hormigón y mezclas asfálticas (los dos últimos requieren principalmente de componentes pétreo, conocidos como áridos, por lo que es una de las materias primas más requeridas). El sector de la construcción, en Chile, se presenta como un sector muy dinámico de la economía, alcanzando un crecimiento de 2,4 %, respecto del año anterior (CCHC¹⁰, 2003).

Estos antecedentes se traducen en que existe una necesidad continua y creciente por materias primas para la elaboración de materiales de la construcción, por lo que la posibilidad de que estas materias sean reemplazadas por un residuo o sub-producto, tendría un importante impacto en su consumo, al valorizarlo, convirtiendo la reutilización y reciclaje del lodo mediante esta vía, en una posible nueva alternativa de manejo y disposición del residuo en el ámbito local.

En consecuencia, este trabajo de titulación se centró, en el problema de los lodos producidos en gran volumen, por las plantas de tratamiento de la ciudad de Santiago, y la búsqueda de una nueva alternativa de disposición final, específicamente en su reutilización y reciclaje en materiales de la construcción. Para la cual se definió estudiar la posibilidad de su incorporación en procesos productivos, de industrias que se ubican geográficamente en la región metropolitana.

Las industrias que cumplieron con la condición anterior y que fueron objeto de la exploración, fueron las siguientes:

- Fabricación de ladrillos cerámicos, incorporándolo como materia prima;
- El Co-procesamiento lodo en la producción de cemento y;

¹⁰ Cámara Chilena de la Construcción

- Fabricación de áridos livianos artificiales, incorporándolo como materia prima.

Para establecer la pre-factibilidad como alternativa de disposición final del lodo, mediante su reutilización y reciclaje, se propusieron los siguientes objetivos, que a continuación se detallan.

3.1. OBJETIVOS

3.1.1 General

Determinar la pre-factibilidad técnica para el manejo y disposición final del lodo, producido en planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Santiago, para su reutilización o reciclaje en procesos de elaboración de materiales de la construcción, en la industria local.

3.1.2 Específicos

- Descripción del estado actual de los lodos generados por las plantas de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Santiago.
- Identificación de alternativas de disposición final para el lodo, a través de su reciclaje en procesos de elaboración de materiales de la construcción.
- Evaluación de la propuesta de reutilización y reciclaje del lodo, en la industria de materiales de la construcción en la región metropolitana, utilizando la metodología desarrollada por Zordan (2003).
- Análisis de los sistemas propuestos para la reutilización y el reciclaje del lodo en la industria de la construcción local.

4. METODOLOGÍA

4.1 Descripción del estado actual de los lodos generados por las plantas de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Santiago

La descripción del proceso involucrado en su producción del lodo, consistió la descripción del tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Santiago. Además se estableció su composición, las formas de manejo y disposición final, actualmente en uso.

Para la obtención de esta información se realizaron consultas en la empresa Aguas Andinas S. A, en el departamento encargado del tratamiento y manejo de los lodos. También se obtuvo acceso a los Estudios de Impacto Ambiental de las plantas de tratamiento el Trebal y la Farfana. Acceso a información de la empresa publicada en Internet. La figura 4.1 representa un esquema resumen de esta etapa metodológica.

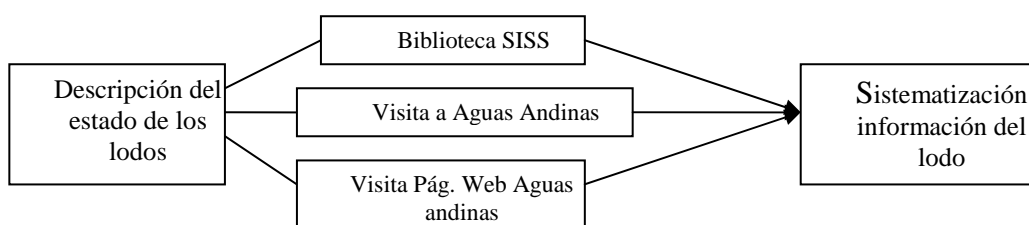


Figura 4.1 Esquema resumen de la etapa de descripción del estado actual del lodo.

4.2. Identificación de las alternativas de disposición final para el lodo, a través de su reciclaje en procesos de elaboración de materiales de la construcción

La determinación de los sectores industriales a evaluar, para el reciclaje del lodo en materiales de la construcción, se realizó a partir de fuentes de información primaria. Las fuentes de información primaria fueron referencias

bibliográficas, las que permitieron avalar la aplicación del lodo en dichos materiales de la construcción. Esta información fue la base para elección de las industrias locales.

- Levantamiento de información de las industrias de la construcción en la región metropolitana, que fueron objeto de este estudio

Por otra parte, debido a que el problema identificado, se limitó a la ciudad de Santiago, es decir, a los lodos que se producen en las plantas de tratamiento de esta ciudad. Las industrias escogidas debieron estar ubicadas en la zona metropolitana, esto facilitó la toma de datos y permitió hacer una exploración a estas industrias, las cuales podrían ser un potencial receptor de dichos lodos.

Los datos requeridos fueron: detalles del proceso involucrado en la elaboración de cada material, capacidad de producción y mercado al que abastecen. Se hizo uso de información entregada por las propias empresas y bibliotecas especializadas.

Al conocer las industrias se programaron visitas en terreno a cada una de las plantas identificadas con potencial para el reciclaje de los lodos, en general estas visitas se realizaron en el momento de las entrevistas con los expertos. Estas visitas y entrevistas, resumido en la figura 4.2, se realizaron durante el periodo de abril a junio de 2004, en la ciudad de Santiago.

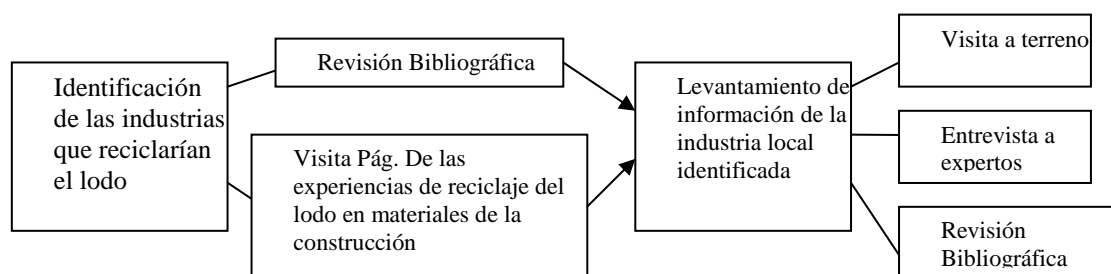


Figura 4.2 Esquema resumen de la etapa de identificación de industrias ubicadas en la región metropolitana, para el reciclaje de lodo

4.3. Evaluación de la propuesta de reutilización y reciclaje del lodo, en la industria de materiales de la construcción en la región metropolitana, utilizando la metodología desarrollada por Zordan (2003)

Una vez identificadas las industrias, para la aplicación del lodo, se realizó la entrevista a expertos, en cada una de las áreas elegidas. Estos expertos fueron elegidos por su conocimiento del entorno en su trabajo, ya sea técnico, ambiental y económico, lo que permitió obtener representatividad y respaldo a la información obtenida de ellos. Para lo cual se definieron a los siguientes tipos de profesionales:

- Gerentes técnicos de cada una de las industrias identificadas;
- Profesionales encargados de investigación, tanto pública o privada.

Estos expertos fueron fuente de información denominada secundaria.

- Evaluación de la industria con potencial de reciclar el lodo, ubicada en la región metropolitana

A través de las fuentes secundarias, es decir, entrevistas a expertos, se llevó a cabo la evaluación, aplicándose el instrumento de evaluación denominado “Metodología de evaluación de potencial del reciclaje de residuos”, propuesta por Zordan (2003), desarrollado en el Anexo 1.

Esta consiste en dos etapas, en primera etapa se presenta a los expertos de cada industria, un resumen con los antecedentes del residuo, Anexo 1. A. Una segunda etapa correspondió a la evaluación, a través de sus respectivos cuestionarios del Anexo 1. B, donde los principales aspectos a evaluar fueron los siguientes:

- Interés del residuo
- Análisis técnico
- Análisis ambiental y salud ocupacional
- Análisis económico y mercado.

Cada uno de los aspectos valorados respondió a criterios de evaluación y una escala de valoración, desarrollados en el Anexo 1.

La aplicación de los cuestionarios permitió recoger información cualitativa a datos numéricos cuantificables. Estos datos fueron tratados para cada uno de los aspectos evaluados siguiendo la metodología propuesta por Zordan (2003).

- Análisis de los resultados obtenidos de la evaluación, con el fin de poder establecer la alternativa más viable en orden de jerarquía

Los resultados obtenidos en la evaluación en cada aspecto (ambiental, salud, económico y mercado), a través de los cuestionarios, fueron procesados a través de un Análisis Jerárquico, metodología de análisis multicriterio, desarrollado en el Anexo 3. Esta permitió asignar valores numéricos a juicios subjetivos y de esta forma establecer un orden de prioridad para las alternativas identificadas para la disposición final del lodo (Espíndola, 2001).

Para este análisis jerárquico se construyó un árbol de decisión, en el cual se determinó el peso, en importancia, para cada uno de los aspectos evaluados anteriormente (ambiental y salud, económico, mercado). Este orden de importancia se determinó a partir de la valoración que se pudo obtener de las entrevistas con los expertos.

Cada una de las industrias, con potencial de reciclar el lodo, fue sometida a una matriz donde correspondió, a partir de los pesos, determinar un orden descendente de viabilidad, para ser desarrollado el reciclaje del lodo, ya sea mediante investigación académica o ensayos en las industrias, y posteriormente un desarrollo a mediana escala.

El cuestionario fue aplicado durante el mismo periodo en que se realizaron las entrevistas, abril a junio de 2004. En la figura 4.3 se presenta un resumen para la etapa de evaluación de los sistemas de reciclaje.

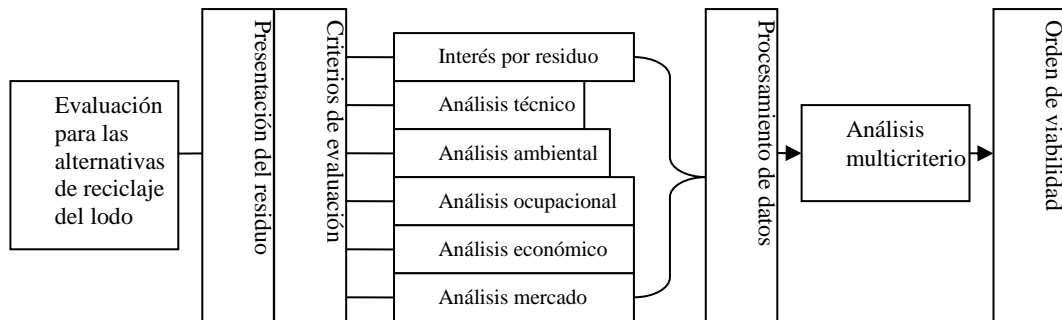


Figura 4.3 Esquema resumen para la etapa de evaluación de los sistemas de reciclaje propuestos para el lodo

4.4. Análisis de los sistemas propuestos para la reutilización y el reciclaje del lodo en la industria de la construcción local

La investigación y posterior desarrollo de un nuevo producto que contenga residuos es más complejo, que una investigación para un nuevo producto a partir de materias primas naturales (John, 2000). Su validación debe tomar en cuenta múltiples factores que permitan asegurar que la introducción del residuo en el nuevo material no represente ningún efecto adverso, en sus características constructivas o que puedan poner en peligro a los usuarios de estos nuevos productos. Estos factores son difíciles de controlar en una etapa temprana de la investigación, ya que implica pruebas de laboratorio más detalladas.

En primera instancia fue necesario generar información sobre el residuo, como su cantidad y sus formas de disposición a la actual. Luego de esto, siguió la búsqueda de sistemas que respondan positivamente a la incorporación del residuo en su proceso, que en este caso corresponden a industrias que fabrican materiales de la construcción en la región metropolitana, y posteriormente la comprobación de variables que son de importancia para asegurar el éxito de la propuesta para el reciclaje del residuo, a través de una metodología de evaluación. Por lo tanto a partir de la información obtenida, correspondió realizar un análisis FODA para los sistemas propuestos en la disposición final del lodo. Las variables

consideradas para el análisis fueron variables de tipo técnico, económico y ambiental (John, 2000). En este punto se utilizó la información recolectada en los cuestionarios y expertos en residuos, con experiencia en campaña de reciclaje. En la figura 4.4 se resume las etapas a seguir en análisis de las alternativas propuestas para el reciclaje del lodo.

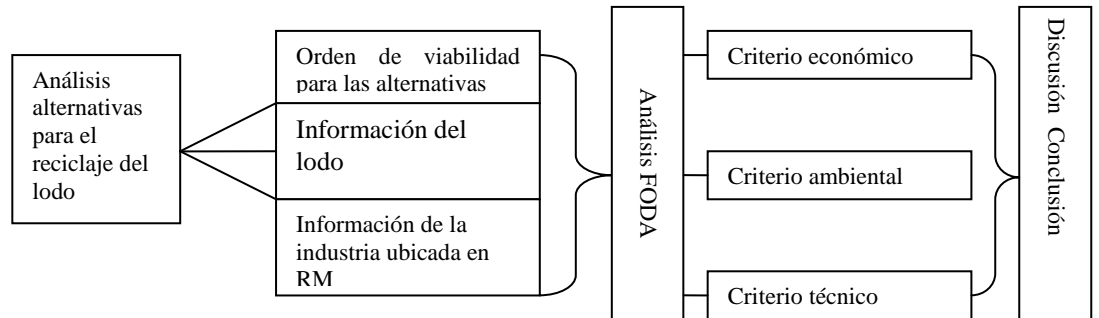


Figura 4.4 Esquema resumen para la etapa de análisis de los sistemas de reciclaje propuestos para el lodo

5. RESULTADOS

5.1 Descripción del estado actual de producción de lodos producidos por las plantas de tratamiento de la ciudad de Santiago

El tratamiento de las aguas residuales de la región metropolitana está a cargo de la empresa Aguas Andinas S. A. Esta empresa se encarga de abastecer de agua potable y de recolectar las aguas residuales generadas la ciudad de Santiago. Al respecto, Aguas Andinas tiene el objetivo de tratar la totalidad de las aguas residuales de la ciudad de Santiago para el año 2010. Para esto existe un plan de acción, en el que destaca la construcción de tres grandes plantas de tratamiento de aguas (*El Trebal, La Farfana y Los Nogales*). Junto con plantas menores ubicadas en localidades más pequeñas, permitirá transcurrido este periodo, tener saneado en un 100 % la cuenca del gran Santiago.

5.1.1 Tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Santiago

De los aproximadamente 15,8 m³/seg de aguas residuales producidos en la ciudad de Santiago, sólo el 1,5 % recibía tratamiento antes de su descarga a un curso receptor. El 98.5 % restante era descargado a diferentes cursos de aguas sin ningún tipo de tratamiento. Los cursos receptores de las aguas residuales, en su mayoría, corresponden a cursos naturales, como el río Mapocho y el Maipo, utilizados para el riego agrícola, lo que compromete gravemente a más de 132 mil hectáreas de cultivos en la región (Cortés, 2003).

La ciudad de Santiago se agrupa en cuatro sectores, contribuyendo un volumen determinado de aguas residuales por área, ésto lo podemos apreciar en la tabla 5.1.

TABLA 5.1 Proyección del caudal aportante por área del gran Santiago. Periodo 1995-2024

ÁREA APORTANTES	CAUDALES RECEPCIONADOS (M ³ /S)			
	1995	2000	2010	2024
Poniente al Mapocho	0,2	0,3	0,4	0,5
Sur al Mapocho	3,0	3,5	5,0	6,4
Norte al Mapocho	4,5	5,0	6,2	8,2
Zanjón de la aguada	8,1	8,6	9,5	10,6
	15,8	17,4	21,1	25,7

Fuente: Aguas Andinas, 2000.

Cada área tiene asignada una planta de tratamiento de aguas residuales. Representado en la figura 5.1, el área poniente en conjunto con el área sur al Mapocho, tiene asignada la planta **El Trebal**. El área del zanjón de la aguada, sector con mayor densidad de población tiene asignada la planta **La Farfana**, y el área del norte del Mapocho tiene asignada la planta **Los Nogales**.

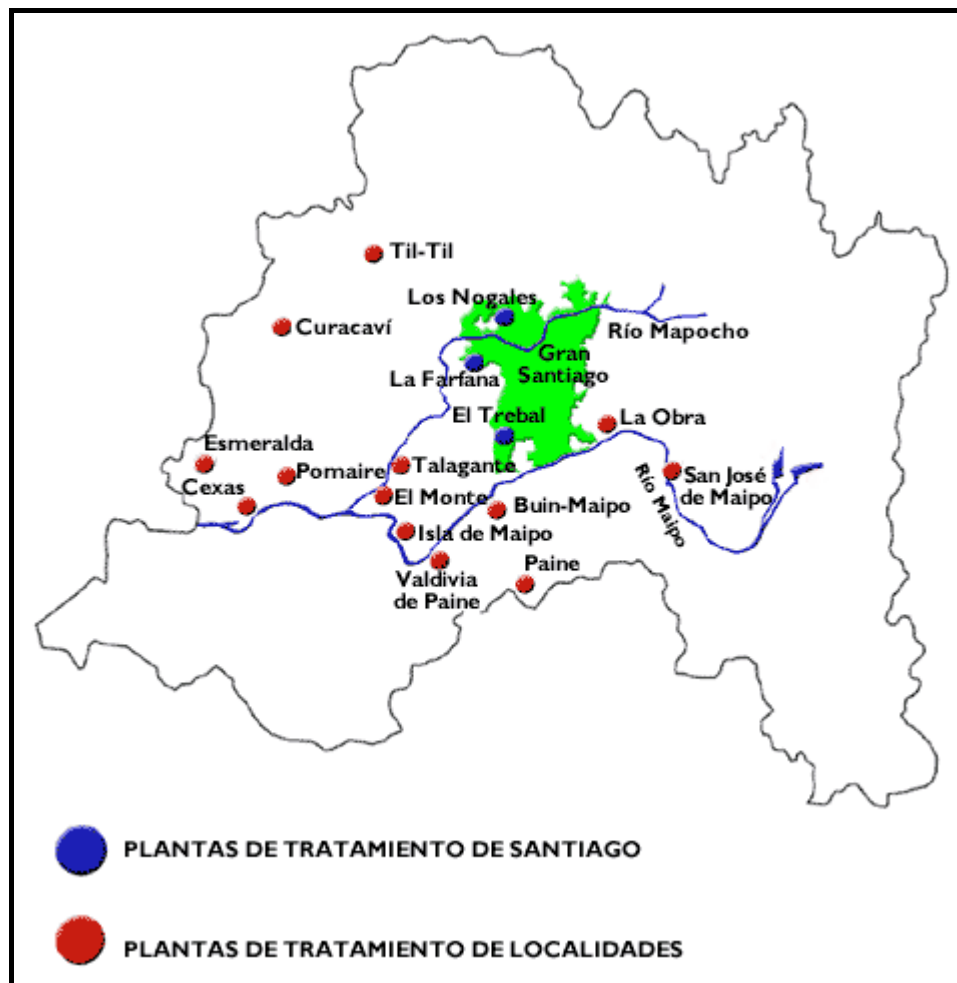


Figura 5.1 Plano de ubicación plantas de tratamiento gran Santiago (Aguas Andinas, 2000)

El Trebal comenzó su operación el año 2001. A finales del 2003, hizo lo mismo, la segunda planta de Aguas Andinas, la Farfana¹¹. Se contempla la construcción de Los nogales, la tercera planta, para el año 2010. Las metas establecidas en el plan de inversión de Aguas Andinas se observan en el gráfico de la figura 5.2

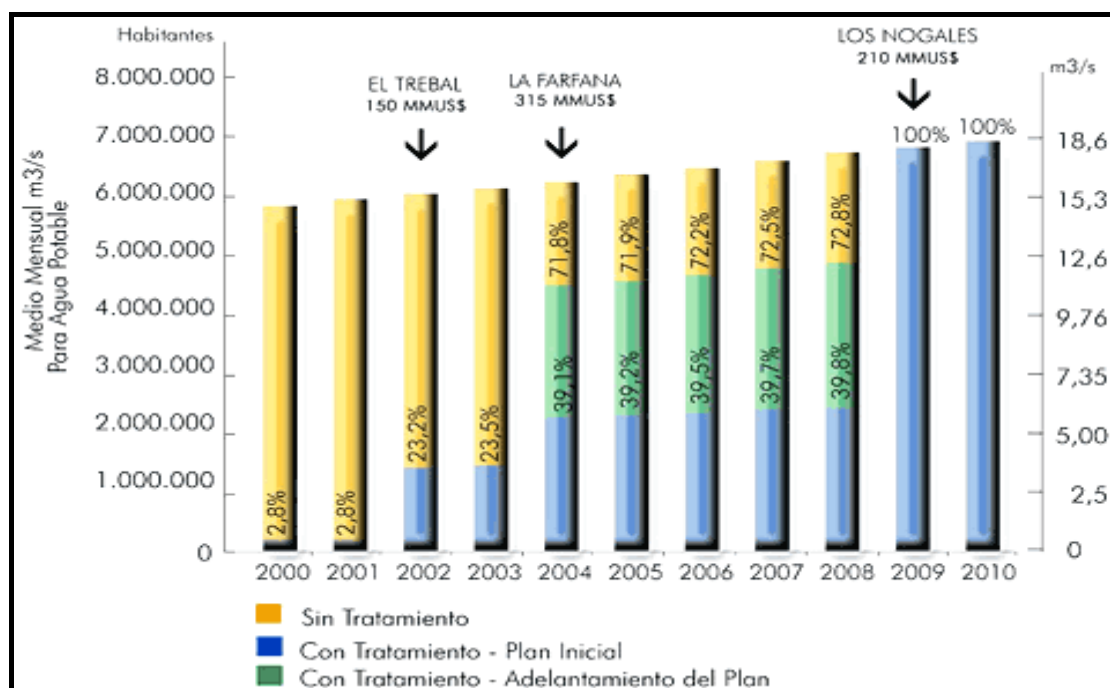


Figura 5.2 Metas plan de Inversión de Aguas Andinas (Aguas Andinas, 2000)

5.1.2 Sistema de tratamiento de las aguas servidas de la ciudad de Santiago

Las tres grandes plantas, por diseño, consideran el proceso denominado de “**Lodos Activados Convencionales**”. El cual consiste en circular las aguas residuales o afluentes, a través de un conjunto de procesos unitarios que remueven los distintos contaminantes, hasta obtener la calidad deseada en el efluente. Al remover estos contaminantes del agua se van generando residuos con alto contenido de sólidos, conocidos como LODOS. En la línea

¹¹ Una de las 5 plantas más grandes del mundo.

de Lodos, ellos siguen un proceso separado que permite concentrarlos y estabilizarlos, antes de su disposición final.

La planta el Trebal, en la figura 5.3, se ubica en la comuna de Padre Hurtado, en la ribera norte del río Mapocho. Actualmente trata cerca del 20 % de las aguas servidas generadas en el gran Santiago.



Figura 5.3 Foto panorámica general de planta El Trebal (Aguas Andinas, 2000)

El proyecto de la Farfana, en la figura 5.4, contempla el tratamiento del 50 % del agua servida del gran Santiago.

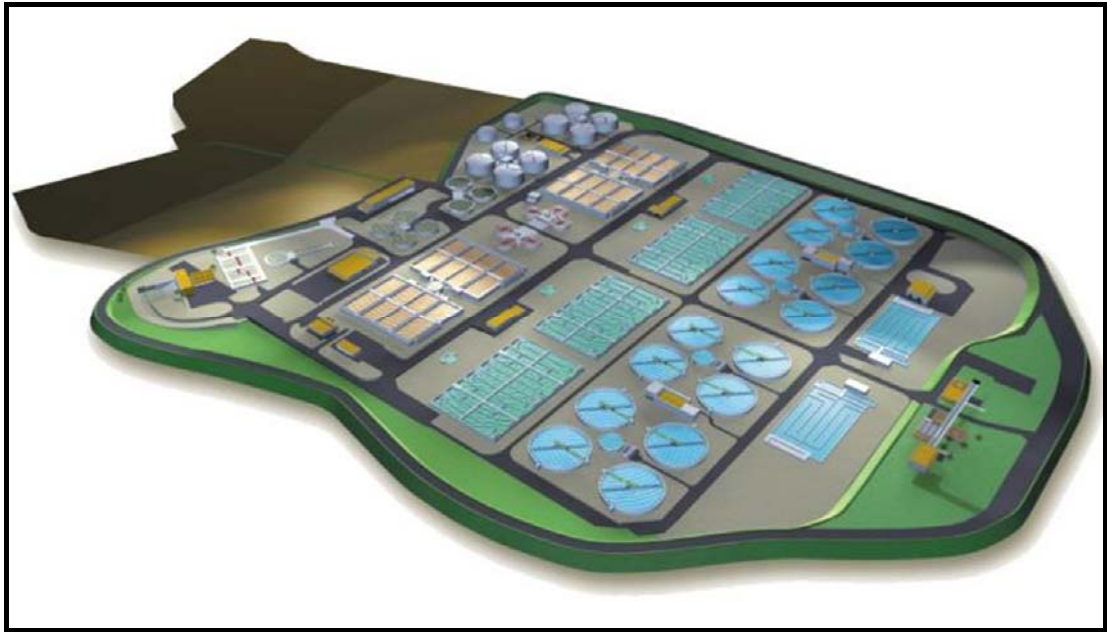


Figura 5.4 Esquema de vista general planta La Farfana (Aguas Andinas, 2000)

5.1.3. Operaciones y Proceso Unitarios en las plantas de tratamiento de la ciudad de Santiago

El diseño de los procesos unitarios que remueven los distintos contaminantes de las aguas residuales estará limitado según las exigencias que tendrá cada planta de tratamiento. Debido a que cada una de ellas tratará distintos volúmenes de caudal de aguas residuales. En general las tres obras planificadas para el gran Santiago dividirán los procesos en dos grandes líneas; línea de agua y línea de lodos, representado en la figura 5.5 (Aguas Andinas, 2000).

La Línea de agua, en resumen considera un:

- Tratamiento preliminar: Con tratamiento a bases de rejillas y desarenador para la remoción de sólidos de gran tamaño y arenas. Se lograrán separar grandes residuos como restos de verduras, ramas, pequeños animales, piedras, etc. Los cuales serán almacenados y depositados en los respectivos rellenos autorizados.

- Tratamiento primario: después del tratamiento preliminar el agua se vaciará a sedimentadores de gran diámetro, lo que permitirá obtener una gran superficie para que los sedimentos más finos puedan a decantar. Acá se producen lodos primarios que son bombeados al espesador para su digestión anaeróbica;
- Tratamiento secundario: el principio de esta parte del proceso es la aireación de las aguas, por lo que son necesarios grandes estanques o reactores biológicos. En la Farfana se construirán 16 estanques rectangulares, con un volumen cercano a los 181.000 m³. El efluente de los reactores biológicos será conducido a los sedimentadores secundarios, estructuras circulares. Acá los sedimentos se acumularán en el fondo de donde serán bombeados al espesador, y mezclados con los lodos primarios, tratados por digestión anaeróbica;
- Desinfección: las aguas provenientes de los clarificadores secundarios pasan después por estanques de contacto para su desinfección, mediante el contacto de cloro gaseoso, antes de realizar la descarga al río Mapocho.

Para la Línea de lodos, se considera:

- Una etapa de espesamiento de los lodos: tanto para lodos primarios y secundarios, cada uno por separado. En general, en ambos casos son tamizados y espesados con la adición de polímeros floculantes, la fracción de agua extraída es recirculada al proceso. Encontrándose listos para almacenarse en los digestores anaeróbicos.
- Una digestión anaeróbica: se neutraliza física, química y biológicamente (estabilizándolo). Se estima que se destruirán alrededor del 55 % de sólidos volátiles contenidos en los lodos produciendo biogás o metano. Una fracción del metano producido es utilizado para mantener la temperatura de los digestores a niveles de 35 ° C y la otra es quemada. Con un tiempo de residencia para los lodos de 19 días para su estabilización. Luego son almacenados en estanques de almacenamiento de lodos digeridos.

- Deshidratación de lodos digeridos: para ésto existen dos modalidades, la deshidratación mecánica y el secado adicional en canchas de secado. Para la primera se considera el secado por centrifugas, aumentando el porcentaje de sólidos hasta un 25 %. El secado en canchas, en áreas asfaltadas dentro del recinto de la planta (el tamaño dependerá de la producción de lodos de la planta), se aprovechará la radiación solar que permitirá disminuir hasta un 65 % la concentración de sólidos en los lodos.
- Disposición final en un relleno: Una vez alcanzado este valor se procederá a retirar de las canchas de secado siendo dispuesto en lugares diseñados con tal propósito. En los proyectos que actualmente se encuentran en funcionamiento se deposita en un monorelleno, debidamente impermeabilizado, el cual recibirá los lodos por los 5 primeros años. En el caso de la planta de la Farfana el monorelleno contempla 10 hectáreas.

Las plantas de menor tamaño, ubicadas en localidades que producen menores volúmenes de aguas servidas dentro de la región poseen tratamientos similares, pero a menor escala, con una producción de lodos también menor.

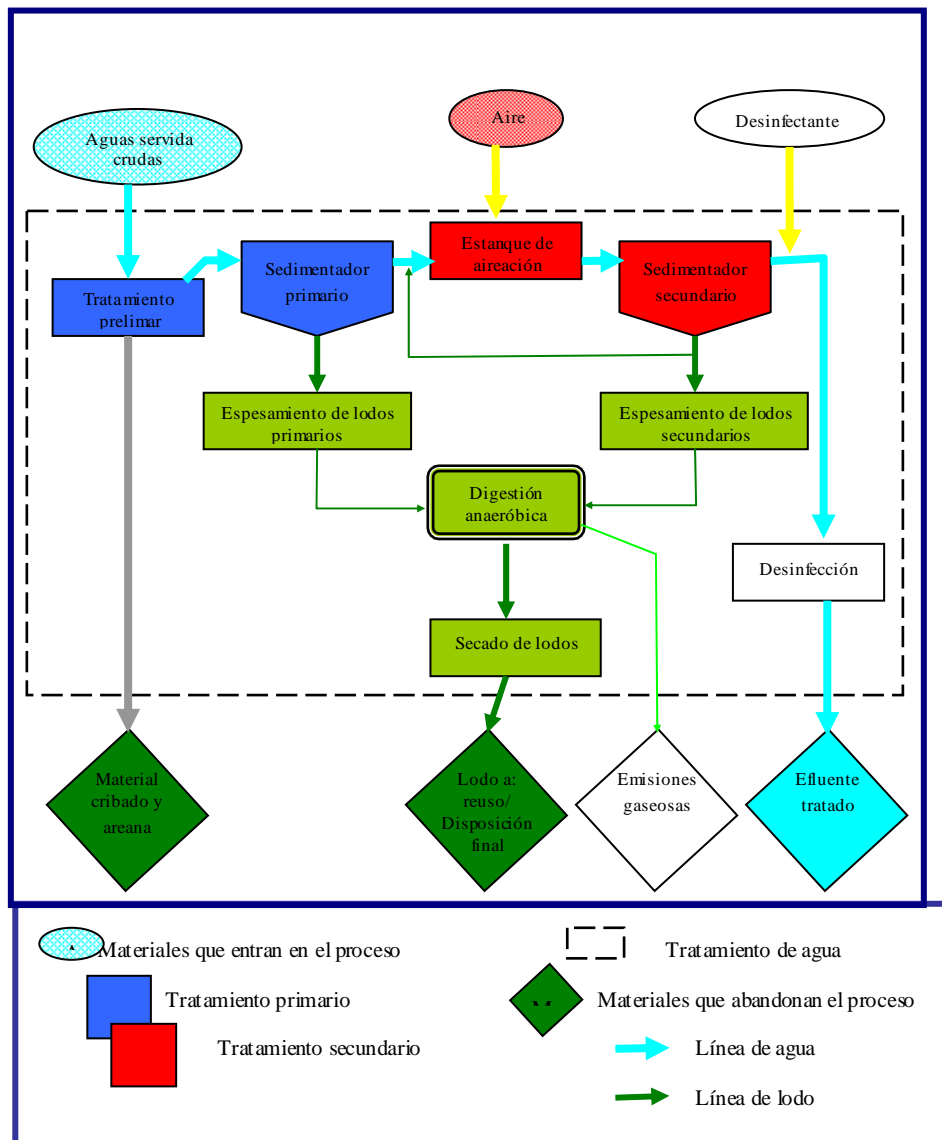


Figura 5.5 Diagrama Esquemático del Tratamiento con Lodos Activados en la ciudad de Santiago (Aguas Andina, 2000).

5.1.4. Producción de lodos en las plantas de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Santiago

- Origen de los Lodos

La purificación de las aguas residuales implica la separación de las sustancias contaminantes, obteniéndose un efluente líquido y una fracción de sólidos. En Las plantas de tratamiento de la ciudad de Santiago, se utiliza el tratamiento por lodos activados convencionales. El cual consiste básicamente en el desarrollo de un cultivo bacteriano, disperso en forma de flóculo, en un reactor agitado y aireado, alimentado con el efluente a depurar (Aguas Andinas, 2000). La biomasa contenida en el reactor depura el agua residual transformando la materia orgánica en CO₂, agua, como producto de la respiración celular, y biomasa sedimentable a través de oxidación, síntesis y respiración endógena. La biomasa residual (lodo activado que no es recirculado) se purga del sistema y se trata por separado (Aguas Andinas, 2000).

- Producción de lodos en la plantas de tratamiento de la ciudad de Santiago

La generación de lodos, a nivel regional, depende de la puesta en marcha de las nuevas plantas de tratamiento, mencionadas anteriormente, pero ésta aumentará gradualmente con el transcurso de los años. El año 2001 comenzó su operación El Trebal, tratando un caudal¹² de 4,4 m³/s, con un máximo proyectado de 6,4 m³/s, su producción de lodos secos es de 60 ton / día para sus primeros años. Al observar tabla 5.2 para el año 2024, se estima una producción de 110 ton / día¹³. A partir del 2004 La Farfana, operara con un caudal inicial de 8,15 m³/ s y con una proyección de 9,4 m³/s. En la tabla 5.2 se observa que producción de lodos que llega en promedio a los 130 ton / día, para el año 2004, y de 180 ton / día en el año 2024.

¹² Caudales promedio

¹³ Lodos con un porcentaje de sólidos de un 60 %.

TABLA 5.2 Estimación de generación de lodos secos en (ton/día)

AÑOS	El Trebal ¹		La Farfana ²	
	Población atendida (Hab.)	Lodos secos generados	Población atendida (Hab.)	Lodos secos generados
2000	1.295.000	60		
2004			3.096.000	136
2010	1.940.000	90	3.293.000	150
2024	2.620.000	110	3.780.000	157
2027				

Fuente: Aguas Andinas, EIA de planta de tratamiento Santiago Sur, El Trebal, 1997.
² Aguas Andinas, EIA de planta de tratamiento La Farfana, 2000.

De acuerdo al plan de inversión de Aguas Andinas S.A, en el año 2010 comenzará su operación la planta Los Nogales (cuya producción de lodos será una cifra intermedia entre las dos plantas antes mencionadas). Esta planta está diseñada para tratar un caudal promedio de 7,3 m³/s y un máximo, también promedio, de 9,1 m³/s. La proyección para la producción de lodos, para las tres plantas de tratamiento, se observa en la tabla 5.3.

TABLA 5.3 Datos estimados de las características de las plantas de tratamiento y su producción de lodos con 65 % de sólidos (ton/día).

Planta de tratamiento		Caudal (m ³ /s)	Capacidad (t DBO ₅ /d)	Producción de lodos (Ton/d) 65 % sólidos
El Trebal	Promedio	4,4	105	100
	Máximo	7,5	-	-
La Farfana	Promedio	8,8	220	220
	Máximo	15	-	-
Los Nogales ¹	Promedio	7,4	-	115
	Máximo	13	-	-

Fuente: Aguas Andinas, 2000
¹ Valores aproximados, considerando el tamaño de la planta.

5.1.5. Manejo y disposición final de los lodos

Actualmente están operativas el Trebal y la Farfana. Pero en general, todas las plantas de tratamiento de las aguas residuales de la ciudad siguen el mismo patrón de diseño, empleando el mismo sistema para el tratamiento de

los lodos. Este consiste en una Línea de lodos, explicada anteriormente, resumida en los siguientes puntos:

- Espesamiento de lodos primarios;
- Espesamiento de lodos secundarios;
- Digestión anaeróbica;
- Deshidratación de lodos digeridos;
- Disposición final.

El tratamiento de los lodos producidos en las plantas de tratamiento, a través de la digestión anaeróbica produce un lodo estabilizado, asegurándose la destrucción de los sólidos volátiles entre un 50 a 55 %. Esto debido al proceso de fermentación de la materia orgánica dentro del digestor. A la salida de éste, las características cambian de un lodo no inerte a un lodo más estable (Aguas Andina, 1997).

La humedad contenida en el lodo es eliminada a través de procesos mecánicos, en centrífuga, y naturales de deshidratación, en canchas de secado, alcanzando al final de un periodo de 120 días (en condiciones de tiempo estable) valores de concentración de sólidos superiores a 50 %. En el caso de las plantas el Trebal el % de sólidos en los lodos alcanza hasta el 65 %.

En ambos proyectos, el Trebal y la Farfana, la disposición final de los lodos se realiza en un monofill o monorelleno.

La resolución de calificación ambiental establece un periodo máximo de 5 años, para utilizar este tipo de disposición final. Obligando a Aguas Andinas a disponer de otra manera los lodos, transcurridos ese periodo de tiempo. En este sentido se realizan pruebas para demostrar la capacidad como agente mejorador de suelo, ya sea erosionados o suelos agrícolas.

5.1.6. Características de los lodos

A partir de los lodos producidos en la planta El Trebal, se realizó una caracterización de los lodos provenientes del proceso del tratamiento de las

aguas. Esta información se utilizó para la caracterización de todos los lodos producidos por la planta de tratamiento de la ciudad, debido al corto tiempo en operación de la planta la Farfana.

- Características físico químicas

El lodo generado en la planta el Trebal tiene un seguimiento en las canchas de secado y en el monorelleno (lugar de disposición, pero transitorio) con el fin de conocer y controlar su comportamiento físico, químico y bacteriológico. Los resultados obtenidos del análisis físico-químico para los lodos producidos en la planta del Trebal se muestran en la tabla 5.4.

TABLA 5.4 Principales características analizadas para los lodos de la planta El Trebal

VALORES	Características lodo planta El Trebal.							
	pH	Sólidos totales	Materia orgánica	Nitrógeno total	Anhídrido sulfúrico	Potasio	Magnesio	Calcio
	% M.S	% M.S	% M.S	% M.S	% M.S	% M.S	% M.S	% M.S
Mínimo	6,3	60	30,2	1,5	2,4	0,3	1,1	3,0
Máximo	8,3	90	48,1	3,4	5,9	1,2	1,7	5,5
PROMEDIO	7,3	73	40	2,2	4,5	0,6	1,5	4,1
Valor Literatura	7,2-7,5 ^a		40 ^b	0,5-3 ^a		0,1-0,3 ^a	1,2 ^c	4 ^d
Fuente: Arata y Garcés. 2003. ^a Aurelio Henríquez, 1992 ^b Metcalf & Eddy, 1996 ^c P. Mañas Ramírez, 2000 ^d Aguilar et al. 1990 M. S = Materia Seca								

Para los parámetros analizados se observa que, los valores promedio se encuentran dentro de los rangos publicados en la bibliografía revisada en el análisis para los lodos de la planta el Trebal. En la tabla 5.5 se entregan los valores para la humedad del lodo, factor importante para su manejo, evidenciando, según las técnicas de secado empleadas en el tratamiento del lodo, que es en época estival donde se logran mejores resultados. Siendo la época de lluvias la más desfavorable para este parámetro.

TABLA 5.5 Humedad del lodo de la planta el Trebal en Monorelleno

	Humedad % M. S
Valor mínimo	8.83 ¹
Valor máximo	39.9 ²
Fuente: Arata y Garcés, 2003.	
¹ Valor encontrado en pleno verano, mes de febrero	
² Valor encontrado en pleno invierno, meses de junio y julio	

- Características de interés Medioambiental

Debido al carácter de búsqueda de nuevas alternativas para la disposición final de los lodos, es indispensable conocer las características que pueden provocar algún grado de inconveniente o impacto al ambiente, ya que como consecuencia puede afectar directa o indirectamente la salud humana.

En la tabla 5.6 se puede observar las concentraciones de organismos patógenos presentes en los lodos de la planta el Trebal. Como se puede observar el comportamiento de coliformes fecales y ova helmíntica, en distintos periodos del año y sectores de las canchas de secado y del monorelleno donde se depositan los lodos. En el caso de coliformes fecales se observó un decaimiento microbiológico a través del tiempo. Siendo en los meses cálidos donde se encuentran los valores más bajos, encontrándose en el rango 10^1 y 10^4 CF/ gr de lodo, base seca. Para los huevos de helminto la concentraciones varían entre 0 a 10 huevos viables por cada gramo de lodo, base seca.

TABLA 5.6 Niveles de contaminantes microbiológico en los lodos, planta el Trebal

Fecha	Coliformes fecales NMP/gr M.S	Humedad (%)	Helmintos totales Huevos X 10gr M.S	Helmintos viables Huevos X 10gr M.S	Tipo de ova viable encontrada
29.01.02	3,E+02	15,4	NA	NA	NA
15.02.02	3,E+04	8,8	NA	NA	NA
25.03.02	3,E+04	25,7	NA	NA	NA
28.06.02	1,E+03	39,6	NA	NA	NA
25.07.02	2,E+05	38,9	NA	NA	NA
22.08.02	3,E+03	38	NA	NA	NA
25.09.02	2,E+03	33,1	NA	NA	NA
02.10.02	5,E+01	32,2	NA	NA	NA
20.10.02	2,E+03	25,6	0	0	-
20.11.02	3,E+03	11,3	0	0	-
20.12.02	3,E+01	28,8	10	10	3 hyminolepsis 6 trichirus 1toxocara
28.01.03	2,E+01	20,9	5	5	4 trichirus
21.02.03	2,E+01	31,3	8	5	3 hyminolepsis 2 trichirus
10.04.03	1,E+04	15,2	0	0	5 hyminolepsis 4 trichirus 1toxocara
PRLodos	Coliformes fecales < 2,0E+6 NMP/gr de lodo base seca al momento de su uso				

Fuente: Arata y Garcés, 2003.

NA: No analizados.

PR Lodo: Proyecto Reglamento uso y disposición final de lodos.

Según el proyecto de reglamento de disposición y uso, los lodos producidos en el Trebal cumplen con los requisitos de clasificación como “lodo de clase B” (Arata; Garcés; et al, 2003), lo que le permite ser aplicado al suelo con determinadas limitaciones.

Otro factor que puede provocar algún tipo de impacto en el medio ambiente y como consecuencia a la salud humana, se refiere a la contaminación por sustancias toxicas, entre las que destacan algunos metales pesados, capaces de lixiviar hasta cursos de aguas y contaminarlos. La tabla 5.7 detalla estos parámetros para los lodos de la planta el Trebal, en comparación con concentraciones para plantas de tratamiento citadas en la literatura. Se observa que los valores no escapan de los valores que aparecen de referencia. Con respecto a la normativa que regulará su uso y disposición, encontramos que los metales considerados cumplen con la norma, para su aplicación como recuperador de suelo.

TABLA 5.7 Comparación entre Concentración de metales pesados planta El Trebal v/s literatura

	Contenido de metales (mg/kg M.S)									
	Cu	Mn	Zn	Fe	Ni	As	Cd	Cr	Hg	Pb
Alemania (Solmaz, 1992)	300 a 460		1500 a 2200		60		1,7		1,2	137
Francia (H. Vanden, 2002)	300 a 450								1 a 1,5	80
Promedio El Trebal	394	520	1.583	25.897	64,3	13,0	2,3	231,7	1,6	58,2
Fuente: Arata y Garcés, 2003										

Para la planta la Farfana no existen datos detallados como para los lodos producidos en la planta del Trebal, ya que lleva meses en operación. La estimación de algunos metales de interés corresponden a los proporcionados en el diseño de la planta La Farfana y se representa en la tabla 5.8, esta estimación fue a partir del análisis de las aguas residuales crudas, suponiendo que todo metal pesado se deposita en el lodo (Aguas Andinas, 2000).

TABLA 5.8 Concentración teórica para metales en lodos producidos en La Farfana

	Concentraciones (mg/kg M.S)						
	As	Cd	Hg	Cu	Ni	Pb	Zn
Teórico	<10	<25	<5	540	<98	<98	1.422
Estimación	<0,002	<0,005	<0,001	0,11	<0,02	<0,02	0,29
PR lodos	40	40	1.500	20	420	400	2.800
Fuente: Aguas Andinas 2000. PR lodos = proyecto reglamento de lodos no peligrosos							

5.2 Identificación de las alternativas de disposición final para el lodo, a través de su reciclaje en procesos de elaboración de materiales de la construcción

Los sistemas para el reciclaje del lodo que fueron propuestos como nueva alternativa de disposición final, correspondieron a industrias que elaboran materiales de la construcción, y que han sido objeto de estudios en la aplicación del lodo en sus procesos. Estas industrias se muestran en la tabla

5.9 y corresponden a procesos industriales, ya estudiados en la aplicación del lodo, y las áreas de aplicación de este.

TABLA 5.9 Alternativas propuestas para el reciclaje del lodo, en materiales de la construcción.

Alternativa	Sector industrial	Área de aplicación de lodos
A	Cemento	Co-procesamiento para la elaboración del cemento
B	Ladrillos cerámicos	Fabricación de ladrillos (mezcla arcilla + lodos)
C	Áridos livianos artificiales	Fabricación áridos livianos artificiales

Cada uno de estos sectores industriales posee condiciones propias que favorecen o presentan desventajas en la aplicación del lodo en sus procesos, por lo que fue necesario determinar dichas condiciones en las industrias identificadas, que se localizan en la región metropolitana.

5.2.1 Levantamiento de información de las industrias de la construcción en la región metropolitana, que fueron objeto de este estudio

En el país la búsqueda de nuevas formas de disposición final para el lodo presentan pocas diversificaciones, las formas actuales de disposición son: los rellenos sanitarios y monorellenos, nuevas aplicaciones se distinguen su aplicación como abono, en terrenos agrícolas y forestales.

Como una nueva aplicación la propuesta de su reutilización o reciclaje en la industria de la construcción es de escaso desarrollo. A continuación se presentan las características de las industrias de la construcción, en las áreas identificadas que podrían considerarse como una alternativa para la disposición final del lodo, a través de su reciclaje.

5.2.1.1 Industria de la construcción

El crecimiento de la industria de la construcción en Chile, se encuentra muy ligado al crecimiento global del país, por ejemplo en el 2003 creció un 2,4 % con respecto al año anterior. Este crecimiento se traduce en una necesidad de más y mejor infra-estructura, es decir una demanda creciente de materias primas naturales, que serán transformadas en los materiales constructivos respectivos.

Los materiales con más demanda en volumen destacan: el acero, el cemento, la madera, el hormigón y mezclas asfálticas, estos últimos grandes consumidores de materiales pétreos, conocidos como áridos (CCHC, 2003).

De los materiales señalados como posibles consumidores de los lodos, encontramos que el cemento y los áridos representan una alta demanda en el mercado interno, destacados por su demanda en volumen. A continuación detallaremos las características más relevantes de la industria del cemento, industria del ladrillo cerámico y la industria de áridos livianos artificiales.

a) Industria del Cemento

- Proceso involucrados

Extracción de materias primas para el cemento, estos son: arcillas y piedra caliza, las cuales contienen carbonato de calcio, silicio, aluminio y óxido de hierro. Posteriormente éstas son trituradas para acondicionar su traslado a la planta, una vez en la planta son mezclados y llevados a molinos donde son pulverizados, convirtiéndose en el crudo. La figura 5.6 se presenta un esquema del proceso típico en planta para la elaboración del cemento.

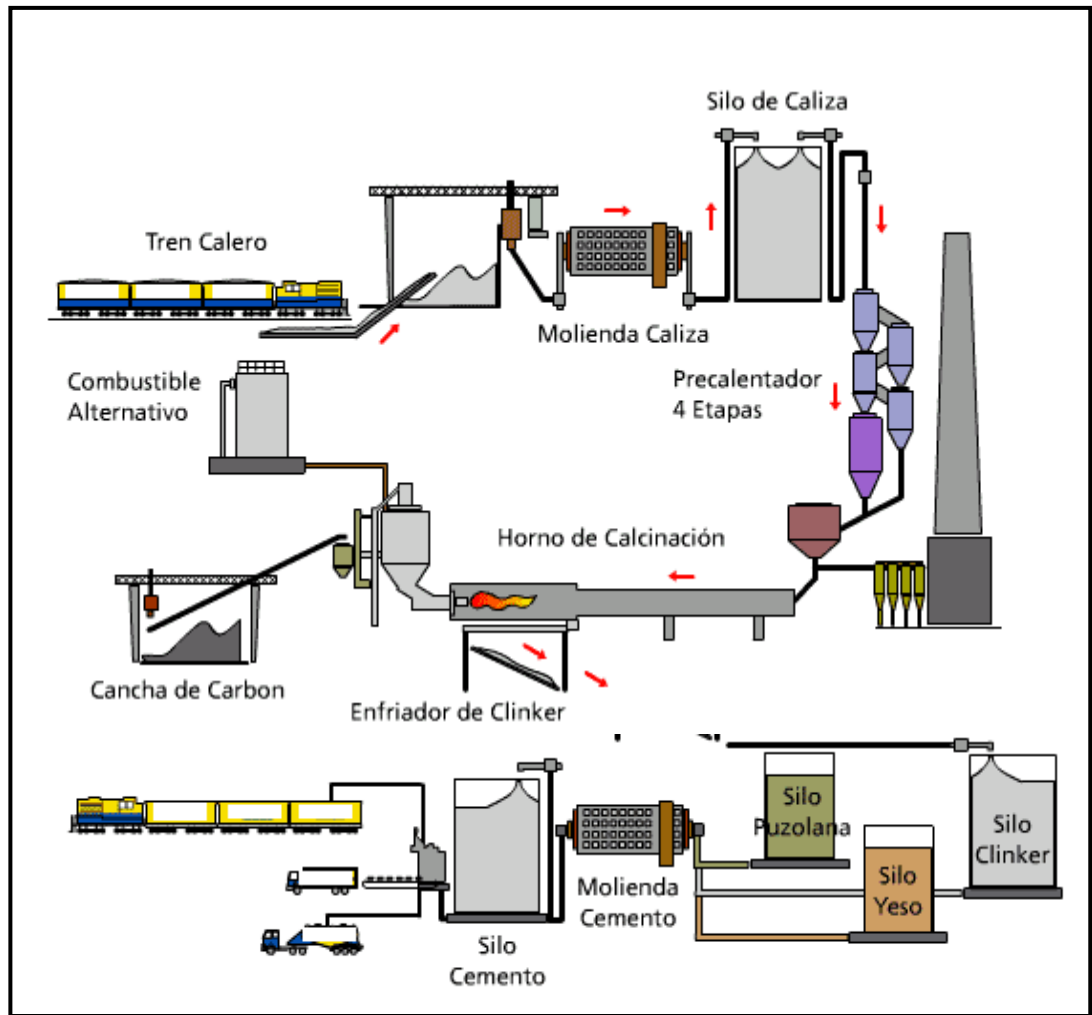


Figura 5.6 Esquema general de la elaboración del cemento (fuente: Cemento melón, 2003)

El crudo es homogenizado en silos, permitiendo una igualdad en sus características físicas y químicas. Luego pasa al pre-calcinador donde el crudo alcanza temperaturas hasta los 850°C . La calcinación ocurre en el horno, donde el crudo alcanza temperaturas hasta los 1450°C volviéndose líquido, formándose el clinker del cemento. Este será enfriado a temperatura ambiente y almacenado en silos donde se le agregan distintos componentes según el tipo de cemento requerido, estos componentes pueden ser: yeso, cenizas, puzolanas o caliza. Una vez mezclado es almacenado en silos esperando ser comercializado, en bolsas o sacos.

- Capacidad de producción

En general las empresas dedicadas a esta industria en el país ocupan el mismo proceso en la elaboración del cemento. Concentrándose la producción en tres empresas: Cemento Melón, del grupo Lafarge; Polpaico, del grupo Holcim y Cemento Bío-Bío, que el año 2003 alcanzó una cifra de 3.6 millones de toneladas, valor que representa un crecimiento de 4,6 % respecto al año anterior.

- Participación en el Mercado

El principal productor a nivel nacional es la empresa Cemento Melón con una producción de 1.265.000 toneladas/año, con un 36,5 del mercado; seguido por Polpaico con una producción de 1.248.000 toneladas/año, con un 36,1; y Cemento Bio-bio con una producción de 950.000 toneladas/año, con un 27,4 del mercado (Weisser, 2004).

De estas industrias, la única que se ubica geográfica en la región metropolitana es la industria Polpaico, por lo que ésta fue la industria evaluada para la aplicación del lodo en sus procesos.

b) Industria del ladrillo

Es importante mencionar que en Chile existen dos tipos de industrias que producen ladrillos, la primera se refiere a una que trabaja en forma artesanal y la otra que trabaja en forma industrial, el proceso de fabricación del ladrillo. En este trabajo se consideró sólo a la industria que trabaja de forma industrial el proceso de fabricación, ya que en estas, se representan una escala mayor de producción, con requerimientos de mayor materia prima, y presentando condiciones controladas en la elaboración del ladrillo cerámico, en términos técnicos y ambientales.

- Procesos involucrados

La materia prima es la arcilla, formada de sílice, alúmina, agua y cantidades variables de hierro y otros minerales. El abastecimiento de la materia prima para la elaboración de ladrillos se extrae directamente de canteras, de preferencias ubicadas en las cercanías de la fábrica donde se fabrica el producto. Antes de comenzar el proceso mismo de fabricación del producto es necesario que la arcilla esté en un estado ideal para trabajarla por lo que es triturada, homogeneizada y mantenida en reposo, esto le entregará ideales características físicas y químicas. Una vez terminado el periodo de reposo viene la preelaboración, donde se acondiciona la arcilla en forma más refinada. Terminado el proceso de pre-elaboración continúa a un depósito donde termina por homogeneizarse el material de manera química y en apariencia.

En las cantidades adecuadas, la arcilla es transportada a un mezclador donde se le incorpora la humedad justa para obtener una plasticidad adecuada para el moldeo. La arcilla ya húmeda sale del mezclador para ser moldeada por una boquilla (la cual tendrá la forma del ladrillo que se desea fabricar). Este moldeo se realiza en caliente, por vapor saturado a 130°C y al vacío. A continuación viene el secado, etapa que tiene por finalidad sacar el agua del interior del ladrillo para después entrar a la etapa de cocción.

La cocción se realiza en hornos de túnel, de aproximadamente 120 metros de longitud, donde la temperatura tiene una curva ascendente y luego descendente que oscila entre 900 a 1000°C . La figura 5.7 representa el proceso de elaboración típica del ladrillo.

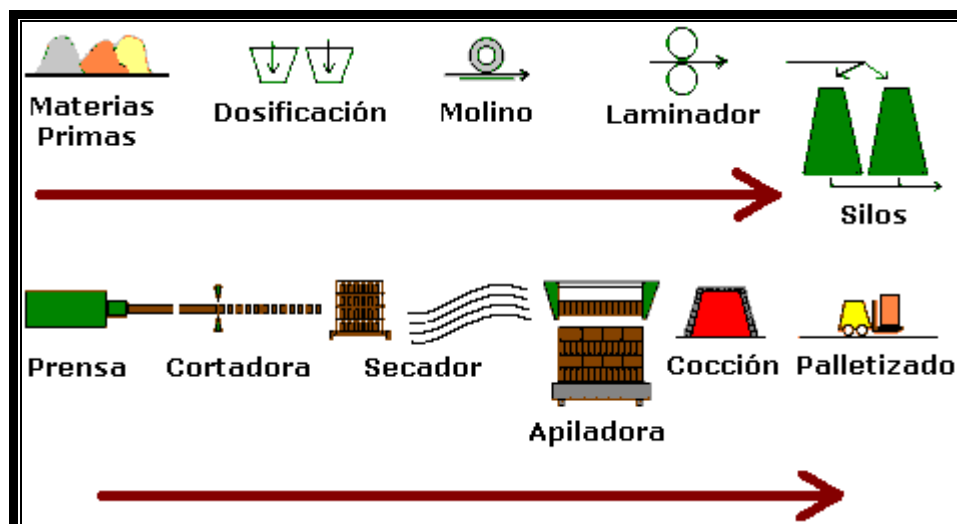


Figura 5.7 Esquema proceso estándar de fabricación de ladrillo en la industria nacional (fuente: Industrias Princesa, 2003)

- Capacidad de producción

En el país, la industria del ladrillo cerámico cuenta con numerosas fábricas a lo largo del país, pero las más importantes, por tamaño y producción, se encuentran en la región metropolitana. Estas son Cerámica Santiago S.A e Industrias Princesa. La producción del ladrillo, sólo considerando estos dos productores, alcanza valores cercanos a las 18 millones de unidades de ladrillos al mes. Además de ladrillos también se fabrican otros productos cerámicos, como enchapes y pisos cerámicos, por lo que su capacidad de producción es mayor.

Ambas empresas, serán las que se someterán a la evaluación posterior.

- Participación en el Mercado

Considerando sólo las industrias ubicadas en la región metropolitana la producción en ladrillos cerámicos alcanza para cubrir hasta el 80 % del mercado nacional. Industrias Princesa, por ejemplo está presente desde la cuarta región hasta la séptima. En el caso de Cerámica Santiago, ésta abastece a grandes constructoras en gran parte del país.

c) Industria áridos livianos artificiales

- Procesos involucrados

Los áridos son materiales que se originan por fragmentación de las distintas rocas, ya sea en forma natural o manufacturados; en éste último caso actúan procesos de chancados en plantas de áridos. En el caso específico de áridos livianos encontramos una clasificación similar, ya que existen en forma natural como: la piedras pómez, cenizas volcánicas y escorias; o pueden ser manufacturadas mediante procesos térmicos, expandiendo minerales que están presentes en la naturaleza (arcillas o pizarras) para obtener las características de densidad y tamaño requeridas. En la figura 5.8 se muestra un esquema general de la elaboración de áridos livianos artificiales.

- Capacidad de producción

La demanda del país se basa en los requerimientos del sector de la construcción, principalmente por ser insumo de hormigones y mezcla asfáltica. Los cuales en su mayor volumen corresponden a áridos extraídos de canteras naturales o riberas de los ríos. Alcanzando un volumen total de 20 millones de m³ en todo el país. Para áridos livianos artificiales a partir de residuos no se conocen cifras de producción, ya que la demanda es muy específica. Por lo que, en la evaluación posterior, se consideró el proceso elaboración de áridos livianos, a partir de cenizas volantes, el que ofreció referencias como proceso conceptual para la elaboración de este tipo de material.

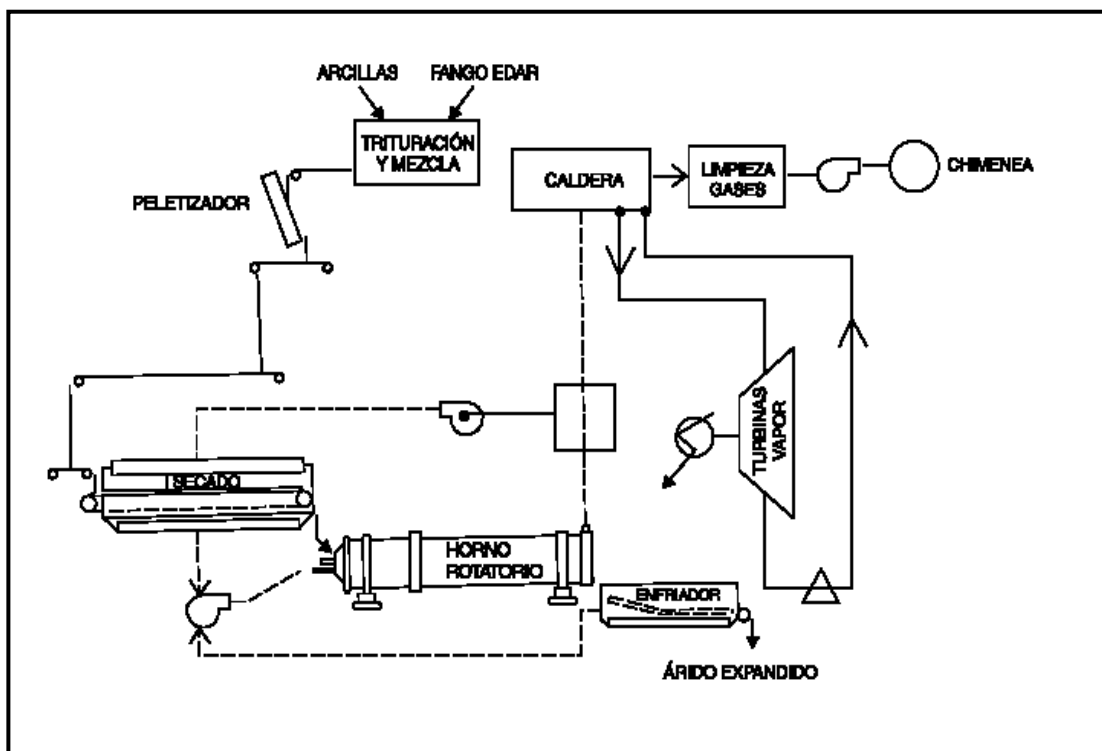


Figura 5.8 Esquema del proceso de fabricación del árido artificial liviano (Elías, 2000)

5.3 Evaluación de la propuesta de reutilización y reciclaje del lodo, en la industria de materiales de la construcción en la región metropolitana, utilizando la metodología desarrollada por Zordan (2003)

La evaluación correspondió a las industrias que se ubican en el área metropolitana, establecidas en el punto anterior. Estos se representan en la tabla 5.10. En el caso de la aplicación en el co-procesamiento para la elaboración de cemento se determinó realizar la consulta, a la única, empresa elaboradora de cemento ubicada en la región metropolitana, además de un experto en residuos. Para la aplicación en la elaboración de ladrillos cerámicos, se pudo acceder a las dos grandes empresas productoras de ladrillos del país, que en conjunto producen cerca del 80 % del total de ladrillos cerámicos, manufacturados a escala industrial y ambas ubicadas en la región metropolitana. En la última aplicación, elaboración de

áridos livianos artificiales, sólo se pudo acceder a un experto, debido a que en el país este tipo de material no se fabrica, existiendo sólo investigaciones al respecto, pero a partir de otro residuo. Este último caso permitió obtener información, pero sólo de referencia, por lo que este sistema para reutilizar el lodo pasará por la consulta de experto, pero no será considerado en la evaluación final.

TABLA 5.10 Expertos considerados para la evaluación de los sistemas de reciclaje

Sistema de reciclaje propuesto	Área de aplicación consultada	Cargo Institución o empresa
Industria del Cemento	Co-procesamiento para la elaboración del cemento	Empresa Cementos Polpaico
		Coordinador de gestión de residuos CONAMA
Industria del ladrillo cerámico	Fabricación de ladrillos (mezcla arcilla + lodos)	Gerente técnico planta Cerámica Santiago S. A
		Gerente Técnico Ladrillos Princesa Ltda
Industria de áridos livianos artificiales	Fabricación áridos livianos artificiales (mezcla arcilla + lodos)	Docente Universidad de Valparaíso

5.3.1 Evaluación de la industria con potencial de reciclar el lodo, ubicada en la región metropolitana

5.3.1.1 Interés por Lodo de Plantas de tratamiento de aguas residuales

La tabla 5.11, muestra el interés de los industriales evaluados, para disposición del lodo, a través su reciclaje. Este corresponde a un valor teórico, ya que es importante mencionar que existen parámetros técnicos, ahora no evaluados, en cada uno de los procesos de fabricación de los materiales, que limitarían su aplicación y el valor real que podría absorber cada industria. La alternativa A, se muestra más dispuesta a recibir el residuo, ya que ésta posee un interés en la búsqueda de combustibles sustitutos, generalmente residuos. En cambio la alternativa B, entregó valores mínimos, pero este valor corresponde a un % que reemplazarían en el volumen del ladrillo. Para la alternativa C, se consideró que podría

ocuparse hasta un 20 % de lodo, el cual se mezclaría con arcilla, para formar áridos livianos, pero esta alternativa no existe como industria, a nivel local por lo que la entrega de este valor es sólo de referencia a considerar en esta evaluación.

TABLA 5.11 Porcentaje absorción del lodo para cada una de la industrias evaluadas

Parámetro	A		B		C
	EC_1	EC_2	EL_1	EL_2	EA_1
% de aprovechamiento del residuo	Variable	100%	10%	20%	20 %

Legenda:

A. Co-procesamiento para la elaboración del cemento

B. Fabricaron de Ladrillos (Mezcla Arcilla + Lodos)

C. Fabricación de Áridos livianos Artificiales

EC = Experto Cemento

EL = Experto Ladrillo

EA = Experto Árido

5.3.1.2 Análisis técnico para las características del lodo

Los datos obtenidos en las entrevistas, presentados en la tabla 5.12, muestran las características más destacables del lodo. La que representa el mayor interés, es su capacidad de combustible. De los aspectos negativos del lodo, se consideró al grado de humedad, ya que no permite un buen manejo, desmejorando sus características más sobresalientes. Otro factor, considerado negativo, es la emisión de gases proveniente del proceso de combustión del lodo.

TABLA 5.12 Puntos positivos y negativos para el reciclaje del lodo en los sistemas propuestos

Alternativa	Puntos positivos	Puntos negativos
A. Co-procesamiento para la elaboración del cemento	<ul style="list-style-type: none"> - Combustible alternativo - Destrucción de lodos 	<ul style="list-style-type: none"> - Difícil manejo - Humedad alta - Bajo poder calorífico - Generación de olor
B. Fabricaron de Ladrillos (Mezcla Arcilla + Lodos)	<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad combustible - Encapsulación final del residuo 	<ul style="list-style-type: none"> - Humedad del residuo - Capacidad de manejo - Generación de olores - Metales pesados - Emisión de gases
C. Fabricación de Áridos livianos Artificiales	<ul style="list-style-type: none"> - Materia prima (reemplazo de) - Encapsulación final del residuo 	<ul style="list-style-type: none"> - Materia orgánica - Metales - Manejo - Olores

5.3.1.3 Análisis ambiental del los sistemas de reciclaje propuestos

- Resultados de la evaluación ambiental.

La tabla 5.13 entrega el potencial de ocurrencia de los principales aspectos ambientales, que pueden ser alterados en los sistemas de reciclaje propuestos. Este potencial representa la opinión del experto entrevistado, por lo que no necesariamente, representa lo que sucedería en el reciclaje del lodo en particular.

Para el co-procesamiento en la elaboración de cemento, los aspectos que se perciben negativamente, es decir, que aumentarán su grado de ocurrencia con la aplicación del lodo, son: la generación de emisiones, por los gases en la combustión del lodo; generación de efluentes, debido a la humedad presente en los lodos, lixiviable al momento de almacenarlos para su incorporación en el proceso; y la generación de otros residuos.

En la fabricación de ladrillos, se observa que, los aspectos que se alterarán con la aplicación del lodo son: la generación de emisiones gaseosas, ya que en su proceso actual, éstas no son significativas, y al incorporarse el lodo, al proceso pueden aparecer otros tipos de gases y que deberán ser controlados por medio de tecnologías (esto implica un gasto económico); también fue mal evaluada la generación de efluentes y la distancia del transporte, ambos cambios producidos por las condiciones de humedad del lodo, que antes de su aplicación no se perciben porque la materia prima se obtiene en yacimientos cercanos a la planta y su humedad es controlada en el interior del proceso.

Por último la fabricación de áridos livianos artificiales, percibe negativamente la generación de emisiones, en la manipulación del lodo, por generación de material particulado.

TABLA 5.13 Grado potencial de ocurrencia de los aspectos en los sistemas de reciclajes propuestos

Sistema de reciclaje Propuesto	Cambios en procesos	Potencial de ocurrencia (promedio)
A. Co-procesamiento para la elaboración del cemento	Consumo de energía	3
	Consumo de combustible	(-)3
	Consumo de materia prima	(-)3
	Generación de emisiones	3
	Generación de efluentes	3
	Generación de residuos	3
B. Fabricaron de ladrillos (mezcla arcilla + lodos)	Consumo de agua	(-)3
	Consumo de energía	3
	Consumo de combustible	(-)3
	Consumo de materia prima	(-)3
	Distancia de transporte	5
	Generación de emisiones	3
C. Fabricación Áridos artificiales	Consumo de agua	(-)3
	Consumo de energía	3
	Generación de emisiones	3

La nota para el impacto total generado por cada aspecto, es su potencial de ocurrencia multiplicado por la importancia del impacto de cada aspecto, el cual fue resuelto en el Anexo 2.

En el desempeño global para el sistema de co-procesamiento del lodo en el cemento, representado en la tabla 5.14, se observa que según la importancia en el impacto total el consumo de materias primas y de combustibles son los considerados como positivos, ya que disminuirían. En el caso de impacto negativo se observa un valor importante para la generación de emisiones, seguido por el consumo de energía y generación de efluentes y residuos.

TABLA 5.14 Valorización del desempeño ambiental del sistema de reciclaje A. Co-procesamiento en el proceso del cemento

Sistema A - Co-procesamiento en el proceso del cemento			
Aspecto	Potencial de ocurrencia	Importancia	Impacto total generado
Consumo de energía	3	27	81
Consumo de combustible	-3	25	-75
Consumo de materia prima	-3	24	-72
Generación de emisiones	3	32	96
Generación de efluentes	3	23	69
Generación de residuos	3	21	63
Desempeño global del sistema de reciclaje			162

La tabla 5.15, representa la valorización del desempeño global para la fabricación de ladrillos cerámicos, se observa que por la importancia del impacto, el aspecto que presenta impacto negativo es el transporte del lodo desde el lugar de generación hasta las plantas procesadoras de ladrillos, seguido de cerca por la generación de emisiones gaseosas. Los impactos considerados como positivos o de bajo impacto se relacionan con el ahorro de materias primas, combustibles y agua.

TABLA 5.15 Valorización del desempeño ambiental del sistema de reciclaje B. ladrillos cerámicos

Sistema B. Productos ladrillos cerámicos.			
Aspecto	Potencial de ocurrencia	Importancia	Impacto total generado
Consumo de agua	-3	22	-66
Consumo de energía	3	27	81
Consumo de combustible	-3	25	-75
Consumo de materia prima	-3	24	-72
Distancia de transporte	5	30	150
Generación de emisiones	3	32	96
Generación de efluentes	3	23	69
Desempeño global del sistema de reciclaje			183

En el desempeño global para la fabricación de áridos livianos artificiales, representado en la tabla 5.16, se puede observar una menor identificación de aspectos que se alterarían con la aplicación del lodo, lo que influirá en la determinación del impacto total del sistema, pero se observa que el impacto de mayor relevancia, es la emisión de gases. Como de menor impacto se observa al consumo de agua en el proceso, el cual no sería afectado.

TABLA 5.16 Valorización del desempeño ambiental del sistema de reciclaje C. Fabricación de áridos livianos artificiales

Sistema C. fabricación de áridos livianos artificiales			
Aspecto	Potencial de ocurrencia	Importancia	Impacto total generado
Consumo de agua	-3	22	-66
Consumo de energía	3	27	81
Generación de emisiones	3	32	96
Desempeño global del sistema de reciclaje			111

El impacto total para cada sistema propuesto, representa su desempeño ambiental. Debido a que sólo son considerados los impactos negativos, del sistema, cuanto mayor es el valor numérico del impacto total, peor será su desempeño ambiental. El resultado para el desempeño ambiental se resume en la tabla 5.17.

TABLA 5.17 Desempeño de los sistemas de reciclaje para la evaluación ambiental

Sistema de reciclaje	Desempeño
A. Co-procesamiento en el proceso del cemento	162
B. Fabricación de ladrillos cerámicos	183
C. Fabricación de áridos livianos artificiales.	111

Por lo tanto el orden, considerando los sistemas A y B, para su desempeño ambiental, según la tabla anterior es:

1. Co-procesamiento en el proceso del cemento
2. Fabricación de ladrillos cerámicos

El sistema de reciclaje del lodo mediante la fabricación de áridos livianos artificiales fue sometido a la opinión del experto, al igual que las otras dos alternativas, pero no será parte del establecimiento del orden según el desempeño ambiental, ya que no se encuentra en las mismas condiciones que los otros sistemas propuestos, reconocidas como industrias establecidas, a diferencia de la elaboración de áridos livianos artificiales.

5.3.1.4 Análisis de salud ocupacional

Los riesgos ocupacionales pueden ser divididos en: riesgos en operación y riesgos del ambiente laboral. Como en esta etapa es impreciso cuantificar los riesgos en operación, se evaluaron sólo los riesgos que pueden producirse por las condiciones inseguras del ambiente de trabajo.

- Resultados de evaluación

Se aplicó el grado de riesgo¹⁴, entregado en el Anexo 1, a cada uno de los peligros informados en las entrevistas a expertos, resumidos en la tabla 5.18, determinándose el riesgo total del sistema en el área de la salud ocupacional, por las condiciones inseguras en el ambiente de trabajo para los sistemas propuestos. En la tabla se observa que los peligros informados por los expertos, son sólo potenciales para cada uno de las alternativas. Además, no se reconocen los mismos peligros en todos los sistemas de reciclaje propuestos.

TABLA 5.18 Riesgo para la salud de los sistemas de reciclaje propuestos

Sistema de Reciclaje propuesto	Proceso	Peligro	Riesgo	Riesgo Del Sistema
A. Co-procesamiento para la elaboración del cemento	Secado Del lodo	Calor	4,2	7,9
	Manejo	Esfuerzo físico	3,7	
B. Fabricaron de ladrillos (mezcla arcilla + lodos)	Secado Del lodo	Calor	4,2	9,2
	Manejo	Sustancia lixiviables	5,0	
C. fabricación de Áridos livianos artificiales	Proceso Completo*	Ruidos	4,7	14,5
		Sustancias tóxicas	4,8	
		Sustancias lixiviables	5,0	

* Por no existir industria dedicada a la elaboración de áridos artificiales, no podemos conocer los nuevos procesos detallados por lo que se evaluó el proceso en general, tomando referencia ensayos realizados con otros residuos.

¹⁴ Según Zordan, 2003.

De acuerdo a la tabla anterior, y dejando de lado al sistema de reciclaje propuesto C, se ordenó jerárquicamente los restantes sistemas propuestos, por lo que en el área de la salud ocupacional el orden fue el siguiente:

1. Co-procesamiento en el proceso del cemento
2. Fabricación de ladrillos cerámicos

5.3.1.5 Análisis de Mercado

Por encontrarse en una etapa de pre-evaluación, se realizó un análisis comparativo, rápido y simplificado, a través del cuestionario análisis de mercado del Anexo 1. B, con los aspectos más significativos para el desarrollo de las alternativas de reciclaje y el mercado en que éstas se sitúan.

- Resultados de la evaluación para los lodos

Según la tabla 5.19, se resumen los resultados obtenidos en la aplicación del cuestionario, la escala de valoración varía de 0 a 5, ordenados de forma ascendente, partiendo de la peor condición hasta la mejor condición. Se puede observar lo siguiente:

En competencia con productos existentes.

Para los sistemas propuestos, la alternativa A considera que existe una coincidencia con otros productos que también incorporan en sus procesos para la fabricación de cemento. Por otra parte, la alternativa B reconoce que no existen productos de las características del ladrillo a base de residuos. El caso de la alternativa C, es particular, ya que no existe el producto, árido liviano artificial. Reconociendo una gran competencia con los áridos de procedencia natural, ya sean estos livianos o no.

En Innovaciones tecnológicas.

Si se perciben ventajas de los nuevos productos; la alternativa A concederá que no existen, ya que el residuo es reducido de tal forma que no interfiere

en el producto final, en este caso el cemento. En el caso de la alternativa B, ésta tampoco considera ventajas, ya que no hay productos que sean coincidentes. La alternativa de áridos artificiales es la única que percibe ventajas para el nuevo producto, a partir del reciclaje del lodo.

Si es que existe la capacidad del consumidor a identificar ventaja; sólo la fabricación de áridos artificiales y el co-procesamiento en el cemento aparecen percibiendo ventajas.

Si es que existe un desenvolvimiento tecnológico por parte de las empresas que permita asumir el reciclaje; las alternativas A y B, consideran que estarían capacitadas tecnológicamente para reciclar el lodo en sus procesos, a pesar de que existan algunos cambios que requerirán de mejoras tecnológicas. La alternativa C, considera que existe la tecnología suficiente para fabricar este tipo de materiales, pero en el ámbito local no existen interesados en su desarrollo.

En Incentivos de productos o sistemas de reciclaje.

Las alternativas A y B reconocen la inexistencia de incentivos fiscales y legales. En cambio la alternativa C reconoce la existencia de varios instrumentos que podrían servir para el desarrollo de iniciativas de reciclaje, aunque no sean lo suficiente.

En demanda de productos reciclados.

Las alternativas A y B perciben que no existe una necesidad de productos reciclados en general. En cambio la alternativa C, si concederá que existe un interés cada vez mas creciente para este tipo de materiales.

Si es que existe Valorización de productos verdes, las tres alternativas reconocen que no existe.

En aspectos productivos

Para este aspecto, la alternativa A es la que mayor interés muestra, por usar este tipo de residuos. El caso contrario ocurre con las alternativas B y C, para la primera no existe el interés porque no hay necesidad de desarrollar

este tipo de productos y para la segunda, no existe una industria que pueda identificar esta necesidad.

Con respecto a la escala de producción, todas coinciden en comenzar con ensayos a escala pequeña, a manera de ensayo, lo que se entiende por las desconfianzas que existen para este tipo de iniciativas.

Los valores fueron sumados en cada uno de los tres sistemas de reciclaje propuesto (por columna), para obtener el valor que corresponde a la evaluación del mercado. El valor más alto fue la mejor alternativa desde el punto de vista del mercado, en este caso fue la alternativa C, seguida por la alternativa A y en último lugar la alternativa B. Pero para efectos de comparación solo se considero a las alternativas A y B, la alternativa C no fue considerada, por las razones explicadas anteriormente.

TABLA 5.19 Resumen para la Evaluación de Mercado

Factores evaluados	A	B	C
Competencia con otros productos			
Oferta de producto en competencia	3	5	1
Tendencias del nuevos productos en el mercado	1	1	1
Innovaciones tecnológicas			
Ventajas tecnológicas del reciclado sobre la competencia	1	1	5
Capacidad del consumidor a identificar ventajas tecnológicas	3	1	3
Desenvolvimiento tecnológico en el mercado	3	3	3
Incentivos de los productos/sistemas de reciclaje			
Incentivos fiscales	0	0	3
Incentivos legales	0	0	3
Demanda para los productos reciclados			
Necesidad de productos con características	0	0	5
Valorización de los productos “verdes” por los consumidores	1	1	1
Aspectos de los sistema productivo			
Intereses de la industria recicladora en el reciclaje del residuo	5	1	-
Escala productiva de los sistemas de reciclaje	1	-	1
TOTAL	18	13	26

Legenda:

- A. Co-procesamiento para la elaboración del cemento
- B. Fabricaron de Ladrillos (Mezcla Arcilla + Lodos)
- C. Fabricación de Áridos livianos Artificiales

Por lo tanto, según las industrias evaluadas determinamos un orden para los sistemas de reciclaje propuestos, según su análisis de mercado, y fue el siguiente:

1. Co-procesamiento en el proceso del cemento
2. Fabricación de ladrillos cerámicos

5.3.1.6 Análisis Económico

- Resultados de evaluación.

La tabla 5.20 muestra la información reunida a través de las entrevistas con los especialistas, en el cuestionario de análisis económico. Además se utilizaron los valores que fueron entregados en el análisis ambiental y de mercado que se relacionan directamente con aspectos económicos.

De todos los datos obtenidos, destaca que la incorporación del lodo en los procesos puede traer un ahorro en combustible. Como negativo se observa que habría un costo por la adquisición de nuevos equipos, llamando la atención que no se pudo tener valores de inversión por lo elemental del estudio. Sólo fue posible establecer una estimación para el valor en la propuesta de elaboración de ladrillos. En términos de materias primas se observa que podría existir una disminución en la adición del lodo, pero en estas instancias es difícil cuantificar y estimar un ahorro en costos de producción.

Ante la consulta, en que forma recibiría el residuo, se observa que dos de las tres alternativas consideraría al servicio como un negocio, cobrándole al generador para disponerlo. Sólo la alternativa de áridos livianos artificiales considera que la gestión debería considerarse un acuerdo de producción limpia, traspasando desde el generador al consumidor, evitando gastos económicos y buscando siempre un beneficio para ambos.

TABLA 5.20 Resumen de evaluación para el aspecto económico

Parámetros	A	B	C
Puntos Positivos	Disminución combustible	Disminución combustible	Reducción de materia prima
Puntos Negativos	Acondicionamiento para procesarlo Secado del lodo	Adquisición de filtros Secado del lodo	Secado del lodo Control de emisiones
% de aprovechamiento del residuo	100%	10%	20 %
Forma de comercialización del residuo	Reciclador cobraría	Reciclador cobraría	Acuerdo de producción limpia
Inversiones en investigación y desarrollo	¿?*	US\$ 250.000	¿?***
Consumos de recursos	Energía: 3 Combustible: -3 Materia prima:-3	Agua: -3 Energía: 3 Combustible: -3 Materia prima:-3	Agua: - 3 Materia prima: - 3
Generación de contaminantes	Emisiones: 3 Efluentes: 3 Residuos: 3	Emisiones: 3 Efluentes: 3	Emisiones: 3
Distancia de transporte	0	5	0
Maquinas/equipamiento	3	3	3
Riesgo de negocio	No evaluado	No evaluado	No evaluado

* Valor de inversión confidencial, por encontrarse en plena ejecución de proyecto.

** Industria no desarrollada, implica inversión inicial.

Legenda:

A. Co-procesamiento para la elaboración del cemento

B. Fabricaron de Ladrillos (Mezcla Arcilla + Lodos)

C. Fabricación de Áridos livianos Artificiales para su Aplicación en Concretos

Para determinar un orden de jerarquía, se realizó una comparación de dos en dos, según Anexo 3, entre las alternativas A y B, dejando fuera la alternativa C, en la tabla 5.21.

TABLA 5.21 Análisis de jerarquía para la evaluación económica

Sistemas	A	B	Total línea	Valor relativo
A	1	6	7	0,86
B	1/6	1	1,16	0,14
Total general			8,16	1,00

Legenda:

A. Co-procesamiento para la elaboración del cemento

B. Fabricaron de Ladrillos (Mezcla Arcilla + Lodos)

Escala:

Igual Desempeño = 1

Leve Mejor Desempeño = 2

Mejor Desempeño = 4

Mucho Mejor Desempeño = 6

Por lo tanto, según los aspectos económicos que evalúa el cuestionario, el orden para las alternativas A y B, es el siguiente:

1. Co-procesamiento en el proceso del cemento
2. Fabricación de áridos artificiales

5.3.2 Análisis de los resultados obtenidos de la evaluación

En la tabla 5.22, se resumen los lugares que se obtuvieron para cada uno de los aspectos analizados, pero sólo considerando las alternativas A y B.

TABLA 5.22 Resumen de la Evaluación de los Sistemas de Reciclaje

Criterios	Clasificación	
	1º	2º
Ambiental	A	B
Salud ocupacional	A	B
Mercado	A	B
Económico	A	B

Legenda:

- A. Co-procesamiento para la elaboración del cemento
- B. Fabricaron de Ladrillos (Mezcla Arcilla + Lodos)
- C. Fabricación de Áridos Artificiales Para su Aplicación en Concretos

A continuación, se presentan los criterios o árbol jerárquico para concluir esta evaluación. Este árbol representa a la información recogida durante el transcurso de esta evaluación, los pesos asignados fueron los siguientes, para cada uno de los criterios evaluados:

- **Factor económico**, peso 4. por la importancia que se le otorga a la obtención de beneficios económicos en el emprendimiento de cualquier actividad del tipo industrial;
- **Factor ambiental**, peso 3. Al considerar que el reciclaje tiene como objetivo disminuir los impactos al medio ambiente;
- **Factor de mercado**, peso 2; y
- **El factor salud ocupacional**, peso 1.

Para poder resolver un orden aplicando los pesos de importancia a los sistemas propuestos para el reciclaje del lodo, se asignó el valor 2 para la

alternativa mejor evaluada, es decir con el primer puesto, y con el valor 1 para la peor evaluada, tal como se muestra en la tabla 5.23.

TABLA 5.23 Matriz de valoración para las alternativas de reciclaje del lodo

Criterios	A	B	X	peso	=	A	B
Ambiental	2	1		3		6	3
Salud ocupacional	2	1		1		2	1
Mercado	2	1		2		4	2
Económico	2	1		4		8	4

Total de la columna	20	10
Valor relativo	0,67	0,33

De esta forma, y por los pesos establecidos anteriormente, se observa una jerarquía definitiva para los sistemas de reciclaje del lodo propuestos:

1. Co-procesamiento en el proceso del cemento
2. Fabricación de ladrillos cerámicos

Por lo tanto según la evaluación aplicada podemos determinar que el co-procesamiento en el cemento presenta las mejores condiciones para ser implementado como alternativa de gestión del lodo, ya sea en el corto a mediano plazo.

5.4 Análisis de los sistemas propuestos para la reutilización y el reciclaje del lodo en la industria de la construcción local

En esta etapa de comprobación de viabilidad fueron analizadas las variables antes mencionadas, para cada una de las propuestas de disposición final, a través de un sistema de reciclaje. Se consideraron sólo a las industrias, que fueron identificadas para la región metropolitana, y que fabrican los materiales estudiados como propuesta. Este análisis permitió visualizar un escenario futuro, que en este caso es teórico, para una posible puesta en marcha de la iniciativa como una nueva forma de disposición final del lodo.

5.4.1 Variables técnicas

a) Industria del cemento

Por sus características, el proceso industrial del cemento, está siendo usado para disponer distintos tipos de residuos. En la actualidad, la industria dedicada a la elaboración del cemento en Chile está utilizando esta modalidad. La empresa Polpaico, que fue evaluada en la etapa anterior se encuentra realizando co-procesamiento de residuos.

Ahora, en el caso particular del co-procesamiento del lodo, existen ciertas condiciones, como la humedad presente en el lodo, que deberán tomarse en consideración para su correcta aplicación, ya que dificultan su traslado y manejo para la introducción en los hornos cementeros. Pero también es importante mencionar, que su contenido orgánico tiene potencial combustible, por lo que es ideal para ser parte del proceso.

En resumen, tabla 5.26, se puede mencionar las oportunidades y las amenazas de la propuesta en su variable técnica.

b) Industria del ladrillo cerámico

Esta industria presenta condiciones similares al proceso del cemento, trabajando con altas temperaturas, pero se diferencia en el rango de temperatura que alcanza, que fluctúa en el interior del horno, desde 250° C a un máximo de 1100° C.

La materia prima que se utiliza para fabricar ladrillos es la arcilla, la cual comparada con la porción inorgánica del lodo tiene características similares. Pero su porción orgánica, es la que presenta discusiones, ya que puede interferir en la calidad del producto final.

Por otra parte su humedad también dificultaría su traslado y manejo, pero permitiría obtener otras ventajas.

c) Industria áridos livianos artificiales

Como se estableció, la industria de áridos livianos artificiales, no está desarrollada en el país.

Según los procesos por los cuales se fabrica este tipo de árido liviano, también corresponde a proceso térmico de altas temperaturas, conocido como sinterizado. Una de las características del lodo que pueden limitar su aplicación es su humedad, pero el resto de sus características no interferiría en el proceso, ya que, por ejemplo el contenido de materia orgánica sería combustible y la vez al ser consumida dejaría los espacios en el árido, aumentando su porosidad y densidad, otorgándole la característica de liviano. Los metales presentes se cristalizarían en el interior del árido.

En la tabla 5.24 se realizó un análisis FODA para la variable técnica en cada uno de los sistemas propuestos.

TABLA 5.24 Análisis FODA Variable técnica, para lodo mediante su reutilización y reciclaje en procesos de materiales constructivos propuestos

Variables técnicas para los Sistemas Propuestos		
	Fortalezas	Oportunidades
Co-procesamiento en la industria del cemento Empresa Polpaico	<p>Temperaturas, desde 1500°C a los 2000°C</p> <p>Alto tiempo de residencia en el horno, permiten que los gases se oxiden totalmente</p> <p>Cuentan con filtros que capturan los gases producidos en su combustión</p> <p>Las cenizas de los lodos serán parte del clinker, sin alterar sus características</p>	<p>Posible alternativa disposición para el lodo</p> <p>Destrucción total de residuo</p> <p>Combustible sustituto</p>
Fabricación de Ladrillos Cerámicos	<p>Presenta altas temperaturas, desde 250° C a 1100° C</p> <p>Tecnología de avanzada y controlada, en la elaboración del ladrillo.</p>	<p>Posible alternativa disposición para el lodo</p> <p>Ceramización del residuo</p>
Fabricación de áridos livianos	<p>Proceso en Altas temperaturas</p>	<p>Posible alternativa disposición para el lodo</p> <p>Encapsulamiento del residuo</p> <p>Materia prima para el producto a fabricar y puede considerarse como combustible</p>

(Continuación de la Tabla 5.24)

Variables técnicas para los Sistemas Propuestos		
	Debilidades	Amenazas
Co-procesamiento en la industria del cemento Empresa Polpaico	Capacidad de recepción del volumen de lodo	Control de características de los lodos antes de ingresar a los hornos, como su humedad La existencia de otros residuos que pueden ser co-procesados, y que puede ser preferidos antes que los lodos
Fabricación de Ladrillos Cerámicos	Falta de tecnología de control de gases Capacidad de recepción del volumen de lodo	La adición del lodo puede interferir en la calidad del producto final Desinformación y negativa a innovar por parte de la industria
Fabricación de áridos livianos	Industria no desarrollada No existe infraestructura	Otros alternativas de disposición final, factibles de usar el residuo

5.4.2 Variables ambientales

a) Industria del cemento

Del punto de vista del proceso, las variables ambientales se encuentran controladas. El caso de las emisiones gaseosas no presenta riesgo, ya que la empresa Polpaico cuenta con la tecnología suficiente para controlarlos. Además ésta realizaría el co-procesamiento del residuo bajo la norma de calidad ambiental ISO 14000, garantizando aun más el control de las variables ambientales que puedan verse afectadas por la introducción del lodo. Por otra parte las cenizas del lodo que quedan después de su

incineración, son mezcladas con el clinker, por lo que el lodo desaparece completamente. Ahora, desde el punto de vista ambiental, el sistema propuesto para recuperar las características del lodo garantiza su eliminación total y segura; aprovechándolo al máximo.

b) Industria del ladrillo

Del punto de vista del proceso, la preocupación por las emisiones que puedan producir los lodos al ser quemados en el proceso de cocción del ladrillo, es importante tenerla presente, ya que si la industria no cuenta con respectivos filtros para controlar dicha emisiones, su aplicación mediante este sistema propuesto no sería viable ambientalmente. Ahora, del punto de vista global del sistema de reciclaje propuesto, presenta indiscutibles ventajas en comparación con otras modalidades de disposición actualmente en uso, ya que el lodo podría ser valorado como subproducto, resultando atractivo para el generador. Por otra parte su confinamiento en la estructura sería segura en el tiempo y no contaminante.

c) Industria áridos livianos artificiales

Sin una industria establecida, que se dedique a la elaboración de áridos livianos artificiales, es difícil determinar los aspectos ambientales que puedan incidir en una posible contaminación. En el caso en que se garantice un proceso seguro con filtros para capturar los gases, se podrá controlar las emisiones que preocupan de utilización. Desde el punto de vista del sistema de reciclaje del lodo propuesto, este se percibiría como positivo ambientalmente, ya que al igual que las alternativas anteriores, el residuo se confinaría de forma segura, pudiendo ser requerido de manera sostenible en el tiempo. En la tabla 5.25 se realizó un análisis FODA para la variable ambiental para cada uno de los sistemas propuestos.

TABLA 5.25 Análisis FODA Variable Ambiental, para el lodo mediante su reutilización y reciclaje en procesos de materiales constructivos propuestos

Variable Ambiental para los Sistemas Propuesto				
	Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
Co-procesamiento en la industria del cemento Empresa Polpaico	Sistema de gestión ISO 14000 Control ambiental en sus procesos	Disposición segura del residuo Menor de consumo de combustibles fósiles		Regulación mas exigente
Fabricación de Ladrillos Cerámicos	Control ambiental en su proceso	Disposición segura del residuo Menor impacto por extracción de mineral en canteras	Contaminación por control de gases	Regulación mas exigente
Fabricación de áridos livianos		Disposición segura del residuo Menor impacto por extracción de mineral en canteras		Regulación mas exigente

5.4.3 Variables económicas

a) Industria del cemento

El co-procesamiento de residuos implica inversión en una nueva infraestructura que permita el acondicionamiento del residuo para ser introducido en el proceso. En este sentido la industria del cemento se encuentra adelantada, ya que en el caso de la empresa Polpaico, posee una plataforma de residuos, para su gestión y la comercialización del servicio. Ahora, las empresas productoras de cemento consideran al co-

procesamiento de residuos como un servicio, con lo cual el generador de éste deberá cancelar un valor por su disposición mediante esta vía.

En el caso particular del lodo, su disposición mediante esta vía, económicamente debería representar costos menores para su generador, en comparación con las actuales vías de disposición, para que se transforme en una medida atractiva y aplicable.

b) Industria del ladrillo cerámico

Al aplicar el lodo en el proceso de fabricación de ladrillos requerirá una fuerte inversión, ya que esta industria no considera sus procesos, como medida para gestionar residuos. Distinto el caso de los residuos de aserrín, que ellos reciben sin ningún interés comercial, aunque sí percibe beneficios económicos en menores gastos de combustible. Las inversiones se relacionan principalmente a la adecuación de sus filtros para evitar riesgos de contaminación atmosférica. Especificar los costos en la implementación del lodo, requerirá una evaluación mas detallada.

c) Industria áridos livianos artificiales

En este caso es más complicado establecer su viabilidad económica, ya que la implementación en si de esta industria implica un estudio económico mas detallado, como sistema de reciclaje para el lodo.

En la tabla 5.26 se realizó un análisis FODA para la variable económica en cada uno de los sistemas propuestos para la disposición final del lodo.

TABLA 5.26 Análisis FODA Variable Económica, para lodo mediante su reutilización y reciclaje en procesos de materiales constructivos propuestos.

Variable Económica para los Sistemas Propuestos				
	Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
Co-procesamiento en la industria del cemento Empresa Polpaico	Plataforma de gestión de residuos Inversión ya realizada	Se reconoce posible capacidad combustible Menor costo en disposición para el generador del lodo		Distancia en el transporte del lodo
Fabricación de Ladrillos Cerámicos		Menor costo de producción.* Menor costo en la disposición para el lodo.	Inversión por realizar	Distancia en el transporte del lodo
Fabricación de áridos livianos		Menor costo en la disposición para el lodo.	Inversión por realizar	Distancia en el transporte del lodo

* Esto es sólo una suposición por otras experiencias realizadas, comprobable en la práctica.

6. DISCUSIÓN

Existen razones que explican la búsqueda de nuevas alternativas para la gestión del lodo producido en las plantas de tratamiento de aguas residuales, entre ellas se puede mencionar a la escasez de terrenos para el emplazamiento de rellenos sanitarios; “la negativa de los usuarios, cuando estos son transformados en recuperadores de suelo” (Alleman y Berman, 1984); o la búsqueda de métodos de menor costo, dándole un valor al lodo. En los últimos años se ha empezado a estudiar la incorporación del lodo a materiales de la construcción, con el fin de poder entregarle un valor agregado, aprovechando sus características físicas y químicas. Los materiales constructivos utilizados son: asfaltos, cementos, áridos artificiales, ladrillos cerámicos (Alleman y Berman, 1984). Además, estas aplicaciones, están siendo investigadas para demostrar la capacidad de esta industria como consumidora de este residuo, con la finalidad de disminuir su consumo de materias primas naturales y demostrar que pueden implementar el concepto de desarrollo sustentable en sus procesos industriales (Tay y Show, 2002), lo que entrega indicios de que existe un interés y un potencial manejo y disposición final para el lodo. El objetivo de este trabajo fue estudiar la ampliación de las formas de manejo del lodo, debido su creciente producción en la ciudad de Santiago, 200 mil toneladas al año en promedio (Aguas Andinas, 2000), mediante la posibilidad de emplear este subproducto en la elaboración de materiales de la construcción, y en especial identificar la potencialidad de las industrias que se ubican en la región metropolitana. Los materiales de la construcción sondeados fueron: el co-procesamiento en la fabricación del cemento, fabricación de ladrillos y fabricación de áridos artificiales.

Se estableció que existen 2 plantas de tratamiento de aguas residuales, para la ciudad de Santiago, con una producción de lodos de 90 ton/día, en el Trebal, y de 160 ton/día, en la Farfana, su disposición final se realiza en un monorelleno. Pero se espera su valorización como abono agrícola para el

mediano plazo (Arata, 2003). Hasta el momento son las únicas formas de disponer el residuo evidenciando que en el futuro serán poco eficientes.

Para estudiar nuevas proposiciones fue necesario conocer una caracterización del lodo, y se identificaron cuáles podrían interferir en su nueva forma de disposición en los materiales constructivos. Uno de los factores que interferirían en su manejo, es su humedad, ya que no hay un valor estable, variando según la época del año, alcanzando en verano valores de 10 a 15 % de humedad y en invierno valores cercanos al 50 % (Arata, 2003). Para los sistemas propuestos este factor puede significar la aplicación de un secado para el lodo, antes de introducirlo al proceso de elaboración de los materiales evaluados, incurriendo en costos extras, no cuantificados para el desarrollo normal de cada proceso. Además de dificultar y encarecer su traslado. Para la elaboración de ladrillos cerámicos y el co-procesamiento en la fabricación del cemento, este valor debería ser bajo, entre 10 a un 20 % (Alleman y Berman, 1984).

La caracterización química de los lodos, muestra la presencia de materia orgánica, N_xO_x , P_xO_x , K_xO_x , MgO, CaO, Cu, Zn, Fe, Ni, Cd, Hg, Pb, entre otros. Los cuales, del punto de vista técnico, no representan un problema, ya que el proceso térmico permite la cristalización de los metales en las cenizas y posterior encapsulamiento en matriz del producto (Werther, y Ogada, 1999) y la materia orgánica se consumiría como combustible (Alleman y Berman, 1984; Elías, 2000; Tay y Show, 2002). Esta última característica se presenta como una ventaja, ya que según la cantidad empleada de lodo, puede disminuir el consumo de combustibles tradicionales (Werther, y Ogada, 1999). Del punto de vista ambiental la disposición del lodo mediante esta vía representa una forma segura para disponerlos, ya que estos compuestos no quedarán bio-disponibles y confinados en el interior de cada uno de los materiales.

Por las características propias del proceso térmico se generaran gases, de los cuales destacan NO_x , SO_x , C_xH_x , CO_x , estos se liberan dependiendo de la temperatura del proceso (Werther, y Ogada, 1999), en este sentido será

importante controlar estas emisiones producidas en una posible aplicación del lodo en los procesos estudiados.

Biológicamente los lodos se encuentran estables, después de pasar por digestores anaeróbicos (Aguas Andinas, 2000), por lo que técnicamente este factor no influiría en los procesos evaluados. Al contrario al ser sometido en los procesos propuestos se conseguirá la destrucción total de los microorganismos, si es que aun persistieran.

Para los materiales propuestos e identificados en la región metropolitana se pudo determinar las principales condiciones para el desarrollar investigación en la utilización del lodo en sus procesos.

- Co-procesamiento en la fabricación del cemento, Empresa de Cemento Polpaico:

Desde el punto de vista del proceso de fabricación del cemento, técnicamente posee ventajas para la gestión de residuos, ya que trabaja a temperaturas superiores a los 1450°C y 2000°C, neutralizando los contaminantes, las cenizas producidas son incorporadas al clinker, por lo que no se generarían residuos posteriores (Reyes y Valenzuela, 2004).

Del punto de vista del lodo, técnicamente presenta ventajas como la presencia de materia orgánica (introducido en el horno puede ser aprovechado como combustible sustituto) y sus cenizas que pasarán a formar parte del clinker, no presentando alteraciones en el producto final (Tay y Show, 2002).

Ambientalmente se reconoce en la evaluación, que en la aplicación del lodo en el proceso, la mayor preocupación es la generación de emisiones gaseosas, las cuales son propias del proceso de elaboración del cemento. Estos gases son capturados, a través de precipitadores electrostáticos, y aglutinados en las cenizas, estas son mezcladas con el crudo para formar el

clinker (Reyes y Valenzuela, 2004). Además en el caso particular de la empresa evaluada el proyecto se desarrollaría bajo el estándar de ISO 14000 para gestión ambiental e ISO 9000 para gestión de calidad.

La gestión del lodo mediante esta vía constituye ventajas, del punto vista de aceptación del mercado y en términos económicos, tanto para el generador del residuo; quien considerará esta vía como alternativa para su disposición final, como para la industria productora de cemento; quien aprovechará su capacidad de prestar un servicio con el aprovechamiento de las características combustible del residuo. En los últimos años se ha incrementado el uso de co-procesamiento para la gestión de residuos destacando sus beneficios ambientales y de ahorro de costos en producción (Naik, 2002).

Existen otros factores que pueden beneficiar la gestión del lodo mediante el co-procesamiento del cemento, estos no son cuantificables en este estudio, debido a que requieren mayor nivel de detalle.

- Elaboración de áridos artificiales:

La elaboración de áridos se ha desarrollado recientemente, existen experiencias de su elaboración a partir de cenizas volantes, de hornos de plantas termoeléctricas (Videla y Martínez, 2002), escorias de fundición y también de cenizas de lodos incinerados (Tay y Show, 1997). A nivel local no existe desarrollo de este tipo de industria. Por lo que la evaluación se llevó a cabo mediante la comparación con la experiencia de elaboración de áridos artificiales a partir de cenizas volantes, mediante su peletización y posterior proceso térmico en frío (Videla y Martínez, 2002).

Las experiencias que utilizan lodos, ya sea en forma de cenizas o lodos en mezcla con arcillas, utilizan el proceso térmico para su cocción, obteniendo de esta forma las cualidades requeridas para los áridos livianos artificiales

(Tay y Show, 1997). En este sentido, y al igual que el co-procesamiento de elaboración del cemento, que es un proceso que utiliza altas temperaturas, técnicamente la aplicación del lodo para la elaboración de áridos livianos artificiales podría ocupar las cualidades del lodo, como la presencia de compuestos orgánicos (Elías, 2000). Lo que además sería beneficioso ambientalmente, confinado al residuo de forma segura.

En términos de impacto ambiental existe el riesgo de generación de gases por su combustión, pero se podría proponer la técnica del proceso térmico en frío utilizada por Videla y Martínez (2002), con lo cual no se generarían gases propios de la combustión, salvo material particulado producido por su manipulación.

La elaboración de este tipo de materiales, en términos económicos, puede significar una gran inversión inicial, pero aún no se puede cuantificar los beneficios que puede significar su aplicación, ya que se reconocen de los áridos livianos artificiales que pueden mejorar las características de las estructuras, haciéndolas más livianas y con mejores condiciones al aislamiento térmico y acústico (Elías, 2000), lo que su elaboración puede traer otros beneficios a los materiales constructivos de mejor valor.

Para la evaluación de mercado, la idea de gestionar el lodo por esta vía, presenta buenas perspectivas a largo plazo, debido a que habrá una demanda por este tipo de productos en el futuro, y además las reservas naturales, de áridos livianos en Chile son escasas. Por lo que su gestión, a través de la elaboración de áridos livianos artificiales representa una medida a ser investigada (comunicación personal Patricia Martínez, Universidad de Valparaíso).

- Fabricación de ladrillos cerámicos:

Estudios han demostrado que pueden fabricarse ladrillos a partir de la mezcla arcilla + lodo seco (Alleman y Berman, 1984; Tay y Show, 2002), y de la mezcla arcilla + cenizas de los lodos incinerados (Tay y Show, 2002). La realidad de nuestro país no permite evaluar la segunda aplicación, ya que no existen incineradores de residuos, tipo lodo, por lo que la evaluación sólo considera la aplicación del lodo en forma directa para la fabricación del ladrillo.

El proceso que permite la elaboración del ladrillo cerámico, corresponde a un proceso térmico, con temperaturas entre 800 y 1200 ° C, condiciones similares al co-procesamiento del cemento y elaboración de áridos artificiales, por lo que la aplicación del lodo, en la mezcla, para formar el ladrillo sería beneficioso aprovechándose sus características combustibles.

Para comprobar la viabilidad técnica del producto terminado, se realizaron pruebas bajo las normas que regulan la calidad del ladrillo cerámico. En Estados Unidos fue bajo las normas ASTM C67, una vez aplicadas se comprobó su factibilidad (Alleman y Berman, 1984), en Sigapore se utilizaron las British Standard, BS 3921 (Tay y Show, 2002), en este caso también se demostró su factibilidad. La aplicación del lodo en Chile debería cumplir con la Norma Chilena 167 y 169, que regulan la calidad de este producto, para poder calificar positivamente la factibilidad de este nuevo producto. Si se confirma su factibilidad, el residuo quedaría completamente confinado en la matriz del ladrillo, por lo que ambientalmente representaría una disposición final segura para los lodos. Por otra parte, su utilización, reemplazaría un porción de la materia prima del ladrillo, arcilla, evitando el impacto que se produce por la extracción de esta material en canteras (Tay y Show, 2002). Por ejemplo al reemplazar un 15% del volumen de cada ladrillo con el lodo, que es igual a 465 gramos de arcilla, se estima que podría reemplazarse 55.800 toneladas de arcillas por lodo. Lo que desde el punto de vista de la

producción de lodo, cercana a 200 mil toneladas, representaría un 27% que sería de eliminado mediante esta alternativa de disposición final.

Ahora, se reconocen ventajas en términos económicos, ya que implicaría una reducción del combustible utilizado en la cocción del ladrillo (Alleman y Berman, 1984), pero a nivel local existe desconfianza para avalar esta condición. En este sentido se esperaría estudiar de forma mas detallada su aplicación para dilucidar dudas y comprobar su potencialidad como medida para la gestión del lodo (comunicación personal con Alejandro Ossa, Ladrillos Princesa).

En la actualidad, sólo el co-procesamiento en la elaboración del cemento, está en etapa de prueba para comprobar las ventajas que tiene el manejo y disposición final del lodo a través de procesos térmicos, lo que indica que existe un interés por parte de la industria cementera, en este caso Empresa de Cementos Polpaico. Faltando por confirmar que las otras industrias identificadas como posibles consumidoras del lodo, en la región metropolitana, prueben diversificar sus requerimientos aceptando al residuo.

Por otra parte el generador del lodo, en este caso Aguas Andinas, tiene la responsabilidad y deberá ampliar las medidas de manejo y disposición para su residuo, debido a su constante aumento y las nuevas exigencias ambientales para su disposición final.

La industria de la construcción, es considerada como un gran sector de la economía chilena, consumiendo una gran cantidad de recursos naturales (Martínez, 2003), lo que le entrega todas las cualidades para ser un receptor de residuos (John, 2000), permitiendo reemplazar su gran demanda de recursos naturales, y haciéndolas participe en los esfuerzos de conservación para un desarrollo sustentable para su industria (Martínez, 2003; Naik, 2002). Considerando lo anterior, y a partir de la evaluación y análisis de las propuestas para la reutilización y reciclaje del lodo podemos decir que es

posible utilizar esta vía para la disposición final del lodo, además, en este caso asegurar que su Co-procesamiento en la fabricación del cemento, por sus características analizadas, sería la forma mas viable de ser desarrollada en el corto plazo. La Elaboración de áridos livianos artificiales y la Fabricación de ladrillos cerámicos deberán estudiarse más detalladamente para comprobar su viabilidad, en primera instancia a través de ensayo y pruebas de laboratorio, pero por lo determinado en su análisis de pre-factibilidad poseen potencial para gestionar el lodo por la vía del reciclaje en sus procesos.

En general, todos los sistemas propuestos, presentan la oportunidad de negocio, como el principal estímulo que permitiría un desarrollo de este tipo de iniciativa. Por lo que su gestión será concebida como un servicio pagado, por los generadores. Finalmente es necesario señalar que la reutilización o el reciclaje de los lodos provenientes de las aguas residuales en materiales de la construcción, se podría convertir en una alternativa viable, que en conjunto con las ya existentes, para solucionar el problema de su disposición final. Siendo ésta una forma productiva de re-utilizarlo y no como una simple forma de disposición final, cambiando el concepto de “residuo”, y comenzar a ser percibido como un subproducto.

7. CONCLUSION

- Según la descripción del estado actual del lodo se concluyó que su producción crecerá con los años, debido a la implementación de nuevas plantas de tratamiento. De sus características se destaca que los parámetros de interés ambiental se encuentran controlados, según el preproyecto de la norma para la disposición y uso de lodos no peligrosos.
- Según la identificación de industrias que podrían reciclar el lodo en sus procesos, la región metropolitana cuenta con las necesarias de las cuales se consideró al Co-procesamiento en la industria del cemento; la fabricación de ladrillos cerámicos y la fabricación de áridos artificiales.
- Según la evaluación de las industrias identificadas para el reciclaje del lodo en la región metropolitana se pudo determinar de las tres alternativas evaluadas el Co-procesamiento en el cemento fue el más aventajado, seguido de la fabricación de ladrillos cerámicos. La alternativa fabricación de áridos livianos no fue considerada en la evaluación, ya que se encuentra en desventajas notables con las otras alternativas, al estar establecida y desarrollada como industria.
- Según un análisis global de las alternativas propuestas para el reciclaje del lodo, a través del análisis FODA, la alternativa con mayor número de fortalezas y oportunidades fue el Co-procesamiento en la industria del cemento, en el ámbito técnico, ambiental y económico.

Por lo tanto, existe una posibilidad para la gestión y disposición final del lodo de plantas de tratamiento de la ciudad de Santiago en la industria de la construcción, pudiendo incorporarse en el proceso de fabricación del cemento, o fabricación de ladrillos cerámicos. Siendo el co-procesamiento en la producción del cemento, la que presenta las mejores condiciones actuales, para la gestión del lodo provenientes de la plantas de tratamiento de la ciudad de Santiago.

En el caso de la fabricación de ladrillos cerámicos y la elaboración de áridos livianos artificiales, podrían considerarse para una posterior investigación y desarrollo del manejo y disposición final del lodo, ya que presenta condiciones favorables y experiencias que avalan el uso en estas industrias.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

Aguas Andinas, 2000. Informe final: **Estudio de impacto ambiental planta de tratamiento de aguas servidas la Farfana.**

Aguas Andinas, 1997. Informe final: **Estudio de impacto ambiental planta de tratamiento de aguas servidas Santiago sur, El trebal.**

Allsopp M; Costner P; Johnston P, 2001. Incineración Y Salud. Greenpeace Internacional. Septiembre. [On Line].

<www.greenpeace.org> (consultada, enero 2004)

Arata Paola; Garcés Juan; et al, 2003; **Evaluación de la calidad del lodo proveniente de la planta de aguas residuales el trebal y su uso agrícola.** XV congreso de ingeniería sanitaria y ambiental AIDIS- Chile. Octubre.

Alleman, James E; Berman, Neil A; 1984; **“Constructive Sludge Management: Biobrick”**. Journal of Environmental Engineering, Vol. 110, (No. 2, March/April 1984), pp. 301-311.

Bontoux, Iarent; Vega, Miguel; Ppapameletiou, Demóstenes, 1998; **“Tratamiento de las aguas residuales urbanas en Europa: el problema de los lodos”**. The IPTS Report, [On Line]. Vol 23, <<http://www.jrc.es/home/report> > (consultada: 15 de noviembre de 2003)

Borsi H, Carlos, 1996; **“La vitroceraización de residuos peligrosos y su alternativa económica”**. Revista Gerencia Ambiental; Número 27 - Sep/1996.

Cassius Harris, 2001; Recycling: **Water Treatment By-Products May Be Used in Ceramics**; Civil Engineering—ASCE, [On Line] Vol. 71, N°. 12, pg. 26.

< <http://www.pubs.asce.org/cedbsrch.html>> (consultada: 5 de noviembre de 2003)

Chamy, Rolando; Poirrier, Paola, 1996. **El camino de los lodos**. Revista Induambiente, Vol. 4: (N° 21); paginas 40-46.

Cortes Cádiz, E. 2003. **Fundamento de ingeniería para el tratamiento de biosolidos por generados por la depuración de aguas servidas de la región metropolitana**. Universidad de Chile. Santiago. Tesis para optar al título de Ingeniero Civil Químico.

CONAMA, 2000. **Política nacional sobre Gestión Integral de los Residuos**, Noviembre.

Elías, Xavier, 2000; **Tecnologías avanzadas para la valorización de residuos y subproductos industriales**, CNPMLTA, EIA, UPB, Mayo.

Espíndola Chávez, K. 2001; **Propuesta técnica y económica alternativas de disposición de lodos**, Universidad de Santiago de Chile. Santiago. Tesis para optar al grado de Ingeniero de Ejecución Ambiental.

IMasD, Departamento Medio Ambiente, 1998; Balance del saneamiento de aguas. [On Line] <<http://imasd-tecnologia.com/imasd/feb98/9802ma3.htm>>.

Inda Julio, 1999; **Gestión y clasificación de residuos líquidos y metodologías para los monitoreos en emisarios submarinos**; Universidad católica del norte. Departamento de biología marina.

John, Vanderley; 2000. **Reciclaje de residuos en la construcción civil, contribución para una propuesta metodológica**, Escuela politécnica Universidad de Sao Paulo. Sao Paulo. Tesis para optar al grado de libre docente, departamento de ingeniería y construcción civil.

Knight Piesold. S. A. Ingenieros Consultores. CONAMA, 1998. **Caracterización, reutilización, tratamiento y disposición final de lodos provenientes de plantas de tratamiento, para la elaboración de una propuesta de normas técnicas de manejo.**

Marambio, C; Ortega, R; 2002; **“Uso potencial de lodos derivados del tratamiento de aguas servidas en la producción de cultivos en Chile”**. Revista Agronomía Y Forestal UC, Pág. 20-23.

Martínez, Patricia. 2003. **Rol de la industria de la construcción en el desarrollo sustentable** Revista Ambiente y Desarrollo. Vol. XIX N° 1 Primer trimestre.

Metcalf & Eddy; 1995; **Ingeniería de las aguas residuales**; Madrid; McGraw-Hill.

Naik T, 2002; **The role and combustion by-products in sustainable construction material**. Proceeding of international conference held at the University of Dundee, Scotland, UK.

Okuno Nagaharu, Takahashi Shiro; 1997; **Full scale application of manufacturing bricks from sewage**. Water science & technology. Vol 36, N° 11, pag: 243-250.

Resolución exenta N° 564, 2003. **Proyecto ampliación del uso de combustibles de sustitución y materias primas alternativas en planta cerro blanco**. Empresas Cementos Polpaico.

Reyes C; Valenzuela R; 2004; **Uso de suelo contaminado como material prima alternativa en la industria cementera: análisis técnico**. Tesis para optar al título de Ingeniero Ambiental. Universidad de Valparaíso.

SISS, 2003; Revista del consumidor, suplemento aguas claras, Octubre

Show, Kuan-Yeow; Tay, Joo-Hwa; 1997; **Resource recovery of Sludge as a building and construction material – A future trend in Sludge management**; Water Science & Technology, Sludge Rheology and Sludge Management. Vol. 36, N° 11, pp 259-266.

Show, Kuan-Yeow; Tay, Joo-Hwa; 2002; **Constructive Approach Sludge Management-New Resource from Sludge**. Division of Environmental & Water Engineering, School of Civil and Environmental Engineering. Nanyang Technology University. Republic Of Singapore. [On line].

<<http://www.must.edu.my/pdf/drshow.pdf>> (consultada: 7 de noviembre de 2003)

United States Environmental Protection Agency, 1999; **Solid waste and emergency response; biosolids generation, use, and disposal in the United States**. U.S. EPA 40 CFR 503,

Videla, C; Martinez, P, 2002. **Fly Ash Lightweight Aggregates for Sustainable Concrete Construction**. Proceeding of international conference held at the University of Dundee, Scotland, UK.

Weisse, M. 2004. **Recuperación de la Industria del cemento**. Revista Minería Chilena; Año 24, N° 279, Septiembre.

Werther, J. Ogada, T. 1999; **Sewage Sludge Combustion**. Progress in energy and combustion science, N ° 25, Pag 55 – 116,

Zordan, Sergio. 2003; **Metodologia de avaliacao do potencial de reciclagem de residuos..** Tese (Doitorado) Escuela Politécnica, Universidad de Sao Paulo.

ANEXOS

Anexo 1:

Metodología de evaluación del potencial de reciclaje de residuos (Zordan, 2003)

Introducción

En modelo actual de producción utiliza gran cantidad materias primas no renovables de origen natural generando gran cantidad de residuos, ya sea en bienes de consumo durable y no durable. Esta generación de residuos es y será una acción necesaria con el actual desarrollo económico, por lo que su disminución o el reaprovechamiento, del los mismo residuos, puede convertirse en una herramienta para el enfrentar este problema ambiental. Esto es lo que se conoce como reciclaje.

El reciclaje, como cualquier otra actividad humana, puede causar impactos al medio ambiente. Variables como el tipo de residuo, las tecnologías empleadas, que se utilicen en la propuesta para un material reciclado, pueden convertir al proceso de reciclaje más impactante que el propio residuo. También el proceso de reciclaje producirá residuos que a la vez deberán ser dispuestos.

Es por ésto que se ha diseñado una metodología que permita identificar, a través de investigación y desarrollo de nuevos materiales o productos a partir de residuos, los impactos y cambios producidos en el reciclaje del residuo. Por lo que se han definido los siguientes parámetros que permitan seleccionar la alternativa más viable para ser investigada y desarrollada. Para lo cual se debe seguir lo siguiente.

- 1) Elaboración de un resumen con las características más relevantes del residuo en estudio. En este caso anexo 1. A.
- 2) Realización de entrevistas, con expertos de las industrias para identificar el potencial de reciclaje de residuos en sus procesos.
- 3) Evaluación de las industrias evaluadas, a través de consulta de expertos. Donde serán evaluados los siguientes parámetros, ordenados

en un formulario, ver Anexo 1. B, para cada uno de los aspectos, y estos son:

- a. Interés por el residuo: según el tipo de residuo, se identificará la capacidad o el interés de la industria de recibir el residuo estudiado. Se presentó la caracterización físico-química del residuo, como antecedente preliminar (Anexo 1. A).
- b. Análisis técnico: este aspecto se identificó las características positivas y negativas de la aplicación del residuo en cada una de las industrias evaluadas para el reciclaje.
- c. Análisis ambiental: este aspecto evaluó los procesos que puede ser susceptibles de sufrir cambios, cada uno relacionado con un impacto posible o su desempeño ambiental, al momento de incorporar el residuo al proceso productivo

- Criterios de evaluación.

La cuantificación de los impactos ambientales sigue las siguientes premisas (Zordan, 2003):

- **El impacto ambiental total generado por un sistema de reciclaje**, es equivalente a la suma de los impactos generados por cada aspecto ambiental del sistema.
- **El potencial de generación del impacto por el sistema**, es directamente proporcional al potencial de ocurrencia del aspecto y la importancia del aspecto para el medio ambiente.
- Y, **la importancia de cada aspecto para el medio ambiente** es equivalente la suma de la importancia de los aspectos generados por él.

Los cambios considerados como críticos, desde el punto de vista ambiental, en un proceso de reciclaje se muestran en la tabla 1.2, según Zordan (2003), y estos fueron los evaluados para este análisis ambiental.

Tabla 1.2. Aspectos que varían en un proceso de reciclaje

Consumo de agua	Generación emisiones
Consumo de energía	Generación de residuos sólidos
Consumo de combustible	Generación de ruido
Consumo de materia prima	Contaminación por lixiviación
Generación de efluentes	Transporte del residuo

- Escala de valoración.

Cada aspecto ambiental fue valorado a través de la escala expuesta en la tabla 1.3. Entregando su evaluación del potencial de ocurrencia para cada aspecto ambiental en la incorporación del lodo para cada uno de sus procesos.

TABLA 1.3. Escala de valoración para los aspectos ambientales

Comportamiento del aspecto ambiental	Valor atribuido
Aspecto disminuye considerablemente	- 5
Aspecto disminuye	- 3
Aspecto permanece prácticamente igual	0
Aspecto aumenta	3
Aspecto aumenta considerablemente	5

La importancia para cada aspecto, que permite calcular el potencial de generación de un impacto al ambiente, fue calculado para efectos de este trabajo en el Anexo 2, donde se desarrolló la metodología de evolución de impacto ambiental.

c. Salud ocupacional: este aspecto solo se identificó la ocurrencia de eventuales cambios en el ambiente de trabajo, que puedan poner en peligro e impacte en la salud de los trabajadores, con la implementación del reciclaje del residuo en cada una de las alternativas evaluadas.

- Criterios de evaluación.

Para dimensionar los impactos a la salud humana se pueden seguir los siguientes pasos:

- Clasificación de **las actividades del sistema de reciclaje** dentro de las fronteras establecidas para un análisis de riesgo.
- Identificación de **los peligros significativos** relacionados con cada actividad, considerando los posibles perjudicados y la forma de cómo pueden ocurrir.
- Determinación de **grado de riesgo**, estimación del riesgo asociado con cada peligro.

Se consideraron las siguientes actividades en un sistema de reciclaje, que pueden causar peligro potencial para la salud humana, tabla 1.4, según Zordan (2003):

Tabla 1.4. Actividades evaluadas para el análisis ocupacional

Ruidos	Sustancias Peligrosas
Vibraciones	Esfuerzo Físico
Frío	Sustancias Insolubles
Calor	

Estas acciones fueron presentadas en el cuestionario análisis ocupacional y los expertos consultados identificaron los peligros potenciales, para cada uno de las alternativas propuestas en el reciclaje. La tabla 1.5 entrega los valores para el grado de riesgo, que es la combinación entre la probabilidad de un determinado peligro causante del daño y sus consecuencias.

TABLA 1.5 Grado de riesgo para eventuales peligros (Zordan, 2003)

Peligros	Grado de riesgo
Ruidos	4,7
Vibraciones	3,3
Frió	3,5
Calor	4,2
Esfuerzo físico intenso	3,7
Sustancias peligrosas	4,8
Sustancias lixiviables	5,0
Fuente: Zordan, 2003	

d. Análisis económico: este criterio permitió medir aspectos relacionados con costos que puedan influir en la toma de decisión en una eventual aplicación del residuo en los procesos industriales evaluados.

- Criterios de evaluación análisis económico.
 - Costos de inversión inicial.
 - Inversión en investigación y desarrollo
 - Espacio físico para las instalaciones
 - Compras de maquinas y equipamiento.
 - Costos de transporte.
 - Tipo de transporte
 - Distancia en transporte
 - Costos operacionales.
 - Mano de obra.
 - Consumo de energía y combustible
 - Consumo de materia prima.
 - Consumo de agua.
 - Costos ambientales.
 - Posibilidad de rehúso del material
 - Reciclabilidad de los residuos generados
 - Tecnología de manejo de los residuos.
 - Cantidad de residuos generados.

Para algunos puntos de esta evaluación se utilizó valores entregados en las evaluaciones anteriores a los criterios que se relacionan directamente con este aspecto.

e. Análisis de mercado: este aspecto permitió hacer una exploración, superficial, de los aspectos de mercado involucrados en cada sistema de reciclaje evaluado, a través de preguntas abiertas a los expertos, de forma de establecer la alternativa con mayor potencial. Los parámetros utilizados fueron (Zordan, 2003):

- Criterios de Evaluación análisis de mercado.
 - **Competencia con otros productos.**
 - Oferta de productos en competencia.
 - Tendencias de nuevos productos en el mercado.
 - **Innovación tecnológica.**
 - Ventajas tecnológicas de productos reciclados sobre los coincidentes.
 - Capacidad de consumidor en identificar ventajas tecnológicas.
 - **Incentivos para productos/sistemas de reciclaje.**
 - Incentivos fiscales.
 - Incentivos legales.
 - **Demanda de productos reciclados.**
 - Necesidades de productos con las características técnicas de reciclado.
 - Valorización de productos “verdes o ecológicos” por los consumidores.
 - **Aspectos del sistema productivo.**
 - Intereses industrial (industria recicladora) en reciclaje de residuos.
 - Escala productiva de sistema de reciclaje.

- Escala de valoración.

Los valores atribuidos para la valoración del mercado variaron entre 0 y 5, ordenados de forma ascendente, partiendo en 0 la peor condición, hasta 5 la mejor. Tal como lo muestra la tabla 1.6.

TABLA 1.6. Escala de valoración para los aspectos económicos

Comportamiento aspecto mercado	Valor atribuido
Peor condición	0
Condición aceptable	1
Condición intermedia	2
Condición intermedia	3
Mejor condición	4
Excelente condición	5

Los resultados obtenidos, para cada uno de los criterios evaluados, fueron generando un orden de jerarquía entre las propuestas de reciclaje.

- 4) Selección de la alternativa más viable, y a la vez sustentable, ordenando según aspectos analizados. Proponiendo un árbol de decisión, que permita entregar un peso a cada uno de los aspectos (técnico, ambiental, económico, salud ocupacional y mercado) para generar un jerarquización de las alternativas evaluadas, de forma descendente en orden de importancia, que indique la que mejores posibilidad tiene de ser investigada y desarrollada.
El árbol de decisión obedecerá a los intereses del investigador o a las condiciones que presente un eventual escenario, por lo que puede ser modificado según el interés particular un proyecto.

ANEXO 1. A: ANTECEDENTES DEL RESIDUO

1. Nombre del residuo:

Lodos provenientes de planta de tratamiento de aguas residuales

2. Tipo de residuo:

Orgánico, mineral

3. Estado del residuo:

Semi sólido, fracción sólida hasta un 65 %

4. Clasificación de residuos

Residuo no peligroso¹⁵, no inerte

5. Densidad del residuo:

Dato no disponible.

Solo Para La Fracción Sólida

6. Forma del residuo:

Granular.

7. Superficie del residuo:

Diverso.

¹⁵ Según el anteproyecto de reglamento para el manejo de lodos no peligrosos generados en plantas de tratamiento de aguas de aguas.

DATOS SOBRE EL SISTEMA DE GENERACION DEL RESIDUO.

1. Tipo de industria:

XXXXX

2. Proceso donde el residuo es generado:

XXXXX

3. Puntos críticos en el sistema de generación:

Presencia de organismos patógenos;

Presencia de contaminantes; aceites y grasas; metales pesados.

4. Media anual generada (entre las dos plantas en funcionamiento en RM):

75 mil toneladas.

5. Influencia de estacionalidad en la generación (cuantitativa):

Insignificativa.

6. Variabilidad cualitativa en la generación.

Significativa, debido a las variaciones de algunas concentraciones de distintas sustancias.

7. Forma de manejo del residuo:

Tratamiento de estabilización, disposición en mono-relleno sanitario.

8. Posibilidades de contaminación del residuo durante su manejo:

Significativa; por contenido de patógenos y algunos contaminantes persistentes.

9. Costos medio de disposición del residuo:

<i>Forma actual:</i>	<i>Disposición en vertedero</i>	<i>Costo¹⁶:</i>	<i>US\$ 20 /T</i>
<i>Alternativa:</i>	<i>Compostaje</i>	<i>Costo:</i>	<i>US\$ 25 /T</i>

¹⁶ Estimado según el cobro por tonelada en rellenos sanitarios, como las Lomas Los Colorados de KDM.

10. Interés del generador por el reciclaje del residuo:

Significativo.

11. Tendencias mundiales en sistemas productivos generadores de residuos:

Significativo.

CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO.

Característica físico-química

Parámetros % M.S	Valores		
	Mínimo	Máximo	Promedio
pH	6,3	8,3	7,3
Sólidos totales	60	90	73
Materia orgánica	30,2	48,1	40
Nitrógeno total	1,5	3,4	2,2
Anhídrido Sulfúrico	2,4	5,9	4,5
Potasio (K ₂ O)	0,3	1,2	0,6
Magnesio (MgO)	1,1	1,7	1,5
Calcio (CaO)	3,0	5,5	4,1

Fuente: Arata et al, 2003

**Contenidos de Metales
(Mg/Kg M.S)**

	Mínimo	Máximo	Promedio
Ni	30	75	64
As	6	15	13
Cd	1.1	4.4	2,3
Cr			231,7
Hg	1	3	1,6
Pb	50	70	58,2
Cu	308	545	394
Zn	1.210	1.984	1.583
Mn	374	684	520
Fe	20.693	30.157	25.897
Se	3	9	6

Fuente: Arata et al, 2003

**Caracterización complementaria
Valor teórico poder Calorífico.**

Parámetros (MJ/ Kg.)	Residuo no digerido		Residuo digeridos	
	Rango	Promedio	Rango	Promedio
Valor calorífico	13.8-20.7	17.3	10.4-12.7	11.5

Fuente: Metcalf & Eddy, 1995.

ANEXO 1. B: FORMULARIOS DE EVALUACIÓN

INTERÉS POR EL RESIDUO.

Especialista:	Área:
Empresa o institución:	Fecha:

Usos posible en el área	Aprovechamiento ¹⁷	Característica de interés

Ensayos adicionales requeridos. ¹⁸

¹⁷ Incluir % del residuo que puede ser utilizado en la forma mencionada.

¹⁸ Ensayos o test que deberán efectuarse para comprobar si el residuo realmente puede ser utilizado en el área mencionada.

ANÁLISIS TÉCNICO

Uso:

Puntos positivos	I ↓	V ↓	Observaciones.

I = Importancia para el producto final
 1: poco importante
 3: importancia media
 5: mayor importancia

V = Ventajas sobre el producto convencional
 1: prácticamente nula
 3: ventaja media
 5: mayor ventaja

Puntos negativos	D ↓	PC ↓	Observaciones.

G = gravedad
 1: pequeño
 3: medio
 5: alto

PC = potencial problema de ser controlado.
 1: prácticamente nulo
 3: medio
 5: elevado

Consideraciones:

ANÁLISIS AMBIENTAL

Cambio en el proceso	S
Consumo de agua	
Consumo de energía	
Consumo de combustible	
Consumo de materia prima	
Consumo de mano de obra	
Distancia de transporte	
Generación de emisiones	
Generación de efluentes	
Generación de residuos	
Necesidad de nuevas Máquinas	

<p>S = Situación. -5: disminuye mucho -3: disminuye 0: prácticamente igual 3: aumenta 5: aumenta mucho</p>

Puntos negativos	I	Observaciones.

<p>I = Importancia atribuida 1: baja 3: media 5: alta</p>
--

Puntos negativos	I	Observaciones.

<p>Observaciones:</p>

ANALISIS ECONOMICO.

Puntos positivos	BP ↓	Observaciones.

BP = beneficio potencial sobre el costo final
 1: significativo
 3: medianamente significativo
 5: extremadamente significativo

Puntos negativos	IF ↓	AG ↓	Observaciones.

IC = impacto costo final del producto
 1: significativo
 3: medianamente significativo
 5: extremadamente significativo

AG = costo asumido por el generador
 S: si
 N: no

Reciclador: () Pagaría por producto () Cobraría por servicio () recibiría residuos

Inversión estimativa en equipos y otros:

ANÁLISIS OCUPACIONAL.

OCURRENCIA DEL PELIGRO¹⁹.

	Nuevos proceso o actividades	Ruidos	Vibraciones	Frió	Calor	Esfuerzo físico	Sustancia a toxicas	Sustancia lixiviables
1								
2								
3								
4								
5								

ANÁLISIS DE MERCADO

(Marcar con X respuesta)

a) Competencia con otros productos.

1. Oferta de productos en competencia.
(1) una coincidencia, extremadamente significativa
(3) una coincidencia, significativa
(5) no existen coincidencia.
2. Tendencias de nuevos productos en el mercado.
(1) probable
(3) improbable
(5) altamente improbable.

b) Innovación tecnológica.

3. Ventajas tecnológicas de productos reciclados sobre los coincidentes
(1) ventajas inexistentes insignificantes
(3) ventajas significativas: _____
(5) ventajas extremadamente significativas: _____
4. Capacidad de consumidor en identificar ventajas tecnológicas
(1) potencial bajo (ej: el consumidor no tiene profesionales en el área)
(3) potencial medio (ej: el consumidor tiene profesionales en el área)
(5) potencial alto

¹⁹ Marcar solo en ocurrencia con mayor riesgo en el nuevo proceso de reciclaje (independiente quien las realice el productor o el Reciclador)

5. Desarrollo tecnológico en el mercado.
(1) muy alto
(3) medio
(5) muy bajo

c) Incentivos para productos/sistemas de reciclaje.

6. Incentivos fiscales.
(0) incentivos inexistentes
(3) existen pocos incentivos
(5) existen varios incentivos.
7. Incentivos legales.
(0) incentivos inexistentes
(3) existen pocos incentivos
(5) existen varios incentivos.

d) Demanda de productos reciclados.

8. Necesidades de productos con las características técnicas de reciclado.
(0) necesidad inexistente
(3) existe necesidad, satisfecha por productos convencionales
(5) existe necesidad, no satisfecha por otros productos
9. Valorización de productos "verdes o ecológicos" por los consumidores
(1) prácticamente insignificante o inexistente
(3) significativa
(5) extremadamente significativa.

e) Aspectos del sistema productivo.

10. Intereses industrial (industria recicladora) en reciclaje de residuos.
(1) prácticamente insignificante o inexistente
(3) significativa
(5) extremadamente significativa.
11. Escala productiva de sistema de reciclaje.
(1) pequeña escala-prácticamente manual
(3) mediana escala
(5) larga escala.

Referencia Bibliográfica

Arata Paola; Garces Juan; et al, 2003; **Evaluación de la calidad del lodo proveniente de la planta de aguas residuales el trebal y su uso agrícola.** XV congreso de ingeniería sanitaria y ambiental AIDIS- Chile. Octubre.

Metcalf & Eddy; 1995; **Ingeniería de las aguas residuales;** Madrid; McGraw-Hill. Volumen I y II.

Zordan, Sergio. 2003; **Metodologia de avaliacao do potencial de reciclagem de residuos..** Tese (Doitorado) Escuela Politécnica, Universidad de Sao Paulo.

ANEXO 2:

METODO EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

La alternativa de reciclaje de lodo de plantas de tratamiento de aguas residuales resulta muy atractiva del punto de vista ambiental, ya que incide directamente en los costos para su disposición, pero este beneficio no está ajeno a posibles impactos ambientales que se puedan producir en la incorporación de este residuo, o subproducto (desde el punto de vista del reciclaje) a dichos procesos industriales. Por lo que la valoración de los impactos con probabilidad de ocurrir es importante.

A través de las entrevistas realizadas en el transcurso de esta investigación se determinaron los cambios que se producirían en los procesos, para todas las alternativas analizadas, con la incorporación del lodo. Según la opinión de los especialistas se determinaron los puntos o aspectos más críticos de producir impactos cuantificables. Lo que no significa que sean los únicos, debiendo limitarlos por sencillez del método y por ser un estudio de previo a la ejecución las alternativas no contando con todos los antecedentes implicados, específicamente, en cada proceso.

Dichos aspectos ambientales serán evaluados y cuantificados a través del siguiente método, determinando una matriz de valorización e importancia de cada aspecto. Concluyendo sobre el impacto global del sistema de reciclaje.

1. METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN.

1.1 Criterios de evaluación.

Para la caracterización de los impactos se han empleado los criterios siguientes:

Carácter del impacto **(C)**: se refiere al efecto beneficioso (+) o perjudicial (-) de las diferentes acciones que van a incidir sobre los factores considerados.

Intensidad del impacto **(I)**: representa la cuantía o el grado de incidencia de la acción sobre el factor en el ámbito específico en que actúa.

Extensión del impacto (**EX**): se refiere al área de influencia teórica del impacto en relación con el entorno del proyecto.

Sinergia (**SI**): este criterio contempla el reforzamiento de dos o más efectos simples, pudiéndose generar efectos sucesivos y relacionados que acentúan las consecuencias del impacto analizado.

Persistencia (**PE**): refleja el tiempo en supuestamente permanecería el efecto desde su aparición.

Efecto (**EF**): se interpreta como la forma de manifestación del efecto sobre un factor como consecuencia de una acción, o lo que es lo mismo, expresa la relación causa – efecto.

Momento del impacto (**MO**): alude al tiempo que transcurre entre la acción y el comienzo del efecto sobre el factor ambiental.

Acumulación (**AC**): este criterio o atributo da idea del incremento progresivo de la manifestación del efecto cuando persiste de forma continuada o reiterada la acción que lo genera.

Recuperabilidad (**MC**): se refiere a la posibilidad de reconstrucción total o parcial del factor afectado como consecuencia del proyecto.

Reversibilidad (**RV**): hace referencia al efecto en el que la alteración puede ser asimilada por entorno (de forma medible a corto, mediano o largo plazo) debido al funcionamiento de los procesos naturales; es decir la posibilidad de retornar a las condiciones iniciales previas a la acción por medios naturales.

Periodicidad (**PR**): se refiere a la regularidad de manifestación del efecto.

La valoración cuantitativa del impacto, importancia del efecto (**IM**), se obtiene a partir de la valoración cuantitativa de los criterios explicados anteriormente y su expresión es la siguiente:

$$IM = \pm[3(I) + 2(EX) + SI + PE + EF + MO + AC + MC + RV + PR]$$

Una vez obtenida la valoración cuantitativa de la importancia del efecto se procede a la **clasificación del impacto** partiendo del análisis del rango de la variación de la mencionada importancia del efecto. Si el valor es menor o

igual que 25 se clasifica como **COMPATIBLE (CO)**, si su valor es mayor que 25 y menor o igual que 50 se clasifica como **MODERADO (M)**, cuando el valor obtenido sea mayor que 50 pero menor o igual que 75 entonces la clasificación del impacto es **SEVERO (S)**, y por último cuando se obtenga un valor mayor que 75 la clasificación que se asigna es de **CRITICO (C)**.

Para la valoración de los impactos se emplean los siguientes indicadores:

A. Carácter del impacto **(CI)**:

(+) Positivo.

(-) Negativo.

(X) Previsto, pero difícil de calificar sin estudios detallados.

B. Intensidad **(I)**:

(1) Baja.

(2) Media.

(4) Alta.

(8) Muy alta.

(12) Total

C. Extensión **(EX)**:

(1) Puntual.

(2) Parcial.

(4) Extenso.

(8) Total.

(+4) Crítico. (El impacto se produce en una situación crítica; se atribuye un valor de +4 por encima del valor que le correspondía)

D. Sinergia **(SI)**:

(1) No sinérgico

(2) Sinérgico

(4) Muy sinérgico

E. Persistencia **(PE)**:

(1) Fugaz. (< 1 año).

(2) Temporal. (de 1 a 10 años).

(4) Permanente. (> 10 años).

F. Efecto **(EF)**:

(D) Directo o primario.

(I) Indirecto o secundario.

G. Momento del impacto **(MO)**:

(1) Largo plazo.

(2) Mediano Plazo.

(4) Corto Plazo.

(+4) Crítico, si ocurriera alguna circunstancia crítica en el momento del impacto se adicionan 4 unidades.

H. Acumulación **(AC)**:

(1) Simple.

(4) Acumulativo.

I. Recuperabilidad **(MC)**:

(1) Recuperable de inmediato.

(2) Recuperable a mediano plazo.

(4) Mitigable.

(8) Irrecuperable.

J. Reversibilidad **(RV)**:

(1) Corto plazo.

(2) Mediano plazo.

(4) Irreversible.

K. Periodicidad **(PR)**:

(1) Irregular.

(2) Periódica.

(4) Continua.

1.2 Identificación de impactos.

Para la identificación y evaluación de impactos, se hace necesario estudiar previamente las particularidades del medio ambiente, donde se desarrollará el proyecto y de cada uno de sus componentes; así como, identificar las acciones derivadas del proyecto, capaces de producir impactos en dichos componentes del medio. Las acciones identificadas responden a los criterios

siguientes: que sean significativas (o sea que produzcan algún efecto), que sean independientes y que sean medibles.

De entre las muchas acciones susceptibles a producir impactos, se establecerá una relación definitiva, de acciones susceptibles a producir impactos durante las diferentes fases del proyecto. Existen diversos medios para la identificación de las acciones.

El número de acciones podrá verse aumentado o reducido en aquellos proyectos específicos en los que la lista de acciones resulte demasiado escueta o excesivamente detallada, respectivamente.

El medio ambiente donde se desarrollará el proyecto está constituido por elementos y procesos interrelacionados, que pertenecen a los siguientes subsistemas: abiótico, biótico, socioeconómico y perceptual.

En esta fase llevaremos a cabo la identificación de los factores ambientales con la finalidad de detectar aquellos aspectos del medio ambiente cuyos cambios motivados por las distintas acciones del proyecto en sus sucesivas fases (investigación, construcción, operación y abandono, según corresponda), suponga modificaciones positivas o negativas de la calidad ambiental del mismo.

Los **factores ambientales** naturales y socioeconómicos impactados por las acciones previstas en el proyecto son:

- I. **Geología**
- II. **Geomorfología**
- III. **Sísmica**
- IV. **Suelos**
- V. **Clima**
- VI. **Aire**
- VII. **Agua**
- VIII. **Mar**
- IX. **Vegetación y recursos forestales**
- X. **Fauna**

- XI. Relaciones ecológicas**
- XII. Paisaje**
- XIII. Población**
- XIV. Salud**
- XV. Cultura**
- XVI. Economía**

Los impactos de proyectos de obra o actividad son resultado de la acumulación de impactos de diversa magnitud y alcance, con la consecuente degradación de sus valores naturales.

Como el medio receptor previamente caracterizado tendrá una mayor o menor capacidad de acogida del proyecto; en esta sección se valora dicha capacidad a partir del análisis de los efectos provocados por las acciones del proyecto, susceptibles de producir impactos sobre los factores ambientales.

Los impactos se van identificando al examinar detalladamente la compleja interacción entre las acciones del proyecto y los componentes del medio (factores ambientales), así como, la tecnología a emplear en la ejecución del proyecto, los materiales de construcción necesarios, servicios de transporte de carga requerido, soluciones para reducir las emisiones de polvo, las soluciones ingenieriles para minimizar la erosión y el acarreo de sedimentos por las aguas de escorrentía, entre otros aspectos.

A partir de la caracterización del medio ambiente se identifican los impactos que generará el proyecto sobre cada uno de los componentes del medio ambiente (físicos, bióticos, socioeconómicos y culturales). Se deben considerar los impactos directos, indirectos o inducidos sobre los componentes del medio. Se deberán destacar los efectos ambientales adversos inevitables.

Una vez relacionados e identificados los impactos ambientales se procede a elaborar la matriz de identificación de impactos.

En esta matriz se relacionan (por la vertical) todos los factores ambientales afectados, con las acciones del proyecto (por horizontal) con los impactos

inducidos, identificando por cada acción todos los impactos provocados en cada uno de los factores ambientales.

1.3 Valoración de impactos ambientales.

La valoración cuantitativa del impacto ambiental, incluye la transformación de medidas de impactos en unidades inconmensurables a valores conmensurables de calidad ambiental, y suma ponderada de ellos para obtener el impacto ambiental total.

Una vez identificadas las acciones y los factores ambientales que, presumiblemente, serán impactados por aquellas, la matriz de importancia (matriz de valoración de impacto) nos permitirá obtener una valoración cualitativa de los impactos ambientales.

Se procederá a evaluar los impactos identificados, por medio de matrices, de acuerdo con los **criterios de evaluación** carácter, magnitud, significado, grado de certidumbre, plazo en que aparece, duración, extensión, reversibilidad, tipo, etc..

Una vez evaluados los impactos ambientales se determina la importancia del efecto (**IM**) y seguidamente se procede a la **clasificación del impacto** partiendo del análisis del rango de la variación de la mencionada importancia del efecto, elaborándose la **Matriz de valoración de impactos**. Al ir determinando la importancia del impacto, de cada elemento tipo, en base al algoritmo explicado anteriormente, sección 1.1, estamos construyendo la matriz de importancia.

1.4 Cuantificación de los impactos ambientales.

Establecido en el punto anterior la valoración cualitativa y cuantitativa de los impactos ambientales en cada elemento tipo, vamos a establecer a continuación la valoración cuantitativa de cada una de las acciones que han sido causa de impacto y a su vez de los factores ambientales que han sido objeto de impacto.

La suma algebraica de la importancia del impacto de cada elemento tipo por columna, nos identifica las acciones más agresivas (altos valores negativos),

las poco agresivas (bajos valores negativos) y las beneficiosas (valores positivos), pudiendo analizarse las mismas según sus efectos sobre los distintos subsistemas.

Asimismo, la suma de la importancia del impacto de cada elemento tipo por filas, nos indicará los factores ambientales que sufren en mayor o menor medida las consecuencias de la realización del proyecto.

Por adición de estos, y en las filas correspondientes, vendrán indicados los efectos totales causados en los distintos componentes y subsistemas presentes en la matriz de impactos.

Una vez evaluados los impactos ambientales se procede a su cuantificación, para ello se elabora la “**Matriz de cuantificación de los impactos ambientales**”.

1.5 Elaboración de las conclusiones de la evaluación.

Luego de finalizada la confección y el análisis de las matrices se procede a elaborar la conclusiones de la evaluación. Es importante obtener la mayor información posible por componentes ambientales y acciones del proyecto por independiente y en base a los resultados emitir las conclusiones finales.

2. EVALUACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTAL PARA EL RECICLAJE DEL LODO EN MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN.

2.1 Identificación de los impactos.

Teniendo en cuenta que el reciclaje de un residuo entrega más beneficios que daños, es importante identificar posibles impactos cuando se incorpora éste a procesos industriales donde se fabrican materiales para la construcción.

Estos procesos industriales no se encuentran ajenos a la generación de impactos ambientales, anterior de la incorporación del lodo, por lo que su identificación, control o mitigación no escapan a productividad normal de cada uno de los productos. Es así como podemos mencionar, a manera de

ejemplo, la instalación de filtros, para el control de gases, o planta de riles, para controlar su residuos sólidos, etc.

Es así que la identificación de los nuevos impactos, que eventualmente se producirán al incorporar los lodos a los procesos industriales, considera lo anterior y identifica solo las aspectos que cambiaran en el proceso al introducir el lodo en él. A continuación se representa un esquema que identifica los principales aspectos ambientales, que consideran como posible de producir alteración, figura1.

Se podrían identificar una lista más extensa, pero se considera solo los aspectos de mayor recurrencia, considerados como más críticos para los industriales, al momento de las entrevistas.

Una vez identificado los aspectos ambientales más críticos para este sistema de reciclaje posible de causar impacto ambiental, se procede a la evaluación y cuantificación para determinar la importancia atribuida a cada aspecto.

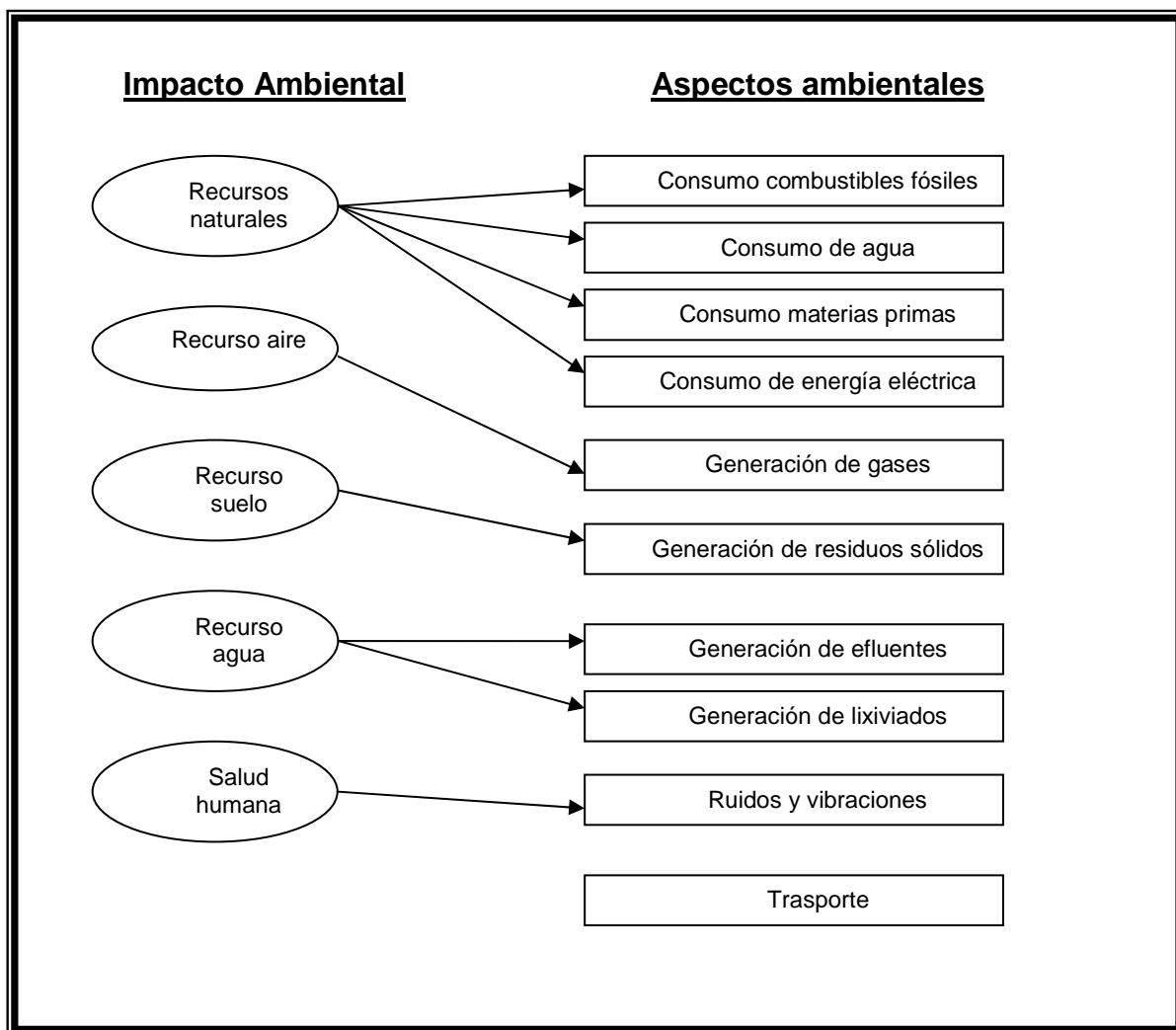


Figura 1: Identificación de aspectos ambientales posibles de cambiar.

2.2 Valorización de los impactos ambientales.

Utilizando el método expuesto en la sección 1.1, calcularemos los valores cualitativos para cada aspecto ambiental y su respectivo impacto al medio. A través de siguiente matriz de valoración.

Para identificar los impactos y poder hacer la matriz más funcional, se entregó a cada aspecto ambiental un valor, como se muestra en la tabla 1.1. Además se reconoció la dualidad de algunos aspectos ambientales en más de un factor o categoría ambiental.

La tabla 1.2 corresponde a la matriz de valorización de impacto, siguiendo los criterios propuestos por el método de la sección 1.1.

2.3 Conclusión de la evaluación

Como podemos apreciar de la matriz que: el reciclaje de los lodos en materiales para la construcción no representa un gran impacto global. Si no más bien, se observa solo la importancia de algunos factores sobre otros. En este caso particular de incorporación al proceso de elaboración de materiales de la construcción, donde existen procesos de combustión, el área mas critica es la de emisión de gases, seguida por la distancia que tienen que recorrer los lodos. Los demás puntos se consideran como compatibles con la propuesta.

Referencia bibliográfica

Lago Pérez, Lázaro. **Identificación, descripción y evaluación de impacto ambiental**. Trabajos en línea.

www.monografias.com/trabajos14/impacto-ambient/impacto-ambiet.shtml

(consultada: 16 de abril de 2004)

Tabla 1. 1. Identificación de impactos por categoría ambiental.

Categoría Ambiental	Aspectos ambientales									
	Consumo combustibles fósiles	Consumo de agua	Consumo materias primas	Consumo de energía eléctrica	Generación de gases	Generación de residuos sólidos	Generación de efluentes	Generación de lixiviados	Ruidos y vibraciones	Transporte
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	
Suelos						X	X	X		X
Aire					X					X
Agua		X					X	X		
Recursos naturales	X	X	X	X						
Salud humana						X	X	X	X	X

Tabla 1.2. Matriz de valorización de impacto.

Impacto	Criterios de evaluación											Importancia del efecto (IM),	Clasificación del impacto
	Carácter del impacto	Intensidad	Extensión	Sinergia	Persistencia	Efecto	Momento del impacto	Acumulación	Recuperabilidad	Reversibilidad	Periodicidad		
	CI	I	EX	SI	PE	EF	MO	AC	MC	RV	PR		
1	+	1	1	1	4	D	2	1	4	4	4	25	Compatible
2	+	1	1	1	4	D	1	1	4	4	2	22	Compatible
3	+	1	1	1	4	I	1	1	4	4	4	24	Compatible
4	-	2	1	1	4	I	1	1	4	4	4	27	Moderado
5	-	2	2	1	4	D	4	4	4	1	4	32	Moderado
6	-	1	1	1	4	I	4	1	1	1	4	21	Compatible
7	-	1	1	1	4	I	4	1	4	2	2	23	Compatible
8	-	1	1	1	2	I	2	1	2	1	1	15	Compatible
9	-	1	1	1	4	I	4	1	4	2	4	25	Compatible
10	-	2	2	1	4	D	4	1	4	4	2	30	Moderado

Anexo 3: Reseña metodológica análisis jerárquico.

El análisis jerárquico es una herramienta basada en la comparación de diferentes alternativas. Entre pares, a y b, frente a cada criterio de selección. Llevando a datos numéricos la comparación puede ser expresada como: la alternativa A es X veces más importante que la alternativa B. Y para datos cualitativos puede expresarse mediante una escala, como por ejemplo:

A es igual de importante que B	1
A levemente mas importante que B	3
A mas importante que B	5
A mucho mas importante que B	7
A extremadamente mas importante que B	9

Utilizando estos valore podemos construir una matriz que nos simplifica la comparación de alternativas, como en el ejemplo que muestra la figura 1.1.

	Alternativa A	Alternativa B	Total	Importancia relativa
Alternativa A	1	1/2	1,5	0,33
Alternativa B	2	1	3	0,67
Total General			4,5	1

Figura 1.1. Esquema de matriz de diseño basado en la metodología de análisis jerárquico (Jhon, 2000).

Usualmente se compara la línea con la columna. Se observa que el procedimiento consiste en que se asigna una nota a B en relación a A, nota 2 en el ejemplo de la figura 1.1, lo que implica una nota inversa de A en relación a B, $\frac{1}{2}$. Además que la diagonal de la matriz es siempre 1. Se calcula los valores para cada línea, y finalmente los valores relativos de las líneas en relación al total general. La alternativa que presenta un mayor número de puntos, en este ejemplo la alternativa B, es la que se considera más adecuada según el criterio establecido.

Comparaciones que presenten más de dos alternativas deben ser consideradas más complejas y deberán contar con el auxilio de un software. Cuando el número de variables, o criterios establecidos, es mucho más grande, se recomienda construir un árbol de decisión, reunidas en variables y grupos relacionados jerárquicamente. Como la figura 1.2 presenta un esbozo de jerarquía para la selección de alternativas de investigación, en aquella los valores son dados a cada caso con valores relativos (hipotéticos, en este caso) entre las variables, establecidas por el proceso de comparación entre pares. Notar que la suma de los valores entregados a una variable superior siempre totaliza 1.

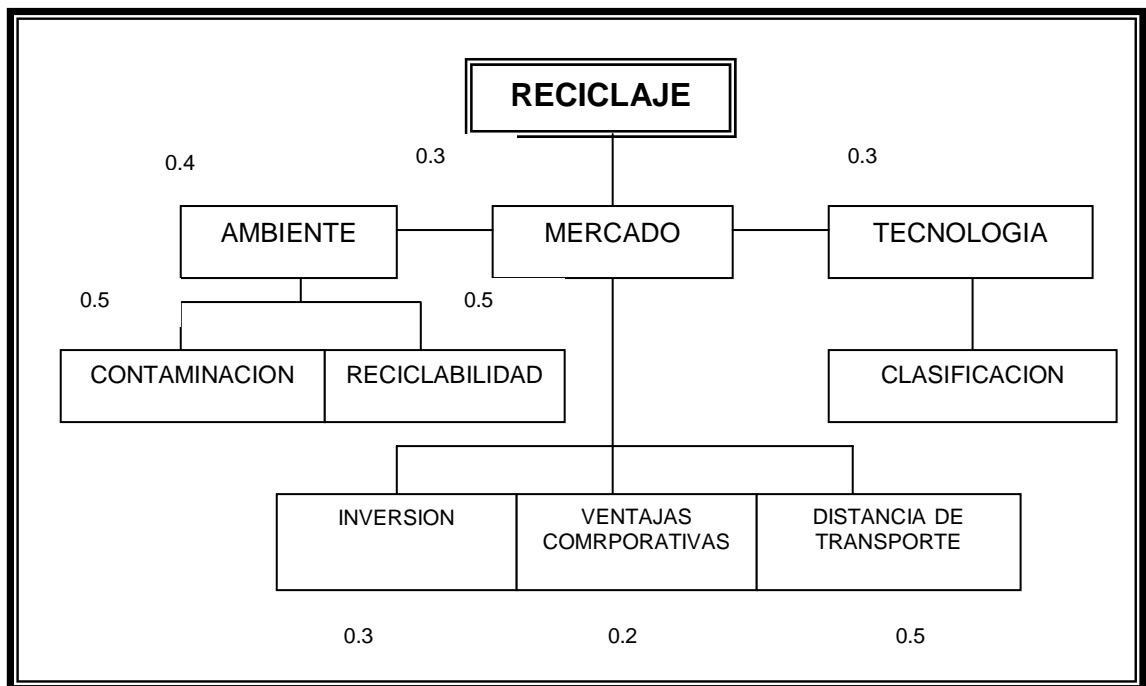


Figura 1.2. Modelo hipotético de jerarquía para una selección de alternativa para reciclaje (John; 2000)

Referencia bibliográfica.

John, Vanderly; 2000. **Reciclaje de residuos en la construcción civil, contribución para una propuesta metodológica**, Escuela politécnica Universidad de Sao Paulo. Sao Paulo. Tesis para optar al grado de libre docente, departamento de ingeniería y construcción civil.